

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-345-354>



Поступила 30.01.2024

Поступила после рецензирования 29.07.2024

Принята в печать 02.08.2024

© Черных В. Я., Алексеенко Е. В., Сметанин Д. О., Балуюн Х. А., Печникова Ю. Ю., 2024

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ МЯКИША ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА

Черных В. Я.<sup>1\*</sup>, Алексеенко Е. В.<sup>2</sup>, Сметанин Д. О.<sup>1,2</sup>, Балуюн Х. А.<sup>1</sup>, Печникова Ю. Ю.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности, Москва, Россия

<sup>2</sup> Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

*пшеничная мука, автолитическая активность, солод пшеничный, сухая клейковина, пшеничный хлеб, индекс твердости, скорость черствения*

Данная работа посвящена исследованию структурно-механических свойств мякиша пшеничного хлеба через 12 часов после выпечки и далее через каждые 24 часа в течение 108 часов хранения. В основе данного исследования лежит изучение процесса ретроградации крахмала, который представляет собой переход аморфной структуры зерен крахмала в кристаллическое состояние, что предопределяет повышение значений показателей твердости и индекса твердости мякиша. Целью работы является исследование влияния состояния углеводно-амилазного и белково-протеиназного комплекса пшеничной муки посредством внесения солода пшеничного и сухой клейковины на структурно-механические свойства мякиша хлебобулочных изделий и на скорость их черствения при хранении. В данной работе используются мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта, солод пшеничный, клейковина сухая, хлеб из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта, изготовленный безопасным способом посредством проведения пробной лабораторной выпечки. В статье установлено влияние дозировки пшеничного солода и сухой пшеничной клейковины на изменение водопоглощения пшеничного теста в процессе замеса, на его реологические свойства, на структурно-механические характеристики мякиша пшеничного хлеба, изготовленного при проведении пробной лабораторной выпечки, а также на скорость его черствения при хранении. Оптимальная дозировка пшеничного солода составила 5%, что обеспечило число падения, равное 235 с. Дозировка сухой клейковины 3% обеспечила общее содержание клейковины в тесте 31,3%, влажность теста 43,1% и консистенцию теста, равную 640 е.Ф. Совместное внесение пшеничного солода и сухой пшеничной клейковины обеспечили уменьшение индекса твердости мякиша пшеничного хлеба на 55% и скорости его черствения в 3,3 раза.

Received 30.01.2024

Accepted in revised 29.07.2024

Accepted for publication 02.08.2024

© Chernykh V. Ya., Alekseenko E. V., Smetanin D. O., Baluyan Kh. A., Pechnikova Yu. Yu., 2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

## TECHNOLOGICAL ASPECTS OF MANAGING THE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WHEAT BREAD CRUMB

Valery Ya. Chernykh<sup>1\*</sup>, Elena V. Alekseenko<sup>2</sup>, Dmitry O. Smetanin<sup>1,2</sup>, Khachatur A. Baluyan<sup>1</sup>, Yulia Yu. Pechnikova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Scientific Research Institute for the Baking Industry, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

### KEY WORDS:

*wheat flour, autolytic activity, wheat malt, dry gluten, wheat bread, hardness index, staling rate*

### ABSTRACT

This work is dedicated to the study of the structural-mechanical properties of wheat bread crumb 12 hours after baking and then every 24 hours during 108 hours of storage. The basis of this investigation was the study of the starch retrogradation process, which is a transfer of the amorphous structure of starch grains into the crystalline state, which predetermines an increase in the values of the hardness parameters and hardness index. The aim of the work was investigation of an effect of the state of carbohydrate-amylase and protein-proteinase complex of wheat flour by introduction of wheat malt and dry gluten on the structural-mechanical properties of crumb of bakery products and their staling rate during storage. In this study, the authors used baker's wheat flour of the highest grade, wheat malt, dry gluten, bread from baker's wheat flour of the highest grade that was made using the straight dough method by the experimental laboratory baking. The authors established an effect of dosing wheat malt and dry wheat gluten on changes in the water absorption of wheat dough in the process of mixing, on its rheological properties, on the structural-mechanical properties of crumb of wheat bread made by the experimental laboratory baking as well as on the rate of its staling during storage. The optimal dosage of wheat malt was 5%, which ensured the falling number equal to 235 s. The dose of dry gluten of 3% ensured the total gluten content in dough of 31.3%, dough moisture of 43.1% and dough consistency equal to 640 FU. Simultaneous introduction of wheat malt and dry wheat gluten ensured a decrease in the hardness index of wheat bread crumb by 55% and the rate of its staling by 3.3 times.

### 1. Введение

При изготовлении хлебобулочных изделий из пшеничной муки особое внимание уделяется сохранению свежести готовых изделий при хранении. Хранение хлеба сопровождается двумя основными процессами, усыханием и черствением [1,2,3], при которых меняются реологические свойства хлеба: упругость, пластичность, сжимае-

мость, прочность и др. [4,5]. При хранении хлеба в обычных температурных условиях (15–25 °С) через 8–10 часов появляются признаки черствения, усиливающиеся при дальнейшем хранении. Мякиш при этом теряет эластичность, становится жестким и крошащимся, ухудшается вкус и снижается аромат хлеба, свойственные свежему изделию [6]. Хрупкая после выпечки корка превращается в мягкую

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Черных, В. Я., Алексеенко, Е. В., Сметанин, Д. О., Балуюн, Х. А., Печникова, Ю. Ю. (2024). Технологические аспекты управления структурно-механическими свойствами мякиша пшеничного хлеба. *Пищевые системы*, 7(3), 345–354. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-345-354>

FOR CITATION: Chernykh, V. Ya., Alekseenko, E. V., Smetanin, D. O., Baluyan, Kh. A., Pechnikova, Yu. Yu. (2024). Technological aspects of managing the structural and mechanical properties of wheat bread crumb. *Food Systems*, 7(3), 345–354. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-345-354>

и эластичную [7]. Потребительские свойства хлебобулочных изделий обусловлены определенными значениями структурно-механических свойств мякиша после выпечки и скоростью их изменения в процессе хранения изделий [8]. Увеличение показателей твердости мякиша при хранении хлебобулочных изделий связано с протекающим процессом ретроградации крахмальных зерен — переходом их аморфной структуры в кристаллическое состояние после выпечки [9,10,11]. Скорость данного процесса или скорость черствения хлебобулочных изделий при хранении предопределяется автолитической активностью муки и содержанием гелеобразующих клейковинных белков [12,13].

Автолитическая активность муки — это способность муки образовывать при прогреве водно-мучной суспензии определенное количество водорастворимых веществ [14,15]. В соответствии с существующими стандартами (ГОСТ 27495–87<sup>1</sup>, ГОСТ 26574–2017<sup>2</sup>), автолитическая активность пшеничной муки оценивается по показателю числа падения — это условный показатель вязкости водно-мучной суспензии, отражающий глубину гидролиза крахмала собственными амилазами хлебопекарной муки [16–18]. Этот биотехнологический показатель, с одной стороны, влияет на сахарообразующую способность муки, определяя интенсивность жизнедеятельности дрожжевых клеток и молочнокислых бактерий при созревании теста и окончательной расстойке тестовых заготовок, а также окраску корки готового хлеба. С другой стороны, он влияет на глубину перехода кристаллической структуры крахмала в аморфное состояние при выпечке изделий [19–21]. Сахарообразующая способность муки обуславливается действием амилолитических ферментов муки на ее крахмал и зависит как от количества амилолитических ферментов, так и от размеров, от характера, от состояния частиц муки и от крахмальных зерен в этих частицах. Показателем сахарообразующей способности муки считают количество миллиграммов мальтозы, образующейся в водно-мучной суспензии из 10 г муки и 50 мл воды после одного часа ее настаивания при температуре 27 °C [22–24].

