



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 664.657/664.66

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.012

EDN: NODQEX

## СНИЖЕНИЕ СКОРОСТИ ЧЕРСТВЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Валерий Яковлевич Черных <sup>1</sup>, Марина Николаевна Костюченко <sup>2</sup>,  
Хачатур Александрович Балуйан <sup>3</sup>, Дмитрий Олегович Сметанин <sup>4</sup>,  
Роман Хажсетович Кандроков <sup>5</sup>

1, 2, 3, 4 ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности, Москва, Россия;

<sup>1</sup> polybiotest@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3560-1901>

<sup>2</sup> kostyuchenkomn@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7854-3513>

<sup>3</sup> kh.baluyan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3011-8846>

<sup>4, 5</sup> ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ», Москва, Россия

<sup>4</sup> dimkapers35@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7214-5574>

<sup>5</sup> nart132007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2003-2918>

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований по снижению скорости черствения хлебобулочных изделий при хранении на основе оптимизации реологических свойств пшеничного теста при его приготовлении посредством внесения рациональной дозировки солода ржаного белого неферментированного «Житница». Внесение ржаного солода в количестве 1,62 % обеспечило снижение «числа падения» с 566 с до оптимального значения, равного 235 с, что в итоге привело к снижению скорости черствения мякиша хлеба со 166 гс/сутки до 92 гс/сутки. Используемый в работе многопараметрический инструментальный контроль физико-химических характеристик пшеничной муки, теста и мякиша пшеничного хлеба позволил установить значение показателя амилограммы – максимальной вязкости клейстеризованной суспензии, равной  $380 \pm 10$  е.АУ и показателя фаринограммы – разжижения теста, равного  $75 \pm 5$  е.Ф., которые обуславливают оптимальную глубину гидролиза зерен крахмала при созревании теста и выпечке хлеба, что предопределяет минимальную скорость перехода аморфной структуры крахмала в кристаллическое состояние в процессе хранения хлеба и тем самым минимизируют скорость черствения его мякиша. Структурно-механические характеристики мякиша пшеничного хлеба определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 70085-22 «Изделия хлебобулочные из пшеничной хлебопекарной муки. Метод определения степени черствости». Скорость изменения показателя твердости мякиша в течение срока хранения принимают за скорость черствения мякиша.

**Ключевые слова:** пшеничная мука, пшеничный хлеб, ржаной неферментированный солод, углеводно-амилазный комплекс муки, реологические свойства пшеничного теста, текстура мякиша, скорость черствения.

**Для цитирования:** Снижение скорости черствения хлебобулочных изделий из пшеничной муки / В.Я. Черных [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 96–106. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.012. EDN: <https://elibrary.ru/NODQEX>.

Original article

## REDUCING RATE OF STALING OF BAKERY PRODUCTS MADE OF WHEAT FLOUR

Valery Ya. Chernykh <sup>1</sup>, Marina N. Kostyuchenko <sup>2</sup>, Khachatur A. Baluyan <sup>3</sup>,  
Dmitry O. Smetanin <sup>4</sup>, Roman Kh. Kondrakov <sup>5</sup>

1, 2, 3, 4 State Scientific Research Institute Baking Industry, Moscow, Russia;

<sup>1</sup> polybiotest@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3560-1901>

<sup>2</sup> kostyuchenkomn@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7854-3513>

<sup>3</sup> kh.baluyan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3011-8846>

<sup>4, 5</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russia

© Черных В. Я., Костюченко М. Н., Балуйан Х. А., Сметанин Д. О., Кандроков Р. Х., 2024

<sup>4</sup> dimkapers35@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7214-5574>

<sup>5</sup> nart132007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2003-2918>

**Abstract.** The scientific paper presents the results of research on reducing the staling rate of bakery products during storage by optimizing the rheological characteristics of wheat dough through the introduction of a rational dosage of white non-fermented rye malt "Zhivnitsa". The introduction of rye malt in an amount of 1.62% ensured a decrease in the "number of drops" from 566c to an optimal value equal to 235c, which eventually led to a diminish in the rate of staling of bread crumb from 166gs / day to 92gs / day. The multiparametric instrumental control of the physico-chemical characteristics of wheat flour, dough and wheat bread crumb used in the work allowed us to establish the value of the amylogram index - the pick viscosity of the gelatinized suspension equal to  $380 \pm 10e.AU$  and pharynogram indicator - dilution of the dough equal to  $75 \pm 5e.F.$ , which determine the optimal depth of hydrolysis of starch grains during dough maturation and bread baking, which determines the minimum rate of transition of the amorphous structure of starch into a crystalline state during the storage of bread and thereby minimize the rate of staling of its crumb. The structural-mechanical characteristics of the crumb of wheat bread were determined in accordance with the requirements of GOST 70085-22 "Bakery products made from wheat flour. Method for determining the degree of staleness." The rate of change in the crumb hardness parameter during storage is considered as the staling rate of the crumb.

**Keywords:** wheat flour, wheat bread, rye non-fermented malt, carbohydrate-amylase complex of flour, rheological characteristics of wheat dough, crumb texture, staling rate.

**For citation:** Chernykh, V.Ya., Kostyuchenko, M.N., Baluyan, Kh.A., Smetanin, D.O. & Kandrov, R.H. (2024). Reducing rate of staling of bakery products made of wheat flour. Polzunovskiy vestnik, (2), 96-106. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.012. EDN: <https://elibrary.ru/NODQEX>.

## ВВЕДЕНИЕ

При создании новых и совершенствовании существующих технологий хлебобулочных изделий особое внимание уделяется вопросам сохранения свежести готовых изделий при хранении. Потребительские свойства хлебобулочных изделий после выпечки обусловлены протеканием процесса ретроградации крахмальных зерен, т.е. переходом аморфной структуры крахмала в кристаллическое состояние. Скорость данного процесса или скорость черствения хлебобулочных изделий при их хранении может быть обусловлена автолитической активностью муки, соотношением биополимеров белков и полисахаридов, в том числе содержанием клейковины и пентозанов и их гелеобразующей способностью.