Содержание в муке белковых веществ, их состав, состояние и свойства определяют технологические свойства пшеничной муки. Отличительные особенности реологических свойств пшеничного теста, обуславливающие эластичность (вязкость) и вязкость, обусловлены именно белками муки [25–27]. В состав пшеничной муки входят белки простые (протеины), состоящие только из аминокислотных остатков, и сложные (протеиды), состоящие из белков с включениями ионов металлов, пигментов, комплексов с липидами, нуклеиновыми кислотами, а также с ковалентносвязанными остатками фосфорной или нуклеиновой кислот, углеводов [28,29]. Массовая доля белков в пшеничной муке может колебаться в широких пределах (от 7 до 26%) в зависимости от сорта пшеницы и агроклиматических условий ее культивации, интенсивности химизации посадок. Белки пшеницы состоят из альбуминов (20–22%); глобулинов (4–6%); а также из проламинов и глютелинов (73–75%) [14]. Белок глютеин, относящийся к глютелинам, подразделяется на две фракции — глютеин I и глютеин II. Их массовая доля к общей массе глютелинов муки составляет от 6 до 28% и от 15 до 37% соответственно. Технологическая роль белков пшеничной муки связана с тем, что они формируют клейковину, т. е. своеобразный комплекс, который играет первостепенную роль в хлебопекарном производстве [30]. Количество и свойства клейковины, с одной стороны, влияют на газоудерживающую способность теста, что определяет структуру пористости мякиша после выпечки и его структурно-механические свойства. С другой стороны, количество клейковины влияет на содержание связанной влаги, что, в свою очередь, воздействует на процесс ретроградации крахмала. При большем содержании связанной влаги клейковинными белками процесс перехода аморфной структуры крахмальных зерен в кристаллическое состояние замедляется [31].

Поэтому целью настоящей работы является исследование влияния углеводно-амилазного и белково-протеиназного комплекса пшеничной муки посредством внесения солода пшеничного и сухой клейковины на структурно-механические свойства мякиша хлебобулочных изделий и на скорость их черствения при хранении.

## 2. Объекты и методы

В работе использованы пшеничная хлебопекарная мука высшего сорта (далее — пшеничная мука), пшеничный солод, сухая клейковина, а также хлеб из пшеничной муки высшего сорта, изготовленный

безопасным способом с помощью пробной лабораторной выпечки. Контрольные пробы пшеничного теста для анализа изготавливались из пшеничной муки и воды, опытные пробы пшеничного теста — из пшеничной муки, воды, пшеничного солода и клейковины сухой, вносимой в различных дозировках. Пробу I готовили из пшеничной муки, воды, пшеничного солода (с дозировкой 5%); пробу II — из пшеничной муки, воды, клейковины сухой (с дозировкой 3%); пробу III — из пшеничной муки, воды, пшеничного солода (с дозировкой 5%) и клейковины сухой (с дозировкой 3%). Для определения оптимальной дозировки сухой клейковины были получены классические фаринограммы пшеничного теста. При замесе клейковину вносили в количестве от 0 до 7%, с шагом 1%. Контрольные пробы хлеба (без пшеничного солода и сухой клейковины) и опытные пробы хлеба (с пшеничным солодом и сухой клейковиной) изготавливались по нормативной рецептуре: мука пшеничная — 100 кг; дрожжи хлебопекарные прессованные — 2,5 кг; соль пищевая — 1,5 кг. Количество пшеничного солода определялось с учетом автолитической активности муки (5%), количество сухой клейковины — с учетом реологических свойств теста (3%), предопределяемых консистенцией теста (640 е.Ф.). При проведении пробной лабораторной выпечки пшеничного хлеба тесто готовили безопасным способом. Замес теста проводили в тестомесильной машине Diosna SP80D (Diosna Dierks and SÖHne GmbH, Германия). Созревание теста, окончательную расстойку тестовых заготовок и выпечку хлеба осуществляли при помощи оборудования Miwe Condo (Diosna Dierks and SÖHne GmbH, Германия). Продолжительность созревания теста составляла 150 минут, время окончательной расстойки тестовых заготовок — 60 минут. Хлеб выпекали при температуре 225 °C в течение 25 мин с пароувлажнением.

Физико-химические характеристики пшеничной муки, теста и мякиша хлеба определяли с помощью следующих приборов:

- «Волюмотест ВТ-1» (ООО «Лаборатория качества», Россия) — для выявления насыпной плотности муки ( $\rho_m$ , кг/м<sup>3</sup>).
- «ИДК-3» (ООО «Плаун», Россия) — для определения общей деформации клейковины ( $h_{общ}$ , е.ИДК).
- «Амилотест АТ-97 (ЧП-ТА)» (ООО НПФ «РАДИУС», Россия) — для идентификации автолитической активности муки по числу падения (ЧП, с).
- Amilograph-E (Brabender GmbH and Co. KG, Германия) — для установления максимальной вязкости клейстеризованной суспензии ( $\eta_{max}$ , е.АУ).
- Farinograph — E (Brabender GmbH and Co. KG, Германия) — для определения показателей реодинамики замеса теста: консистенции теста (А, е.Ф.); водопоглощительной способности (ВПС, %); времени образования теста (В, мин); стабильности теста (С, мин); разжижения теста (Е, е.Ф.); удельной энергии замеса ( $E_{уд}$ , кДж/кг).
- Glutork (Perten Instruments, Швеция) — для выявления влажности теста ( $W_t$ , %) и мякиша ( $W_{мяк}$ , %) хлеба.
- Шкаф сушильный АСЭШ-8-2 (ООО НПФ «Экан», Россия) — для определения влажности муки ( $W_{м.ф.}$ ).
- BVM 6600 (Perten Instruments, Швеция) — для расчета объема ( $V_{хл}$ , см<sup>3</sup>) и удельного объема ( $V_{уд.хл}$ , см<sup>3</sup>/г) хлеба.
- «Структурометр СТ-2» (ООО «Лаборатория качества», Россия) — для определения следующих структурно-механических характеристик мякиша хлеба: твердости ( $F_h$ , гс); индекса твердости ( $I_h$ , гс/[г/см<sup>3</sup>] × %); модуля упругости межпоровых стенок ( $E^I$ , кПа); модуля упругости пористой структуры ( $E^{II}$ , кПа); общего количества удельной механической энергии ( $A_{общ}$ , Дж/г), затрачиваемого при сжатии мякиша; количества удельной механической энергии ( $A_{упр}$ , Дж/г), связанного с восстановлением структуры мякиша за счет упругой деформации; количества удельной механической энергии ( $A_{пл}$ , Дж/г), приводящего к изменению структуры мякиша за счет пластической деформации; скорости черствения ( $V_c$ , гс/сутки) при хранении.

Пшеничная мука была получена от «Городищенского комбината хлебопродуктов», г. Волгоград. Мука имела высокое число падения, равное 566 секундам, и обладала низкой амилолитической активностью и низкой сахарообразующей способностью. Число падения было определено стандартным методом (ГОСТ ISO 3093–2016<sup>3</sup>). Количество и качество клейковины были выявлены в соответствии с российским стандартом (ГОСТ 27839–2013<sup>4</sup>). Количество клейковины рассчитывали следующим образом: тесто замешивали

<sup>1</sup> ГОСТ 27495–87. «Мука. Метод определения автолитической активности». М.: Стандартинформ, 2007. — 5 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 26574–2017. «Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2018. — 16 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 3093–2016. «Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга-Пертена». М.: Стандартинформ, 2016. — 12 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 27839–2013. «Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины». М.: Стандартинформ, 2014. — 18 с.

Таблица 1. Показатели технологических свойств муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта

Table 1. Indicators of technological properties of baker's wheat flour of the highest grade

ФХХ муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта				
W <sub>м.ф.</sub> , %	ρ <sub>м</sub> , кг/м <sup>3</sup>	С <sub>кл.</sub> , %	h <sub>общ</sub> , е.ИДК	ЧП, с
13,17 ± 0,11	446,83 ± 1,38	28,31 ± 0,29	73,03 ± 3,45	566 ± 34,45
ВПС, %	В, мин	С, мин	Е, е.Ф.	η <sub>max</sub> , е.АУ.
55,87 ± 0,25	2,3 ± 1,14	18,13 ± 1,06	31,33 ± 13,15	1450 ± 43,24

Примечание: данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение», число степеней свободы n = 3.

Таблица 2. Физико-химические характеристики солода пшеничного и клейковины сухой

Table 2. Physico-chemical characteristics of wheat malt and dry gluten

Наименование показателей	Рецептурные компоненты	
	Солод пшеничный	Клейковина сухая
Влажность, %	8,39 ± 0,10	3,8 ± 0,08
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	422,93 ± 1,24	460,47 ± 1,51
Цветовые характеристики L: a: b	(91,21 ± 7,93): (0,01 ± 0,19): (10,14 ± 2,75)	(92,27 ± 7,65): (-0,13 ± 0,21): (10,08 ± 2,51)

Примечание: данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение», число степеней свободы n = 3.

из 25 грамм муки и 14 грамм воды, затем выдерживали его в воде в течение 20 минут для гидратации и образования внутри- и межмолекулярных связей в веществах, образующих клейковину (глиадин и глютеин). Сырую клейковину отмывали руками с использованием сита в водопроводной воде. Полученную клейковину взвешивали и рассчитывали процентное содержание сырой клейковины по отношению к массе муки. Качество сырой клейковины оценивается по показателю прибора «ИДК-3», при этом она делится на следующие качественные группы: неудовлетворительно крепкая (менее 32 единиц прибора), удовлетворительно крепкая (33–52 единицы прибора), хорошая (53–77 единиц прибора), удовлетворительно слабая (78–102 единицы прибора), неудовлетворительно слабая (более 103 единиц). Влажность муки была определена в соответствии с российским стандартом (ГОСТ 9404–88<sup>5</sup>) следующим образом: в разогретый до 130 °C сушильный шкаф поместили бюксы для просушивания в течение 60 минут, затем охлаждали их в эксикаторе в течение 20 минут. Навески муки массой по 5 грамм поместили в бюксы, затем отправили их в сушильный шкаф для высушивания на 40 минут, после чего охладили их в эксикаторе. Влажность муки определяли отношением разности масс до и после высушивания к массе до высушивания. Насыпную плотность муки выявляли в соответствии с российским стандартом (ГОСТ 19440–94<sup>6</sup>) с использованием метода Волюметра Скотта. Водопоглотительная способность муки, продолжительность замеса теста до готовности, его стабильность и разжижение были определены в соответствии с ISO 5530–1:1997<sup>7</sup>. Максимальная вязкость клейстеризованной суспензии устанавливалась в соответствии с ISO 7973:1992<sup>8</sup>.

Пшеничный солод был получен от ООО «Прорости», г. Москва. Клейковина сухая — от ООО «Слим-Мастер», г. Подольск. Влажность и насыпную плотность пшеничного солода и сухой клейковины определяли аналогичными методами, что и для пшеничной муки. Цветовые характеристики выявлялись с использованием колориметра Chroma Meter CR-410 (KONICA MINOLTA, INC., Япония), в координатах цветового пространства L\*, a\*, b\* (CIELAB) [32].

Сбор данных и обработку результатов проводили с помощью программы Microsoft Office Excel. Все измерения были выполнены в трех параллельных измерениях (кроме измерений показателей мякиша хлеба, выполненных в шести параллельных измерениях), результаты представлены как среднее арифметическое ± стандартное отклонение.

### 3. Результаты и обсуждение

Управление структурно-механическими свойствами мякиша или текстурными показателями пшеничного хлеба возможно за счет контроля состояния углеводно-амилазного и белково-протеиназного

комплексов. Они, в свою очередь, определяют как реологические свойства теста на стадии его приготовления, так и качество готовых изделий на стадии выпечки. Оптимизацию состояния приведенных макрокомплексов пшеничной муки осуществляли посредством установления оптимальных дозировок пшеничного солода и сухой клейковины.

Физико-химические характеристики (ФХХ) муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта, используемой в работе, приведены в Таблице 1, солода пшеничного и сухой клейковины — в Таблице 2.

Из Таблицы 1 видно, что пшеничная мука имеет высокое значение показателя числа падения — 566 с, что свидетельствует о низкой ее сахарообразующей способности. Данное значение не позволяет получить в результате гидролиза крахмала 6% сахаров, из которых 3% обеспечивают жизнедеятельность дрожжевых клеток и молочнокислых бактерий в процессе созревания теста и окончательной расстойки тестовых заготовок, а оставшиеся 3% обуславливают окраску корки при выпечке хлебобулочных изделий.

В работах, посвященных изучению состояния углеводно-амилазного комплекса пшеничной муки [33,34], было установлено, что показатель биотехнологических свойств пшеничной муки число падения имеет оптимальное значение, равное 235 ± 15 с, для получения 6% сахаров. Данное значение числа падения для исходной пшеничной муки с числом падения 566 с было обеспечено путем внесения пшеничного солода в количестве 5% с помощью номограммы, приведенной в работе [33].

Первые исследования взаимосвязи показателя числа падения пшеничной муки и качества готового хлеба провел Харальд Пертен в 1964 году [35]. Он отмечал, что низкое значение числа падения может предопределять плохое качество готовых изделий, так как пшеничная мука быстро разжижается во время выпечки. Харальд выяснил, что пшеничная мука с показателем числа падения в диапазоне от 200 до 250 секунд позволяет получить мякиш с идеальными структурно-механическими свойствами, золотистого цвета корку и высокий объем готового изделия. Также Пертеном было установлено, что хлеб, приготовленный из муки с высоким значением числа падения (свыше 300 секунд), имеет сухой, неэластичный, крошковатый мякиш. По другим данным, мякиш хлебобулочных изделий получается липким и заминающимся при использовании муки с показателем числа падения ниже 150 секунд, потому что крахмал в такой муке сильно гидролизует α-амилазой и не может сформировать непрерывный крахмально-белковый каркас для обеспечения нужной структуры теста [36,37].

Результаты проведенных в 2010-х годах испытаний, посвященных влиянию числа падения на качество пшеничной муки, подтвердили данные прошлых исследований [38]. Установлено, что число падения в диапазоне от 200 до 300 секунд и активность α-амилазы имеют линейную зависимость. В муке с данным значением активности α-амилазы достаточно сбалансирована, что позволяет крахмалу правильно преобразовываться во время выпечки из кристаллической структуры в аморфное состояние.

Некоторые страны мира регламентируют значение показателя числа падения в зависимости от сорта пшеницы. В Австралии для твердой пшеницы коммунального сорта и для премиальных белых сортов рекомендованное значение числа падения составляет 200 и 350 секунд соответственно [39]. В Великобритании определен

<sup>5</sup> ГОСТ 9404–88. «Мука и отруби. Метод определения влажности». М.: Стандартинформ, 2007. — 5 с.

<sup>6</sup> ГОСТ 19440–94. «Порошки металлические. Определение насыпной плотности». М.: Издательство стандартов; Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. — 15 с.

<sup>7</sup> ISO 5530–1–2013. «Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фарнографа». М.: Стандартинформ, 2019. — 12 с.

<sup>8</sup> ISO 7973–2013. «Зерно и зернопродукты. Определение вязкости с применением амилографа». М.: Стандартинформ, 2014. — 12 с.

Таблица 3. Показатели фаринограммы пшеничного теста

Table 3. Indicators of farinograms of wheat dough

№ п/п	Наименование проб пшеничного теста	Показатели фаринограммы (500 е.Ф.)						
		W <sub>м.ф.</sub> , %	ВПС*, %	В*, мин	С, мин	Е*, е.Ф.	Е <sub>уд</sub> *, кДж/кг	W <sub>т</sub> *, %
1	Контроль	9,3±0,1	55,6±0,1	2,5±0,2	19,0±1,1	18±3,3	8,52±0,8	45,4±0,3
Опытные пробы теста с добавлением сухой клейковины								
2	1%	9,3±0,1	56,5±0,1	9,5±0,3	17,1±1,1	—	37,44±0,9	45,7±0,3
3	2%	9,3±0,1	56,6±0,1	12,0±0,2	18,4±1,0	—	45,19±0,9	45,8±0,3
4	3%	9,3±0,1	57,8±0,1	11,2±0,2	18,3±1,2	—	43,35±0,8	46,1±0,2
5	4%	9,3±0,1	59,4±0,1	12,7±0,2	18,0±1,0	—	49,04±0,8	46,7±0,3
6	5%	9,3±0,1	61,3±0,1	19,0±0,2	18,1±1,1	—	72,75±0,7	47,3±0,3
7	6%	9,3±0,1	63,2±0,1	20,0±0,0	17,5±1,0	—	72,31±0,9	47,9±0,2
8	7%	9,3±0,1	65,0±0,1	20,0±0,0	17,0±1,0	—	69,97±1,0	48,5±0,3

Примечание: данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение». Средние значения в столбцах не имеют значимых различий, кроме столбцов со значком «\*» ( $p < 0,05$ ), число степеней свободы  $n = 3$ .

показатель числа падения для мягкой и твердой пшеницы — 220 и 250 секунд соответственно [40].