В настоящее время в хлебопекарной промышленности автолитическая активность пшеничной муки оценивается по показателю «числа падения» – условному показателю вязкости водно-мучной суспензии, отражающему глубину гидролиза крахмала собственными амилазами хлебопекарной муки. Этот биотехнологический показатель обуславливает сахарообразующую способность, от которой зависит интенсивность жизнедеятельности дрожжевых клеток и молочнокислых бактерий при созревании теста, окончательной расстойки тестовых заготовок, окрас корки готового хлеба, и влияет на глубину перехода кристаллической структуры крахмала в аморфное состояние при выпечке изделий.

Поэтому состояние структуры зерен крахмала после выпечки обуславливает скорость обратного процесса – перехода их аморфной структуры в кристаллическое состояние, т.е. скорость черствения хлебобулочных изделий при хранении.

На скорость черствения мякиша хлебобулочных изделий оказывает также влияние соотношения связанной и свободной влаги. При большем содержании связанной влаги процесс ретроградации крахмала замедляется, но при этом необходимо отметить, что содержание связанной влаги напрямую связано с содержанием и свойствами гелеобразующих биополимеров – белков и пентозанов. В промышленном хлебопечении о гелеобразующей способности белковых веществ в пшеничной муке судят по количеству и свойствам клейковины, а что касается оценки гелеобразующей способности пентозанов в ржаной муке, то она на хлебопекарных предприятиях отсутствует. В связи с тем, что черствение хлебобулочных изделий процесс многофакторный, существуют различные подходы и методы для его прямого или косвенного измерения:

1. Реологические методы:
  - обратимая и необратимая деформации;
  - вязкость суспензии.
2. Инфракрасная спектроскопия.
3. Ядерно-магнитная спектроскопия.
4. Рентгеновская кристаллография.
5. Электрическая проводимость.
6. Микроскопия.

### 7. Органолептический анализ.

Наиболее распространёнными методами являются органолептические и реологические исследования. Органолептический метод основан на восприятии определяемых показателей органами чувств исследователя: зрения, обоняния, слуха, осязания, вкуса. К реологическим методам исследования относят измерение реологических характеристик с использованием текстурометров и вискозиметров [6, 7, 8, 9].

Целью настоящей работы является исследование влияния состояния углеводно-амилазного комплекса хлебопекарной пшеничной муки, путём добавления ржаного белого неферментированного солода, на скорость черствения хлебоулучшителей при хранении после выпечки.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования были выбраны: пшеничная хлебопекарная мука высшего сорта (далее – пшеничная мука), ржаной неферментированный солод (далее – ржаной солод), а также хлеб, приготовленный безопасным способом путём пробной лабораторной выпечки. Для приготовления контрольных проб хлеба (без добавления ржаного солода) и опытных проб хлеба (с добавлением ржаного солода) использовалась нормативная рецептура, включающая: пшеничную муку – 100 кг, пресованные хлебопекарные дрожжи – 2,5 кг, пищевую соль – 1,5 кг, ржаной солод (с учетом автолитической активности пшеничной муки) и воду (с учетом консистенции замешиваемого теста, соответ-

ствующей 640 е.Ф.). Физико-химические характеристики пшеничной муки, теста и мякиша хлеба определялись с использованием различных приборов. Влажность пшеничной муки измеряли с помощью прибора «АСЭШ-8-2», массовую долю влаги в тесте и мякише хлеба – влагомером «Glutork». Для определения насыпной плотности пшеничной муки использовали прибор «Волюмометр Скотта», а для измерения общей деформации клейковины – прибор «ИДК-1». Показатель «числа падения» измеряли с помощью прибора «Амилотест АТ-97 (ЧП-ТА)», а вязкость клейстеризованной суспензии – прибором «Amilograph-E». Показатели реодинамики замеса пшеничного теста определялись с использованием прибора «Farinograph-E», а именно: водопоглотительная способность муки, время замеса теста до готовности, его стабильность и разжижение. Прибор «DVM 6600» применяли для определения объема хлеба, прибор «Структурометр СТ-2» – для определения показателей текстуры – структурно-механических характеристик мякиша хлеба.

Оценку показателей текстуры мякиша хлеба проводили с использованием метода обратимой деформации в соответствии с требованиями ГОСТ Р 70085-2022 «Изделия хлебоулучшители из пшеничной хлебопекарной муки. Метод определения степени черствости» и реализованного с помощью прибора «Структурометр СТ-2» [10]. Режим работы прибора «Структурометр СТ-2» при определении показателей структурно-механических свойств мякиша хлеба с использованием метода обратимой деформации приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Алгоритм работы прибора «Структурометр СТ-2»

Table 1 - Algorithm of operation of the device "Structurometer ST-2"

1.	Перемещение индентора «Поршень Ø49» до контакта с пробой мякиша скорость движения усилие касания $F_{кас}$	0,5 мм/с 10 гс
2.	Сжатие пробы мякиша с помощью индентора «Поршень Ø49» скорость движения величина деформации $h_{общ}$ (25 % от высоты пробы мякиша).	0,5 мм/с 5 мм
3.	Реверсивное движение индентора «Поршень Ø49» скорость движения до конечного усилия $F_{кон}$	0,5 мм/с 10 гс
4.	Возврат индентора «Поршень Ø49» в базовую точку скорость движения	3 мм/с

Для оценки текстурных характеристик мякиша цилиндрической формы с известной массой и объёмом мы провели анализ динамики усилия при его сжатии на 25 % от высоты образца, а затем при обратном движении инден-

тора до достижения конечного усилия нагрузки на инденторе  $F_{кон}$ , которое соответствовало начальному усилию касания  $F_{кас}$  [5]. Принятые условные обозначения контролируемых показателей приведены в таблице 2.