Таким образом, установленное нами оптимальное значение числа падения, равное  $235 \pm 15$  секундам, соотносится с результатами других зарубежных ученых [35–40].

Показатели реологического поведения пшеничного теста при замесе без внесения (контроль) и с внесением (опытные пробы) сухой клейковины приведены в Таблице 3.

На Рисунке 1 приведен график изменения удельной энергии замеса в зависимости от дозировки сухой клейковины.

Из анализа данных, представленных в Таблице 3 и на Рисунке 1, была установлена оптимальная дозировка сухой клейковины, равная 3%, соответствующая на графике точке перегиба «X». При этом общее количество клейковины вместе с клейковиной, содержащейся в муке, составило 31,3%.

В работе Маслова А. В. и др. [41], посвященной исследованию влияния комплексной растительной добавки на свойства пшеничного теста, установлено, что её внесение в количестве 16% позволяет получить тесто с оптимальными реологическими свойствами. При этом в статье приведены графики влияния количества комплексной добавки на изменение показателей водопоглощения пшеничной муки, времени образования теста и его устойчивости, на которых видно, что при её добавлении в дозировке 16% появляется соответствующая точка перегиба функции, что подтверждает наш подход в определении оптимальной дозировки добавочного рецептурного компонента, использующегося с целью улучшения технологических свойств пшеничной муки.

Для оценки реологического поведения пшеничного теста при замесе были получены его фаринограммы (Рисунок 2).

Показатели фаринограммы пшеничного теста приведены в Таблице 4.

Из Рисунка 2 и Таблицы 4 (проба I) видно, что повышение автолитической активности пшеничной муки за счет внесения оптимального количества пшеничного солода приводит к увеличению

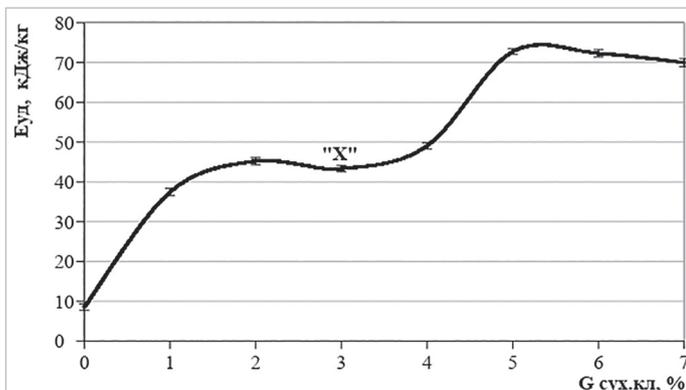
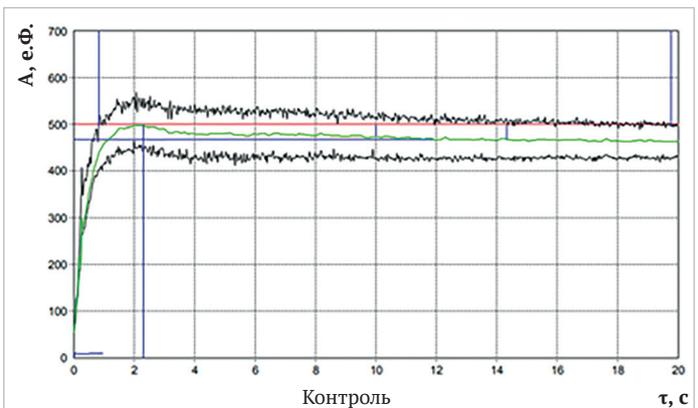


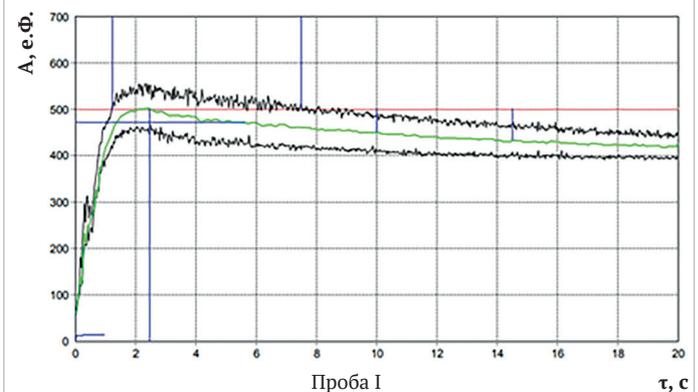
Рисунок 1. Влияние дозировки сухой клейковины на изменение удельной энергии замеса

Figure 1. Effect of a dose of dry gluten on changes of the specific mixing energy



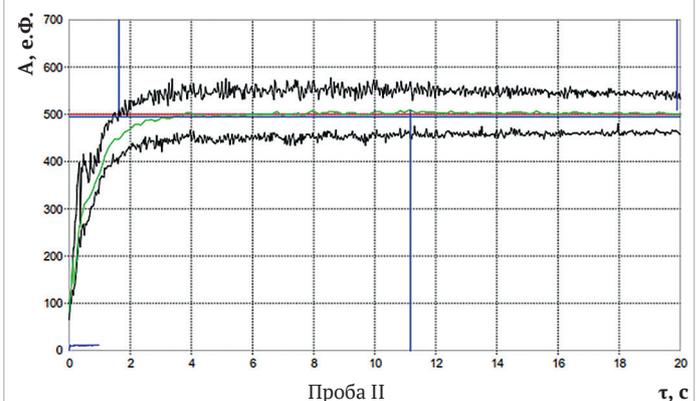
Контроль

τ, с



Проба I

τ, с



Проба II

τ, с

Рисунок 2. Фаринограммы (реодинамика замеса) пшеничного теста с консистенцией 500 е.Ф.

Figure 2. Farinograms (rheodynamics of mixing) of wheat dough with the consistency of 500 FU

Таблица 4. Показатели фаринограммы пшеничного теста

Table 4. Indicators of the farinogram of wheat dough

№ п/п	Наименование проб пшеничного теста	Показатели фаринограммы (500 е.Ф)				
		W <sub>м.ф.</sub> , %	ВПС*, %	В*, мин	С*, мин	Е*, е.Ф.
1	Контроль	11,0±0,09	55,9±0,08	2,3±0,23	18,9±1,04	31±3,2
2	Проба I	11,0±0,09	58,5±0,07	2,5±0,21	6,3±1,07	75±3,4
3	Проба II	9,3±0,07	57,8±0,10	11,2±0,27	18,3±1,10	–

Примечание: данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение». Средние значения в столбцах не имеют значимых различий, кроме столбцов со значком «\*» ( $p < 0,05$ ), число степеней свободы  $n=3$ .

показателя разжижения (Е) теста, предопределяемого увеличением активности  $\alpha$ -амилазы и образованием большего количества мальтозы, что делает пшеничное тесто более пластичным. Показатель Е увеличивается на 40 е.Ф., и его конечное значение  $75 \pm 3,4$  е.Ф. является критической точкой в определении оптимального состояния углеводно-амилазного комплекса муки с помощью прибора Farinograph.

В проведенных Ямашевым Т. А. и др. [42] исследованиях о влиянии овсяного солода на реологические характеристики пшеничного теста также отмечается, что его внесение приводит к увеличению показателя разжижения теста. В данной работе исследовались тестовые полуфабрикаты с добавлением солода в дозировках, равных 1% и 5%. Внесение овсяного солода в количестве 1% обеспечило получение показателя разжижения теста, равного 70 е.Ф. Дальнейшее увеличение дозировки до 5% привело к соответствующему увеличению показателя разжижения теста, и он был равен 150 е.Ф. Отмечается, что данное тесто было более вязким и менее упругим в сравнении с предыдущим (дозировка 1%). Из этого следует, что установленное нами значение критической точки показателя разжижения (Е) теста, сопоставляется с данными других авторов.

Таким образом, показатель разжижения (Е) теста может дополнять показатель числа падения при оценке сахарообразующей способности муки. Образование большего количества продуктов гидролиза крахмала приводит в свою очередь к увеличению водопоглотительной способности (ВПС) муки и, как следствие, к увеличению продолжительности замеса (В) теста до готовности.

Из Рисунка 2 и Таблицы 4 также видно (проба II), что добавление сухой клейковины приводит к увеличению водопоглотительной способности (ВПС) муки на 3,4% за счет гелеобразующей способности проламиновой и глютениновой фракций белков клейковины. В связи с этим увеличилась продолжительность замеса (В) пшеничного теста. При этом стабильность (С) теста не изменяется и разжижения теста не наблюдается, так как сухая клейковина состоит преимущественно из белков глина и глютенина, образующих клейковинный каркас теста, а структура зерен крахмала остается в нативном состоянии.

В работе Lucas Marchetti и др. [43] отмечается, что в зависимости от технологических свойств муки и качества вносимой сухой клейковины реологические характеристики теста могут быть разными. Авторы отмечают, что внесение пшеничной клейковины, как правило, приводит в большинстве случаев к увеличению водопоглотительной способности муки. Продолжительность замеса теста до готовности может, как повыситься, так и понизиться. Стабильность теста преимущественно не изменяется, а его разжижение уменьшается. Из этого следует, что полученные нами результаты не противоречат данным других исследователей.

Таким образом, при дозировке сухой клейковины, равной 3%, повышается общее количество клейковины в пшеничном тесте до оптимального значения  $31,3\%$ , что обеспечивает формирование более устойчивой к механическому воздействию при замесе структуры теста.

Таблица 5. Физико-химические характеристики пшеничного теста

Table 5. Physico-chemical characteristics of wheat dough

№ п/п	Наименование проб пшеничного теста	Показатели фаринограммы (640 е.Ф)					W <sub>т</sub> , %
		W <sub>м.ф.</sub> , %	ВПС*, %	В*, мин	С*, мин	Е*, е.Ф.	
1	Контроль	11,0±0,09	50,6±0,09	1,7±0,25	8,3±1,03	81±3,36	42,3±0,31
2	Проба I	11,0±0,09	52,4±0,11	2,2±0,21	4,9±1,09	147±3,18	42,6±0,33
3	Проба III	10,1±0,11	56,2±0,08	2,2±0,22	6,2±1,01	126±3,29	43,1±0,27

Примечание: данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение». Средние значения в столбцах не имеют значимых различий, кроме столбцов со значком «\*» ( $p < 0,05$ ), число степеней свободы  $n=3$ .

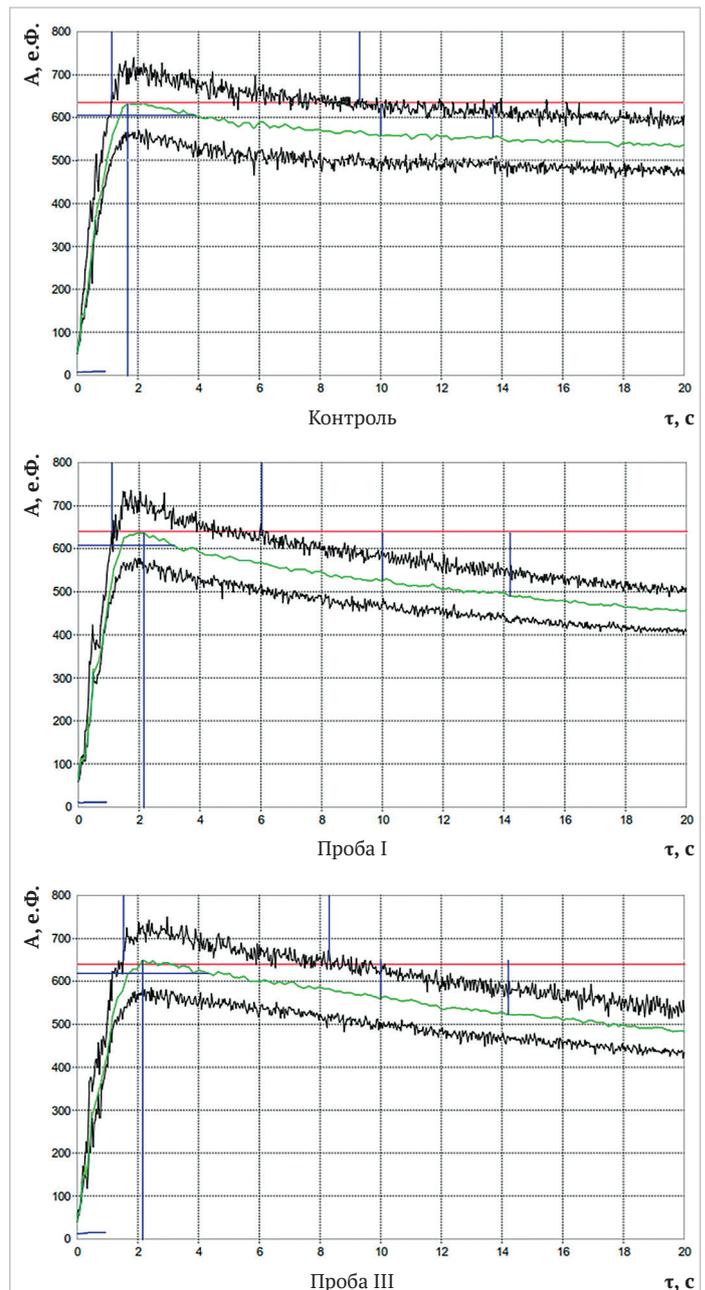


Рисунок 3. Реодинамика замеса пшеничного теста с консистенцией 640 е. Ф.

Figure 3. Rheodynamics of mixing of wheat dough with the consistency of 640 FU

Для проведения пробной лабораторной выпечки пшеничного хлеба, помимо контрольной пробы, были выбраны проба I и проба III. Пробу II не целесообразно использовать, так как без оптимизации углеводно-амилазного комплекса пшеничной муки, играющего ключевую роль в управлении качеством хлебобулочных изделий, повышение органолептических и физико-химических показателей качества будет незначительное. Замес контрольной пробы и опытных проб теста осуществляли с консистенцией 640 е.Ф. (Рисунок 3). Показатели фаринограмм контрольной и опытных проб теста приведены в Таблице 5.

Из Рисунка 3 и Таблицы 5 видно, что продолжительность замеса (В) теста до готовности у опытных проб по сравнению с контрольной пробой увеличилась примерно на 30%. При этом стабильность (С) теста при внесении солода уменьшилась на 40%, а при совместном добавлении солода и сухой клейковины — на 17%. Увеличение влажности теста при внесении дозировки солода составило 0,7%, а при дополнительном добавлении сухой клейковины достигло почти 2,0%. Это обусловлено тем, что на первом этапе происходит гидролиз крахмала, а затем вступает в действие гелеобразующая способность внесенной сухой клейковины.

Уменьшение стабильности (С) теста при внесении пшеничного солода, как отдельно, так и совместно с сухой клейковиной, обусловлено ферментативным гидролизом. Это приводит к изменению соотношения упругой и пластической деформации в сторону последней. В результате при брожении формируются более пластичные межпоровые стенки и микрокапилляры, способные увеличиваться в размерах и обеспечивать повышение газодерживающей способности полуфабриката. Это, в свою очередь приводит к увеличению пористости готовых изделий.

К аналогичному выводу о влиянии ферментативного гидролиза, который привёл к уменьшению показателя стабильности теста, пришли Ямышев Т. А. и др. в своей работе, упоминаемой ранее [42]. Авторы отмечают, что с увеличением дозировки солода происходит сокращение времени нахождения теста в устойчивой зоне, и это обусловлено воздействием ферментов солода на структурные компоненты теста.

В Таблице 6 приведена нормативная рецептура пшеничного теста при проведении пробной лабораторной выпечки хлеба: контрольной пробы (без рецептурных компонентов); опытной пробы I (с пшеничным солодом) и опытной пробы III (с пшеничным солодом и сухой клейковиной).

На Рисунке 4 представлены образцы контрольных и опытных проб хлеба.

В Таблице 7 приведены физико-химические характеристики пшеничного хлеба.