## СНИЖЕНИЕ СКОРОСТИ ЧЕРСТВЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Таблица 2 – Условные обозначения контролируемых физико-химических характеристик муки, теста и хлеба

Table 2 - Symbols of controlled physico-chemical characteristics of flour, dough and bread

Обозначение	Единицы измерения	Физико-химические характеристики муки, теста и хлеба
$W_{м.б.}$	%	массовая доля влаги базисная (15 %)
$W_{м.ф.}$	%	массовая доля влаги муки фактическая
«ЧП»	с	«число падения»
$\eta_{max}$	е.АУ	максимальная вязкость клейстеризованной мучной суспензии
ВПС	%	водопоглотительная способность муки
$\rho_m$	г/см <sup>3</sup>	насыпная плотность муки
G <sub>кл</sub>	%	количество клейковины
$h_{общ}$	е.ИДК	общая деформация клейковины
A	е.Ф.	консистенция теста
B	мин	время замеса теста до готовности
C	мин	стабильность теста
E	е.Ф.	разжижение теста
F <sub>l</sub>	гс(Н)	усилие нагружения
F <sub>h</sub>	гс(Н)	твёрдость мякиша
I <sub>h</sub>	гс(Н)/[(г/см <sup>3</sup> )·%]	индекс твёрдости
V <sub>ч</sub>	гс(Н)/сутки	скорость черствения
V <sub>хл</sub>	см <sup>3</sup>	объем хлеба
V <sub>уд</sub>	см <sup>3</sup> /г	удельный объем хлеба
□ <sub>хр</sub>	сутки	продолжительность хранения хлеба
W <sub>мяк</sub>	%	влажность мякиша хлеба
G <sub>уп</sub>	%	технологические затраты в процессе выпечки хлеба
G <sub>ус</sub>	%	технологические затраты при охлаждении и усушке хлеба
П <sub>мяк</sub>	%	пористость мякиша
$\rho_{мяк}$	г/см <sup>3</sup>	плотность мякиша
E <sub>I</sub>	кПа	модуль упругости межпоровых стенок мякиша
E <sub>II</sub>	кПа	модуль упругости пористой структуры мякиша
A <sub>общ</sub>	Дж/г	общее количество удельной механической энергии, используемое при проведении операции сжатия мякиша
A <sub>упр</sub>	Дж/г	количество удельной механической энергии, используемое на преодоление упругости мякиша
A <sub>пл</sub>	Дж/г	количество удельной механической энергии, приводящее к изменению структуры мякиша за счет пластической деформации

Характеристика объектов исследования: Физико-химические характеристики (ФХХ) пшеничной муки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели физико-химических свойств пшеничной муки

Table 3 - Indicators of physico-chemical properties of wheat flour

ФХХ муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта									
$W_{м.ф.}$ , %	$\rho_m$ , кг/м <sup>3</sup>	G <sub>кл</sub> , %	$h_{общ}$ , е.ИДК	ЧП, с	$\eta_{max}$ е.АУ	ВПС, %	B, мин	C, мин	E, е.Ф.
13,2	447	28,3	73	566	1450	55,9	2,3	18,09	31

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

На рисунке 1 приведены графики изменения «числа падения» и максимальной вяз-

кости клейстеризованной водно-мучной суспензии в зависимости от количества ржаного солода, которое варьируется от 0 до 3 %, с шагом 0,5 %.

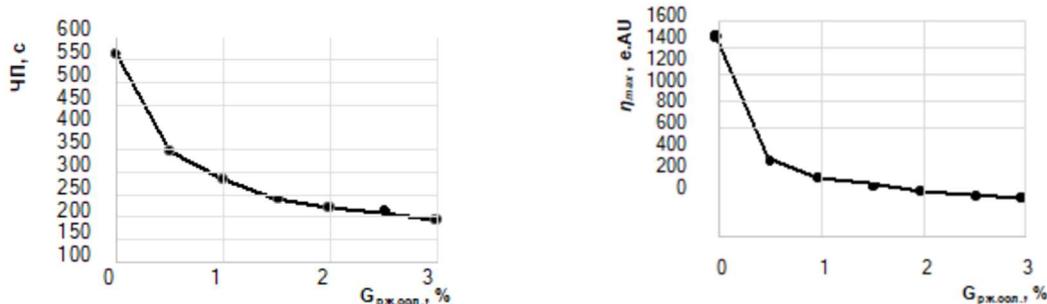


Рисунок 1 – Влияние дозировки ржаного солода на изменение «числа падения» (а) и максимальной вязкости (б) клейстеризованной водно-мучной суспензии пшеничной муки

Figure 1 - The effect of rye malt dosage on the change in the "drop number" (a) and the maximum vis-cosity (b) of gelatinized water-flour suspension of wheat flour

Из рисунка 1 видно, что «число падения» и вязкость клейстера изменяется по показательному закону и между ними существует зависимость. Уравнение, отражающее эту зависимость при коэффициенте корреляции 0,983, имеет следующий тип:

$$\eta_{\max} = 116,1 \times e^{(x \times 44,67 \times 10^{-4})},$$

где  $\eta_{\max}$  – максимальная вязкость, клейстеризованной суспензии, определённая с помощью амилографа, е.АУ;  $x$  – «число падения», с. Графически эта зависимость отражена на рисунке 2.

По данным кафедры зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий Российского биотехнологического университета, оптимальная автолитическая активность пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта, позволяющая получать хлеб наилучшего качества, соответствует «числу падения» –  $235 \pm 15$  с [1, 2, 3, 4]. Поэтому на основании анализа рисунка 2 – зависимость между «ЧП» и « $\eta_{\max}$ » было установлено оптимальное значение автолитической активности пшеничной муки, оцениваемой по максимальной вязкости « $\eta_{\max}$ » клейстеризованной суспензии, контролируемой с помощью прибора «Amilograph – Е», равной  $380 \pm 10$  е.АУ.