Из Таблицы 7 видно, что объем ( $V_{хл}^*$ , см<sup>3</sup>) и удельный объем ( $V_{уд}^*$ , см<sup>3</sup>/г) опытной пробы хлеба I с добавлением пшеничного солода увеличились на 15% по сравнению с контрольной пробой хлеба; удельный объем опытной пробы III увеличился на 25%, а плотность ( $\rho_{мяк}^*$ , г/см<sup>3</sup>) мякиша соответственно уменьшилась. Пористость мякиша ( $P_{мяк}^*$ , %) хлеба с пшеничным солодом в абсолютном выражении увеличилась

Таблица 6. Нормативная рецептура пшеничного теста при проведении пробной лабораторной выпечки хлеба

Table 6. Normative recipe of wheat dough upon performing experimental laboratory baking of bread

Наименование сырья	Расход сырья при безопасном способе приготовления теста		
	Контроль	Проба I	Проба III
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта, кг	100,0	100,0	100,0
Дрожжи хлебопекарные прессованные, кг	2,5	2,5	2,5
Соль пищевая, кг	1,5	1,5	1,5
Солод пшеничный, кг	–	5,0	5,0
Клейковина сухая, кг	–	–	3,0
Вода, кг	С учетом консистенции теста, равной 640 е.Ф.		

на 5,1% по сравнению с контрольным образцом, а хлеба с пшеничным солодом и клейковиной — на 5,5%. Наименьшее значение суммарных технологических затрат: упека ( $G_{уп}^*$ , %) и усушки ( $G_{ус}^*$ , %) пшеничного хлеба наблюдаются при совместном внесении пшеничного солода и сухой клейковины (проба III) в количестве 14,46%.

На Рисунке 5 приведены кривые изменения усилия (Fh, гс) нагружения при сжатии цилиндрической пробы мякиша на 5 мм для хлеба «контроль», «проба I» и «проба III» с разной продолжительностью хранения после выпечки — 12; 36; 60; 84 и 108 ч.

На Рисунке 5 видна существенная разница в реологическом поведении мякиша при определении его твердости с использованием метода обратимой деформации, при этом значения твердости (Fh) у опытной пробы с добавлением пшеничного солода и клейковины сухой были наименьшие, а наибольшее значение данного показателя — у контрольной пробы.

В Таблице 8 приведены физико-химические характеристики мякиша контрольных и опытных образцов хлеба.

Из Таблицы 8 видно, что изменение индекса твердости (Ih) мякиша хлеба для контрольной пробы составило: № 1 — от 21 до 45 гс/[(г/см<sup>3</sup>)×%]. У опытных проб хлеба: проба I — от 12 до 30 гс/[(г/см<sup>3</sup>)×%], проба III — от 10 до 20 гс/[(г/см<sup>3</sup>)×%].

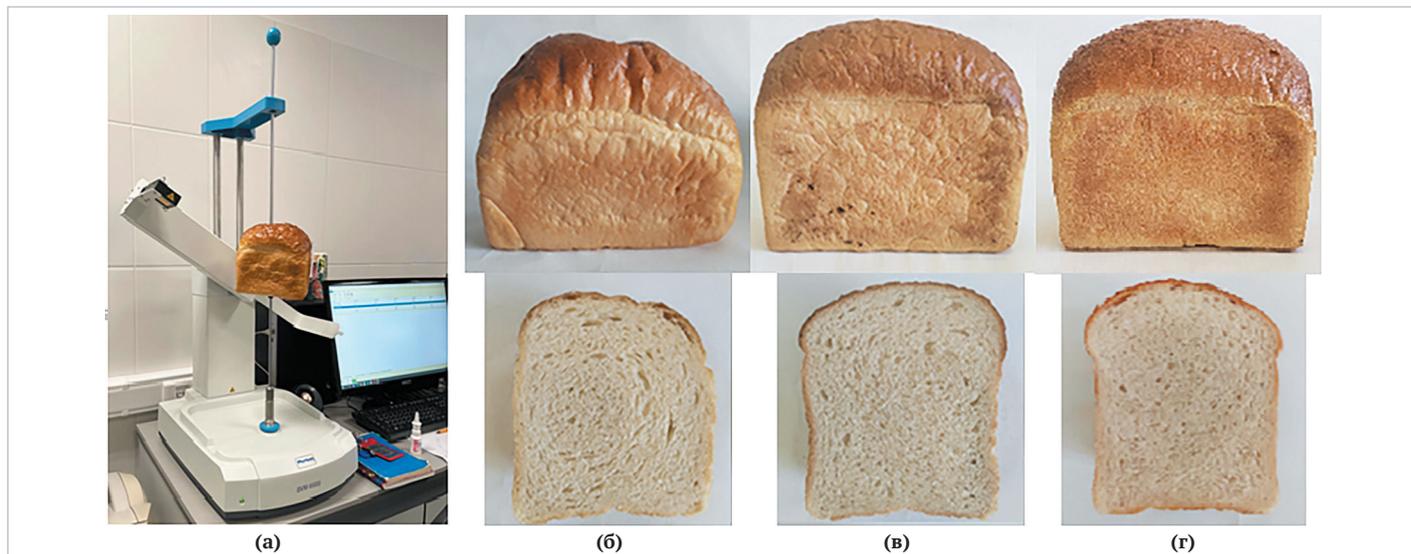


Рисунок 4. Внешний вид целого хлеба и в разрезе (а – лазерный объемомерник, б – контроль; в – проба I; г – проба III)  
Figure 4. Appearance of whole bread and cross-section appearance (a - laser volume measuring instrument, б – control; в – sample I; г – sample III)

Таблица 7. Физико-химические характеристики контрольного и опытного хлебов

Table 7. Physico-chemical characteristics of control and experimental bread

№ п/п	Наименование проб пшеничного теста	Физико-химические характеристики пшеничного хлеба						
		$G_{уп}^*$ , %	$G_{ус}^*$ , %	$W_{мяк}^*$ , %	$\rho_{мяк}^*$ , г/см <sup>3</sup>	$V_{хл}^*$ , см <sup>3</sup>	$V_{уд.хл}^*$ , см <sup>3</sup> /г	$P_{мяк}^*$ , %
1	Контроль	12,2±0,37	2,44±0,35	41,9±0,43	0,246±0,019	1902±29,65	3,61±0,15	81,2±1,42
2	Проба I	14,5±0,42	2,48±0,32	41,1±0,41	0,179±0,009	2190±33,95	4,27±0,16	86,3±0,72
3	Проба III	12,8±0,52	1,66±0,44	41,7±0,40	0,175±0,013	2376±34,09	4,65±0,18	86,7±0,98

Примечание: данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение». Средние значения в столбцах не имеют значимых различий, кроме столбцов со значком «\*» ( $p < 0,05$ ), число степеней свободы  $n = 3$ .