Затем, проведя оценку результатов, представленных на графиках (рис. 1), была установлена рациональная дозировка ржаного солода, равная 1,62 %, соответствующая

«числу падения» 235 с и максимальной вязкости 380 е.АУ.

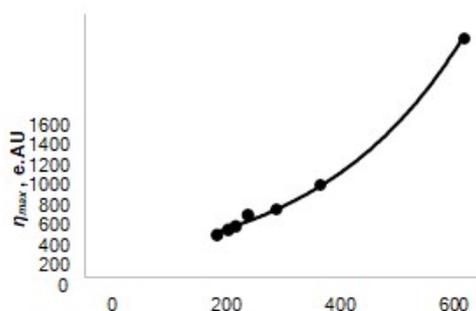


Рисунок 2 – Зависимость между показателями автолитической активности пшеничной муки: «числом падения» и максимальной вязкостью клейстеризованной суспензии

Figure 2 - The dependent between the indicators of autolytic activity of wheat flour: the "number of drops" and the maximum viscosity of the gelatinized suspension

Для оценки реологического поведения пшеничного теста при замесе были получены фаринограммы с консистенцией 500 е.Ф. (рис. 3) без внесения – контроль и с внесением 1,62 % ржаного солода – опыт.

Показатели реологического поведения пшеничного теста при замесе с добавлением ржаного солода и без него приведены в таблице 4.

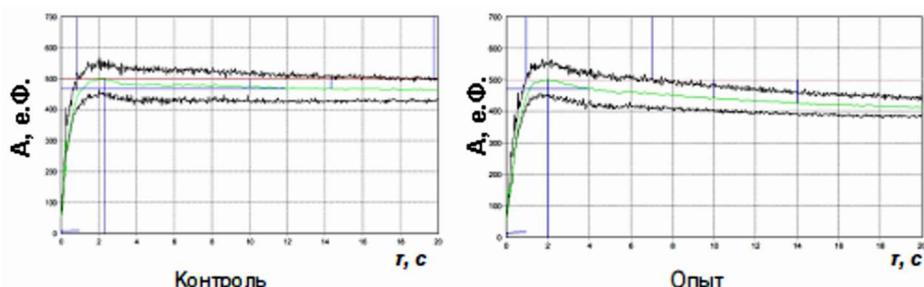


Рисунок 3 – Реодинамика замеса пшеничного теста с консистенцией 500 е.Ф.

Figure 3 - Rheodynamics of kneading wheat dough with a consistency of 500 e.F.

## СНИЖЕНИЕ СКОРОСТИ ЧЕРСТВЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Таблица 4 – Показатели фаринограммы пшеничного теста  
Table 4 - Indicators of the pharynogram of wheat dough

№ п/п	Наименование проб пшеничного теста	Показатели фаринограммы (500е.Ф.)				
		W <sub>м.ф.</sub> , %	ВПС, %	В, мин	С, мин	Е, е.Ф.
1	Контроль: без ржаного солода	13,2	55,9	2,3	18,9	31
2	Опыт: с ржаным солодом (1,62 %)	13,2	55,9	2,0	6,1	74

Из рисунка 3 и таблицы 4 видно, что добавление ржаного солода не оказало влияния на изменение водопоглотительной способности муки (ВПС). Однако это привело к сокращению времени замеса теста на 12 %. Стабильность теста уменьшилась в 3 раза, а разжижение увеличилась почти в 2,5 раза и может быть принято за оптимальное значе-

ние, равное  $70 \pm 5$  е.Ф. Оно берётся за критическую точку при оценке технологических свойств пшеничной муки. При проведении пробной лабораторной выпечки хлеба замес рецептурного теста осуществляли с консистенцией 640 е.Ф. (рис. 4). Показатели фаринограмм контрольной и опытных проб теста приведены в таблице 3.

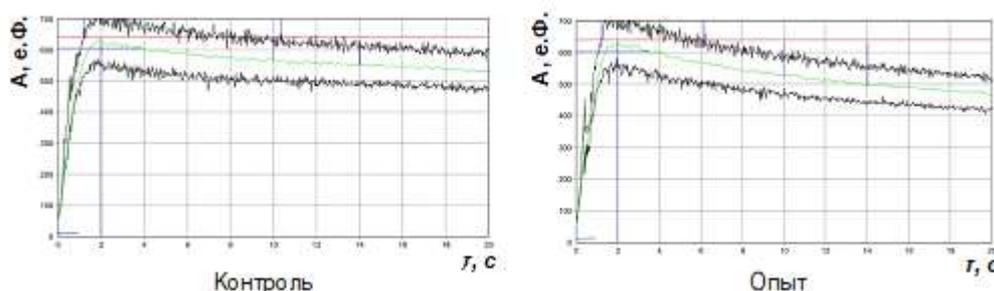


Рисунок 4 – Реодинамика замеса пшеничного теста с консистенцией 640 е.Ф.

Figure 4 - Rheodynamics of kneading wheat dough with a consistency of 640 e.F.

Таблица 5 – Физико-химическая характеристика пшеничного теста

Table 5 - Physico-chemical characteristics of wheat dough

№ п/п	Наименование проб пшеничного теста	Показатели фаринограммы (640 е.Ф.)					
		W <sub>м.ф.</sub> , %	ВПС, %	В, мин	С, мин	Е, е.Ф.	W <sub>т.</sub> , %
1	Контроль: без ржаного солода	11,0	49,4	2,0	9,2	82	43,2
2	Опыт: с ржаным солодом (1,62 %)	11,0	50,0	2,0	4,9	134	43,1

Из рисунка 4 и таблицы 3 видно, что продолжительность замеса теста до готовности у контрольной и опытной проб теста одинаковая и составляет 2 мин. Это обусловлено участием продуктов гидролиза крахмала в формировании структуры теста и связывании ими определенного количества воды, так как водопоглотительная способность опытной пробы теста при одинаковой консистенции с контрольной пробой выше на 0,6 %. Стабильность теста за счет ферментативного гидролиза зерен крахмала уменьшилась на 47 %, что обусловлено изменением соотношения упругой и пластической деформации в сторону последней, что обеспечивает при протекании процесса брожения получение более эластичных межпоровых стенок и микрокапилляров, способных увеличиваться в размерах и обеспечивать повышение газодерживающей способности полуфабриката,

что впоследствии приводит к увеличению пористости готовых изделий.

Во время проведения пробной лабораторной выпечки пшеничного хлеба тесто готовили безопарным способом. Замешивание теста осуществляли в тестомесильной машине Diosna SP80D: на первой скорости до равномерного распределения всех компонентов, на второй скорости до развития клейковинного каркаса. Созревание теста, окончательная расстойка тестовых заготовок и выпечка хлеба проходили на оборудовании Miwe Condo. Созревание теста длилось 150 минут при температуре 30 °С, обеспечивая оптимальные условия для жизнедеятельности дрожжей и молочнокислых бактерий. Окончательная расстойка тестовых заготовок продолжалась 60 минут при температуре 37–38 °С и относительной влажности 75–80 %, что способствовало максимальному увеличению

объёма тестовых заготовок. Хлеб выпекали при температуре 225 °С в течение 25 минут с использованием паровлажнения, до достижения температуры в центре мякиша, равной 97 °С.

На рисунке 5 представлены пробы хлеба без ржаного солода и с его добавлением, а

также прибор DVM 6600 (Perten Instruments, Швеция), который с помощью направленного луча лазера определяет высоту, длину, ширину и объём готового изделия и создаёт трехмерное изображение хлеба.

В таблице 6 приведены физико-химические характеристики пшеничного хлеба.

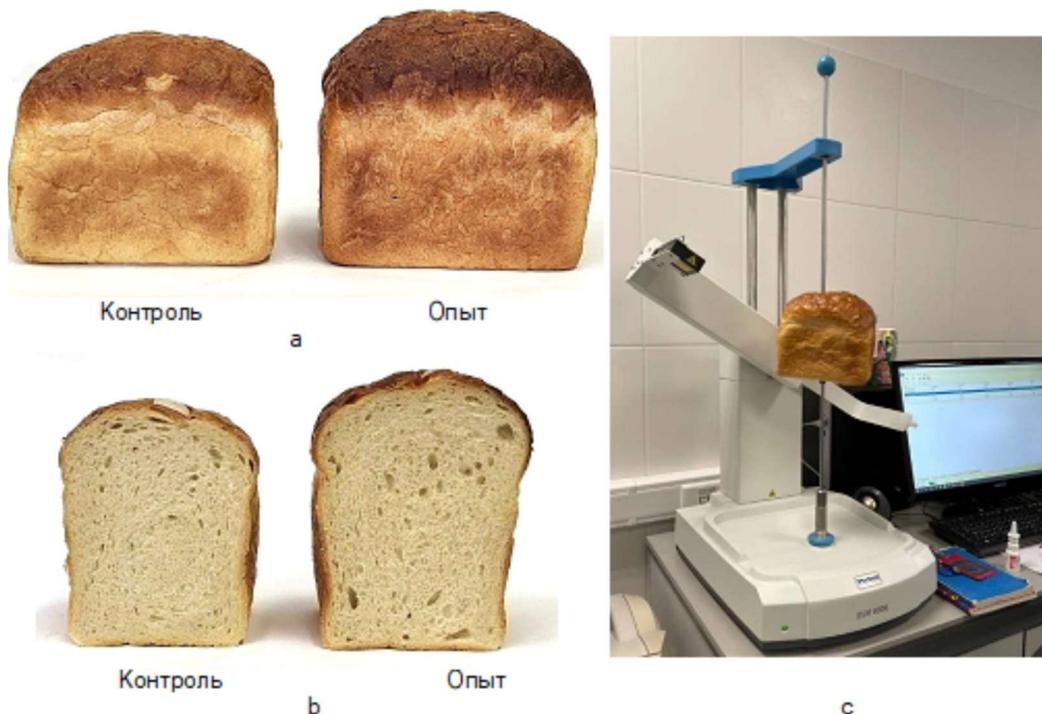


Рисунок 5 – Фотографии хлеба (а) и в разрезе (б) (контроль – без добавления ржаного солода; опыт – с добавлением ржаного солода); лазерный объёмометр (с)

Figure 5 - Appearance of whole bread (a) and cut (b) (control - without adding rye malt; experiment - with the addition of rye malt); laser volume meter (c)

Таблица 6 – Физико-химические характеристики контрольного и опытного хлебов

Table 6 - Physico-chemical characteristics of the control and experimental loaves

№ п/п	Наименование проб пшеничного хлеба	Физико-химические характеристики пшеничного хлеба						
		$G_{уп}, \%$	$G_{ус}, \%$	$W_{мяк}, \%$	$\rho_{мяк}, \text{г/см}^3$	$V_{хл}, \text{см}^3$	$V_{уд}, \text{см}^3/\text{г}$	$P_{мяк}, \%$
1	Контроль: без ржаного солода	11,1	2,44	42,8	0,232	1902	3,78	82
2	Опыт: с ржаным солодом (1,62%)	12,3	2,47	42,3	0,171	2260	4,51	87

Из данных таблицы 6 следует, что удельный объём хлеба с добавлением ржаного солода в опытной пробе увеличился на 19 % по сравнению с контрольной пробой. При этом упёк оказалась меньше у контрольной пробы на 1 %. Кроме того, пористость мякиша контрольной пробы пшеничного хле-

ба увеличилась на 5 % в сравнении с хлебом, содержащим ржаной солод. На рисунке 6 приведены кривые изменения усилия (F1) нагружения при сжатии цилиндрической пробы мякиша на 5 мм для хлеба контрольного и опытного с разной продолжительностью хранения после выпечки – 12; 36; 60; 84 и 108 ч.