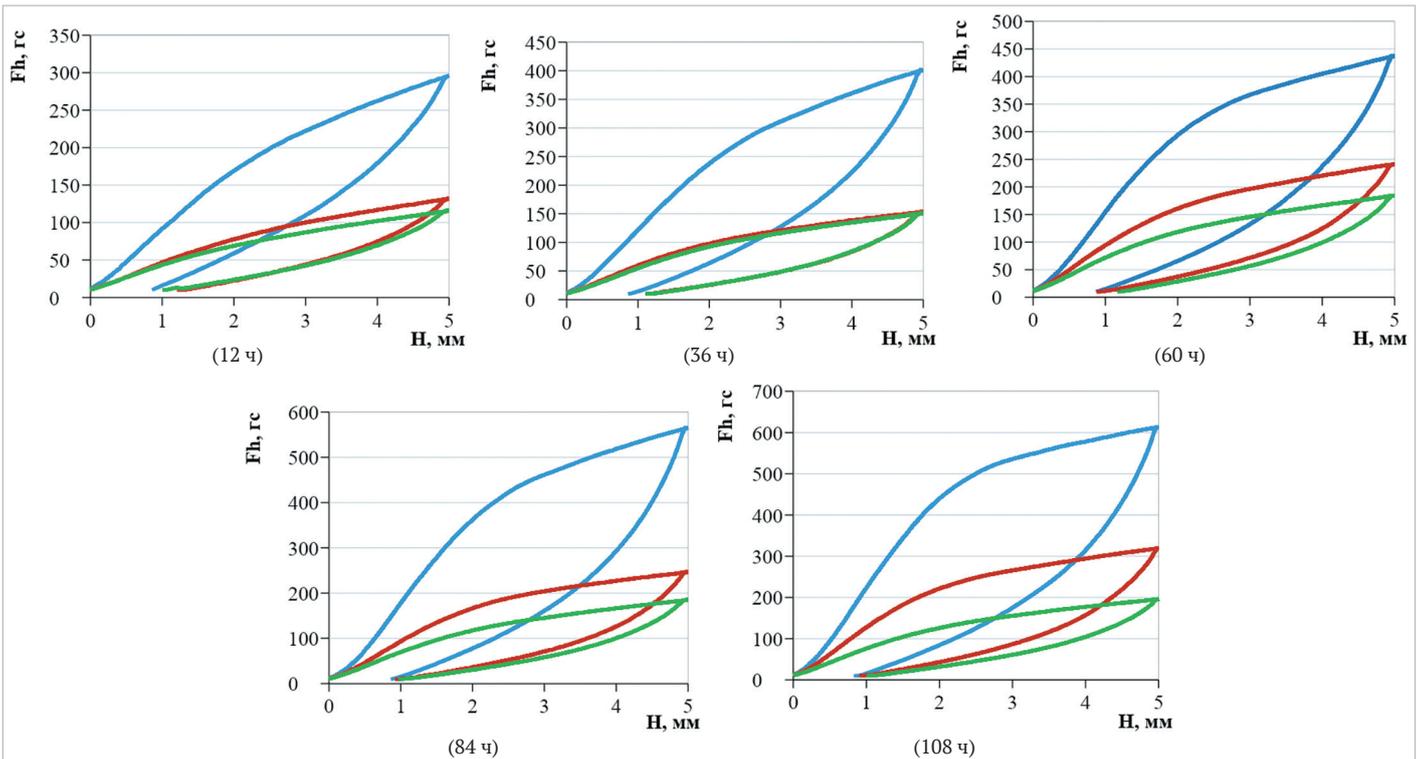


Рисунок 5. Кинетика усилия нагружения при сжатии пробы мякиша для хлеба с разной продолжительностью хранения после выпечки: 12; 36; 60; 84 и 108 ч (Контроль —; Проба I —; Проба III —)

Figure 5. Kinetics of loading force under compression of the crumb sample for bread with different storage duration after baking: 12; 36; 60; 84 and 108 hours (Control —; Sample I —; Sample III —)

Таблица 8. Физико-химические характеристики мякиша хлеба

Table 8. Physico-chemical characteristics of bread crumb

Вид изделия	ФХХ мякиша	Значения ФХХ мякиша хлеба с разной продолжительностью хранения, ч.					
		12	36	60	84	108	
Контроль	$\rho_{\text{мяк}}^*$ , г/см <sup>3</sup>	0,246±0,019	0,245±0,011	0,220±0,012	0,249±0,008	0,235±0,009	
	$P_{\text{мяк}}\%$	81,21±1,42	81,26±0,86	83,18±0,88	80,98±0,64	82,05±0,66	
	$W_{\text{мяк}}\%$	41,7±0,39	41,9±0,37	42,0±0,42	42,1±0,42	42,1±0,41	
	$Fh^*$ , гс	295,92±60,50	401±58,51	437,38±75,20	565,53±81,20	613,25±70,62	
	$lh^*$ , гс/[(г/см <sup>3</sup> )×%]	20,62±1,59	28,10±1,24	34,21±1,77	39,21±1,34	45,05±1,66	
	$E^I$ , кПа	11,53±4,27	15,83±1,67	18,27±6,15	20,20±4,34	27,30±2,58	
	$E^{II}$ , кПа	6,17±2,79	5,88±2,35	5,88±1,81	5,83±3,55	5,46±2,17	
	$A_{\text{общ}}^*$ , Дж/г × E <sup>-4</sup>	17,63±1,36	24,34±1,08	31,60±1,64	34,98±1,20	42,86±1,58	
	$A_{\text{пл}}^*$ , Дж/г × E <sup>-4</sup>	7,84±0,61	12,33±0,55	17,35±0,90	19,37±0,66	24,61±0,91	
	$A_{\text{упр}}^*$ , Дж/г × E <sup>-4</sup>	9,79±0,76	12,02±0,53	14,25±0,74	15,62±0,53	18,25±0,67	
	$V_{\text{ч}}$ , гс/сутки			89,87			
	Проба I	$\rho_{\text{мяк}}^*$ , г/см <sup>3</sup>	0,179±0,009	0,164±0,011	0,180±0,011	0,168±0,012	0,186±0,020
		$P_{\text{мяк}}\%$	86,3±0,72	87,5±0,81	86,2±0,82	87,2±0,91	85,8±1,51
$W_{\text{мяк}}\%$		41,7±0,41	41,9±0,40	42,0±0,41	42,1±0,38	42,1±0,39	
$Fh^*$ , гс		125,57±17,30	153,70±27,04	240,97±17,73	246,57±35,42	319,17±42,09	
$lh^*$ , гс/[(г/см <sup>3</sup> )×%]		11,93±0,65	16,14±1,03	23,04±1,31	25,32±1,81	29,64±3,04	
$E^I$ , кПа		5,56±0,89	8,48±2,93	13,81±4,35	11,53±1,20	17,21±3,56	
$E^{II}$ , кПа		2,73±1,09	3,31±1,30	2,86±1,23	3,98±0,67	4,43±1,01	
$A_{\text{общ}}^*$ , Дж/г × E <sup>-4</sup>		10,37±0,57	14,73±0,94	21,40±1,21	23,54±1,69	27,90±2,87	
$A_{\text{пл}}^*$ , Дж/г × E <sup>-4</sup>		5,20±0,28	7,90±0,50	11,95±0,68	13,40±0,96	16,26±1,67	
$A_{\text{упр}}^*$ , Дж/г × E <sup>-4</sup>		5,17±0,28	6,83±0,43	9,44±0,54	10,14±0,73	11,64±1,20	
$V_{\text{ч}}$ , гс/сутки				40,66			
Проба III		$\rho_{\text{мяк}}^*$ , г/см <sup>3</sup>	0,175±0,013	0,180±0,011	0,171±0,009	0,172±0,008	0,167±0,007
		$P_{\text{мяк}}\%$	86,67±0,98	86,23±0,77	86,94±0,68	86,88±0,57	87,25±0,54
	$W_{\text{мяк}}\%$	41,7±0,39	41,9±0,40	42,0±0,39	42,1±0,41	42,1±0,41	
	$Fh^*$ , гс	102,55±40,98	150,73±27,73	183,77±29,43	185,20±28,19	196,32±19,15	
	$lh^*$ , гс/[(г/см <sup>3</sup> )×%]	10,07±0,73	14,39±0,84	18,52±1,02	18,62±0,84	20,30±0,91	
	$E^I$ , кПа	6,68±2,13	6,81±1,45	10,28±2,82	10,12±3,21	10,50±1,66	
	$E^{II}$ , кПа	1,51±0,35	2,34±0,65	2,28±0,88	4,21±0,97	4,46±2,71	
	$A_{\text{общ}}^*$ , Дж/г × E <sup>-4</sup>	9,93±0,72	12,84±0,75	16,95±0,94	16,79±0,76	18,49±0,83	
	$A_{\text{пл}}^*$ , Дж/г × E <sup>-4</sup>	4,99±0,36	6,65±0,39	9,26±0,51	8,90±0,40	9,88±0,44	
	$A_{\text{упр}}^*$ , Дж/г × E <sup>-4</sup>	4,94±0,46	6,19±0,36	7,69±0,43	7,88±0,36	8,61±0,39	
	$V_{\text{ч}}$ , гс/сутки			27,45			

Примечание: данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение». Средние значения в столбцах не имеют значимых различий, кроме столбцов со значком «\*» (p < 0,05), число степеней свободы n=6.

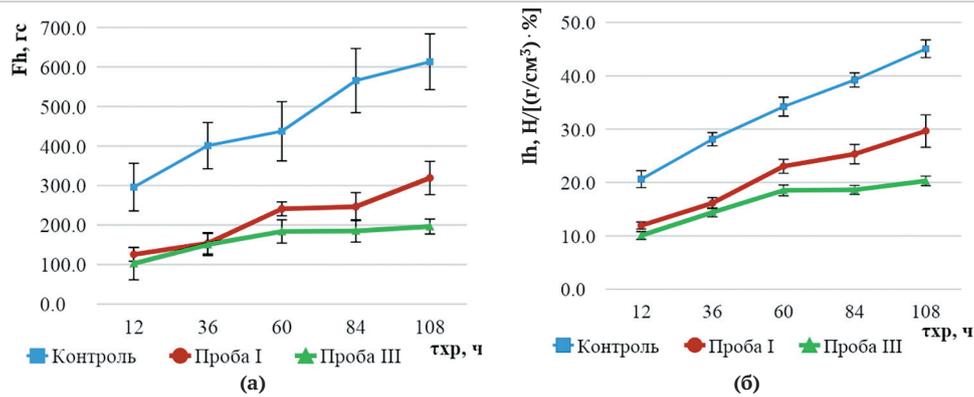


Рисунок 6. Влияние продолжительности хранения пшеничного хлеба («контроль»; «проба I»; «проба III») на изменение показателей твердости (а) и индекса твердости (б) мякиша в процессе хранения хлеба в течение от 12 ч до 108 ч  
Figure 6. Effect of storage duration of wheat bread (control, sample I, sample III) on changes in the hardness indicators (a) and hardness index (б) of crumb during bread storage for 12 hours to 108 hours

На Рисунке 6 приведена динамика показателей твердости (Fh) и индекса твердости (Ih) мякиша пшеничных хлебов «контроль», «проба I» и «проба III» при хранении после выпечки в течение 108 часов.