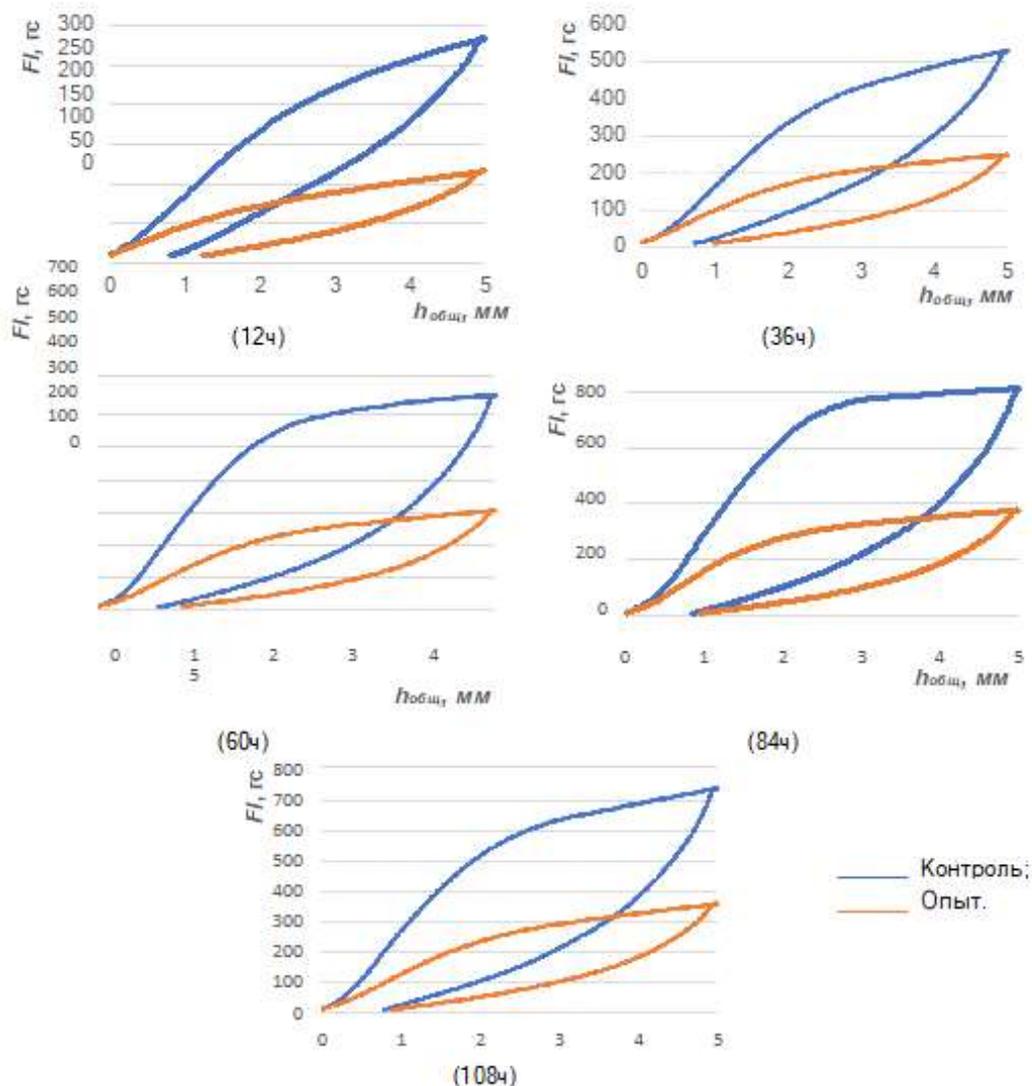


Рисунок 6 – Кинетика усилия нагружения на инденторе «Поршень Ø49» при сжатии мякиша хлеба с разной продолжительностью хранения после выпечки: 12; 36; 60; 84 и 108 ч

Figure 6 - The kinetics of the loading force on the indenter "Piston Ø49" when compressing bread crumb with different storage duration after baking: 12; 36; 60; 84 and 108h

На рисунке 6 видна существенная разница в реологическом поведении мякиша при определении его твердости с использованием метода обратимой деформации, при этом значение твердости ( $Fh$ ) контрольных проб мякиша в процессе хранения в 2–3 раза выше, чем опытных проб хлеба.

В таблице 7 приведены физико-химические характеристики мякиша контрольных и опытных образцов хлеба при их хранении в течение 108 ч.

Из данных таблицы 6 видно, что индекс твердости мякиша хлеба ( $Ih$ ) для контрольной

пробы, не содержащей ржаной солод, изменялся от 21 до 59 гс/[(г/см<sup>3</sup>) × %] за период трёх суток хранения. В то же время для опытной пробы с добавлением ржаного солода индекс твердости был значительно ниже, изменяясь в пределах от 12 до 37 гс/[(г/см<sup>3</sup>) × %].

На рисунке 7 представлена динамика изменения показателей твердости ( $Fh$ ) и индекса твердости ( $Ih$ ) мякиша хлеба как для контрольных, так и для опытных проб в течение 108 часов после выпечки.

Таблица 7 – Физико-химические характеристики мякиша хлеба

Table 7 - Physico-chemical characteristics of bread crumb

Вид изделия	ФХХ мякиша	Значения ФХХ мякиша хлеба с разной продолжительностью хранения, ч				
		12	36	60	84	108
Контрольная проба хлеба	$\rho_m, \text{г/см}^3$	0,232	0,236	0,222	0,236	0,248
	$P_{\text{мяк}}, \%$	82	82	83	82	81
	$W_m, \%$	42,8	42,2	41,9	41,4	42,0
	$F_h, \text{гс}$	283	526	656	812	739
	$F_h, \text{Н}$	2,78	5,17	6,43	7,96	7,25
	$I_h, \text{гс}[(\text{г/см}^3) \times \%]$	21	39	51	59	51
	$I_h, \text{Н}[(\text{г/см}^3) \times \%]$	0,21	0,38	0,50	0,58	0,50
	$E', \text{кПа}$	13,87	18,69	21,77	23,82	32,18
	$E'', \text{кПа}$	4,05	8,29	15,03	0,77	9,63
	$A_{\text{общ}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	1,97	3,76	4,6	6,65	5,4
	$A_{\text{пл}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	0,87	1,94	2,85	4,18	3,22
	$A_{\text{упр}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	1,11	1,82	1,75	2,406	2,08
	$V_c, \text{гс/сутки}$	166				
Опытная проба хлеба	$\rho_m, \text{г/см}^3$	0,171	0,170	0,180	0,181	0,190
	$P_{\text{мяк}}, \%$	87	87	86	86	86
	$W_m, \%$	42,3	43,0	42,7	42,8	42,8
	$F_h, \text{гс}$	117	248	306	377	358
	$F_h, \text{Н}$	1,15	2,44	3,00	3,69	3,51
	$I_h, \text{гс}[(\text{г/см}^3) \times \%]$	12	26	30	37	33
	$I_h, \text{Н}[(\text{г/см}^3) \times \%]$	0,12	0,25	0,29	0,36	0,32
	$E', \text{кПа}$	6,74	13,87	16,38	23,51	12,90
	$E'', \text{кПа}$	4,24	2,12	5,20	5,20	0,77
	$A_{\text{общ}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	1,26	2,64	2,90	3,79	2,38
	$A_{\text{пл}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	0,64	1,58	1,81	2,34	1,34
	$A_{\text{упр}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	0,62	1,06	1,09	1,45	1,04
	$V_c, \text{гс/сутки}$	92				

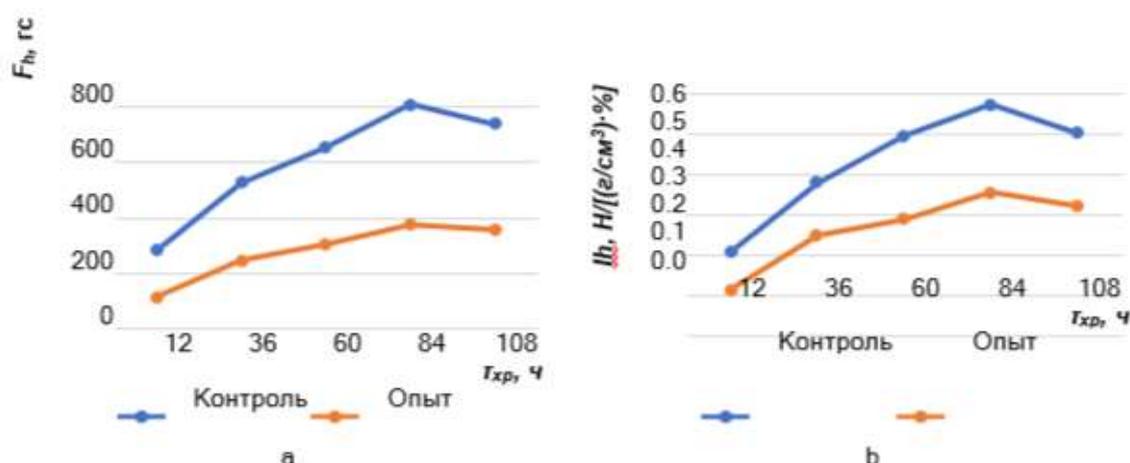


Рисунок 7 – Влияние продолжительности хранения на изменение показателей твердости (а) и индекса твердости (б) мякиша в контрольных и опытных пробах хлеба в течение 108 часов

Figure 7 - Influence of the duration of storage of control and experimental samples of bread on the change in hardness (a) and hardness index (b) of the crumb during the storage of bread for 108h

Анализ данных, приведённых в таблице 7 и на рисунке 7, позволил установить

различия в скорости черствения мякиша между контрольной и опытной пробами. Для

контрольной пробы хлеба скорость черствения составила 166 гс/сутки, в то время как для опытной пробы она была значительно ниже, составляя 92 гс/сутки. На рисунке 7 эта разница в скорости черствения между контрольными и опытными пробами хлеба представлена наглядно. Добавление ржаного солода в рецептуру хлеба способствовало значительному замедлению процесса черствения мякиша, что приводит к увеличению срока хранения готовых изделий.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования демонстрируют методический подход по оптимизации состояния углеводно-амилазного комплекса муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта посредством внесения солода ржаного неферментированного, обеспечивающего замедление скорости черствения хлеба при хранении. На основании проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

- установлена взаимосвязь между условными реологическими показателями клейстеризованной суспензии пшеничной муки, такими как "число падения" и максимальная вязкость ( $\eta_{max}$ ), измеряемыми с помощью приборов "Амилотест АТ-97 (ЧП-ТА)" и "Амилограф-Е" соответственно, отражающими состояние её углеводно-амилазного комплекса

- установлено, что изменение дозировки ржаного неферментированного солода в диапазоне от 0 до 3,0 % с шагом 0,5 % влияет на эти показатели: "число падения" изменялось от 566 до 197 с., а максимальная вязкость клейстеризованной суспензии снижалась от 1450 до 250 е.АУ.

- установлены значения показателя амилограммы – максимальной вязкости клейстеризованной суспензии ( $380 \pm 10$  е.АУ), и показателя фаринограммы – разжижения теста ( $75 \pm 5$  е.Ф.), дополнительно к показателю "числа падения" ( $235 \pm 15$  с.), которые обуславливают оптимальное состояние углеводно-амилазного комплекса пшеничной муки.

- установлена оптимальная дозировка ржаного неферментированного солода, равная 1,62 % и соответствующая «числу падения»  $235 \pm 15$  с и максимальной вязкости  $380 \pm 10$  е.АУ;

- внесение оптимальной дозировки солода ржаного неферментированного (1,62 %) привело к увеличению удельного объема хлеба на 19,3 % – с 3,78 до 4,51 см<sup>3</sup>;

- установлена динамика индекса твердости мякиша хлеба (с добавлением и без добавления ржаного солода) в процессе хранения;

- показано, что внесение ржаного неферментированного солода «Житница» в количестве 1,62 % привело к замедлению скорости черствения мякиша хлеба при хранении со 166 до 92 гс/сутки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черных В.Я., Ширшиков М.А., Белоусова Е.М., Лущик Т.В. Информационно-измерительная система для оценки хлебопекарных свойств муки. Хлебопродукты. № 8. 2000. С. 21–25.
2. Черных В.Я., Ширшиков М.А. Технологические критерии оценки состояния углеводно-амилазного комплекса пшеничной муки (начало). Хлебопродукты, № 12, 2001. С. 22–25.
3. Черных В.Я., Ширшиков М.А. Технологические критерии оценки состояния углеводно-амилазного комплекса пшеничной муки (окончание). Хлебопродукты, № 1, 2002. С. 21–24.
4. Черных В.Я., Иванов В.С. Регулирование сахарообразующей способности хлебопекарной муки. Монография. М.: ООО «Буки Веди», 2019. 144 с.
5. Черных В.Я. Влияние продолжительности хранения хлебобулочных изделий на показатели твердости и эластичности мякиша / В.Я. Черных, В.В. Кононенко, А.С. Максимов // Хлебопечение России. 2020. № 2. С. 19–27. DOI 10.37443/2073-3569-2020-1-2-19-27.
6. Sluková M., Kubín M., Horáčková Š. & Příhoda J. (2015). Application of amylographic method for determination of the staling of bakery products. Czech Journal of Food Sciences, 33(6), 507–512. <https://doi.org/10.17221/184/2015-CJFS>.
7. Karim A.A., Norziah M.H. & Seow C.C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. Food Chemistry, 71(1), 9–36. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00130-8).
8. Haghghat-Kharazi S., Reza Kasaei M., Milani J.M. & Khajeh K. (2020). Antistaling properties of encapsulated maltogenic amylase in gluten-free bread. Food Science and Nutrition, 8(11), 5888–5897. <https://doi.org/10.1002/FSN3.1865>.
9. Gray J.A. & Bemiller J.N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2003.TB00011.X>.
10. ГОСТ Р 70085-2022. Изделия хлебобулочные из пшеничной хлебопекарной муки. Метод определения степени черствости. Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 04.05.22. № 264 Ст. Москва: Российский институт стандартизации.

### Информация об авторах

*В. Я. Черных – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности.*

*М. Н. Костюченко – кандидат технических наук, доцент, директор Федерального государственного бюджетного научного учреждения Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности.*

*Х. А. Балуйан – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности.*

*Д. О. Сметанин – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности.*

*Р. Х. Кандроков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ).*

## REFERENCES

1. Chernykh, V.Ya., Shirshikov, M.A., Belousova, E.M. & Luschik, T.V. (2000). Information and measurement system for assessing the baking properties of flour. Bread products. (8). 21-25. (In Russ.).
2. Chernykh, V.Ya. & Shirshikov, M.A. (2001). Technological criteria for assessing the state of the carbohydrate-amylase complex of wheat flour (beginning). Bread products. (12), 22-25. (In Russ.).
3. Chernykh, V.Ya. & Shirshikov, M.A. (2002). Technological criteria for assessing the state of the carbohydrate-amylase complex of wheat flour (end). Bread products. (1). 21-24. (In Russ.).
4. Chernykh, V.Ya. & Ivanov, V.S. (2019). Regulation of sugar-forming ability of baking flour. Monograph, M.: LLC "Buki Vedi", 144s. (In Russ.).
5. Chernykh, V.Ya., Kononenko, V.V. & Maksimov, A.S. (2020). The influence of the shelf life of bakery products on the hardness and elasticity of the

crumb. Bakery of Russia. (2). 19-27. DOI 10.37443/2073-3569-2020-1-2-19-27. (In Russ.).

6. Sluková, M., Kubín, M., Horáčková, Š. & Příhoda, J. (2015). Application of amylographic method for determination of the staling of bakery products. Czech Journal of Food Sciences, 33(6), 507-512. <https://doi.org/10.17221/184/2015-CJFS>.

7. Karim, A.A., Norziah, M.H. & Seow, C.C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. Food Chemistry, 71(1), 9-36. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00130-8).

8. Haghghat-Kharazi, S., Reza Kasaii, M., Milani, J.M. & Khajeh, K. (2020). Antistaling properties of encapsulated maltogenic amylase in gluten-free bread. Food Science and Nutrition, 8(11), 5888-5897. <https://doi.org/10.1002/FSN3.1865>.

9. Gray, J.A. & Bemiller, J.N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2(1), 1-21.

10. HOST R 70085-2022. (2022). Bakery products made of wheat baking flour. Method for determining the degree of callousness. Moscow: Russian Institute of Standardization.

## Information about the authors

*V.Ya. Chernykh - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the State Scientific Research Institute Baking Industry.*

*M.N. Kostyuchenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the State Scientific Research Institute Baking Industry.*

*Kh.A. Baluyan - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the State Scientific Research Institute Baking Industry.*

*D.O. Smetanin - PhD student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University (BIOTECH University); Junior Researcher at the State Scientific Research Institute Baking Industry.*

*R.Kh. Kandrov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Grain, Bakery and Confectionery Technologies of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University (BIOTECH University).*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 17 июля 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.*

*The article was received by the editorial board on 17 July 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.*