Анализ данных, представленных в Таблице 8 и на Рисунке 6, позволил установить скорость черствения мякиша. Для контрольной пробы она составила 90 гс/сутки, для опытных образцов: проба I — 41 гс/сутки, проба III — 27 гс/сутки. Таким образом, наименьшая скорость черствения отмечена для пробы III с внесением сухой клейковины.

Исследования, проведенные отечественными и зарубежными учеными [44–45], подтверждают положительное влияние сухой клейковины на качество готовых изделий. Исследования, проведенные Егошиной Т. [44], аналогично выявили, что внесение пшеничной клейковины приводит к увеличению пористости мякиша хлебобулочных изделий и к снижению технологических затрат производства. Эти же данные подтверждают исследования Погонец Е. В. [45], которая также выявила, что внесение сухой клейковины обеспечивает увеличение пористости и объема готовых изделий. Lauren Tebben и др. [46] отмечают, что добавление сухой клейковины не только обеспечивает увеличение объема буханки хлеба, но и снижает твердость мякиша. Таким образом, отмечается закономерность, что добавление сухой пшеничной клейковины улучшает органолептические и физико-химические свойства готовых изделий.

#### 4. Выводы

Таким образом, исследования, направленные на оптимизацию реологических свойств пшеничного теста за счет внесения в муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта пшеничного солода и сухой клейковины, позволили сделать следующие выводы:

1. Установлена оптимальная дозировка сухой пшеничной клейковины, равная 3%, позволяющая рекомендовать мукомольной промышленности изготовление муки пшеничной хлебопекарной с содержанием клейковины в пределах  $31,5 \pm 0,3\%$ . Такое ее количество обеспечивает минимальную скорость черствения мякиша пшеничного хлеба при хранении при условии оптимизации показателей ее углеводно-амилазного комплекса;
2. Установлена динамика индекса твердости мякиша пшеничного хлеба без внесения и с внесением пшеничного солода, а также при совместном внесении пшеничного солода и сухой клейковины при хранении изделий в течение 108 ч;
3. Установлена скорость черствения мякиша контрольной пробы пшеничного хлеба, опытной пробы I (с пшеничным солодом) и опытной пробы III (с пшеничным солодом и сухой клейковиной), которая составила 90 гс/сутки, 41 гс/сутки и 27 гс/сутки соответственно;
4. Наибольший технологический эффект при оптимизации реологических свойств пшеничного теста достигается за счет совместного внесения пшеничного солода и сухой клейковины. Такое сочетание способствует сокращению скорости черствения мякиша хлеба в 3,3 раза по сравнению с контрольной пробой и составляет 28 гс/сутки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК/ REFERENCES

1. Носова, М. В., Дремучева, Г. Ф., Костюченко, М. Н., Смирнова, С. А. (2019). Влияние мультиэнзимной композиции на степень черствости батончиков нарезных из пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта. *Хлебопечение России*, 2, 39–43. [Nosova, M. V., Dremucheva, G. F., Kostyuchenko, M. N., Smirnova, S. A. (2019). Effect of multi-enzyme composition on a degree of staleness of long loaves from baker's wheat flour of the highest grade. *Bakery of Russia*, 2, 39–43. (In Russian)]
2. Kostyuchenko, M., Martirosyan, V., Nosova, M., Dremucheva, G., Nevskaya, E., Savkina, O. (2021). Effects of  $\alpha$ -amylase, endo-xylanase and exoprotease combination on dough properties and bread quality. *Agronomy Research*, 19(S3), 1234–1248. <https://doi.org/10.15159/AR.21.067>
3. Liu, W., Brennan, M. A., Serventi, L., Brennan, C. S. (2017). Effect of cellulase, xylanase and  $\alpha$ -amylase combinations on the rheological properties of Chinese steamed dough enriched in wheat bran. *Food Chemistry*, 234, 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.160>
4. 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>
5. Dahiya, S., Bajaj, B. K., Kumar, A., Tiwari, S. K., Singh, B. (2020). A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. *Process Biochemistry*, 99, 290–306. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.002>
6. Rayas-Duarte, P., Murtini, E. S. (2020). Bread staling. Chapter in a book: *Breadmaking* (Third Edition). Woodhead Publishing, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102519-2.00019-0>
7. Chen, Y., Gavaliatsis, T., Kuster, S., Städeli, C., Fischer, P., Windhab, E. J. (2021). Crust treatments to reduce bread staling. *Current Research in Food Science*, 4, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2021.03.004>
8. de Beer, T. (2023). Quality assessment of wheat flour, dough, and bread. Chapter in a book: *ICC Handbook of 21st Century Cereal Science and Technology*. Academic Press, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95295-8.00002-2>
9. 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)
10. 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>
11. Eliasson, A. C. (2020). Wheat starch structure and bread quality. Chapter in a book: *Breadmaking* (Third Edition). Woodhead Publishing, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102519-2.00005-0>
12. Сметанин, Д. О. (2023). Определение критических точек показателей состояния углеводно-амилазного комплекса пшеничной муки. Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. Москва: Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, 2023. [Smetanin, D.O. (2023). Determination of critical points of indicators of the state of the carbohydrate-amylase complex of wheat flour. International scientific-practical conference of young scientists and specialists of the Department of the Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences. Moscow: V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, 2023. (In Russian)]
13. Лейберова, Н. В., Панкратьева, Н. А., Заворохина, Н. В., Чугунова, О. В. (2019). Влияние содержания амилозы в пшеничной муке на процесс черствения и показатели качества хлеба в процессе хранения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2, 93–101. [Leiberova N. V., Pankratieva N. A., Zavorohina N. V., Chugunova O. V. (2019). Amylose content in a wheat flour influence on become stale of bread and indicator of the quality of bread in the process of storage. *Storage and Processing of Farm Products*, 2, 93–101. (In Russian)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.156>
14. Ауэрман, Л. Я. (2005). Технология хлебопекарного производства. СПб.: Профессия, 2005. [Auerman, L. Ya. (2006). Technology of bakery production. Saint-Petersburg: Profession, 2005. (In Russian)]
15. Шмалько, Н. А. (2022). Подбор закона распределения для числа падения пшеничной муки. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 1, 116–132. [Shmalko N. A. (2022). Selection of the distribution law for the falling number of wheaten flour. *Storage and Processing of Farm Products*, 1, 116–132. (In Russian)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.279>

16. Barrero, J. M., Mrva, K., Talbot, M. J., White, R. G., Taylor, J., Gubler, F. et al. (2013). Genetic, hormonal, and physiological analysis of late maturity alpha-amylase in wheat. *Plant Physiology*, 161(3), 1265–1277. <https://doi.org/10.1104/pp.112.209502>
17. Delwiche, S. R., Vinyard, B. T., Bettge, A. D. (2015). Repeatability precision of the falling number procedure under standard and modified methodologies. *Cereal Chemistry*, 92(2), 177–184. <https://doi.org/10.1094/cchem-07-14-0156-r>
18. Gerits, L. R., Pareyt, B., Delcour, J. A. (2015). Wheat starch swelling, gelatinization and pasting: Effects of enzymatic modification of wheat endogenous lipids. *LWT – Food Science and Technology*, 63(1), 361–366. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.035>
19. Marti, A., Cardone, G., Nicolodi, A., Quaglia, L., Pagani, M. A. (2017). Sprouted wheat as an alternative to conventional flour improvers in bread-making. *LWT*, 80, 230–236. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.028>
20. Эррера, В. Э. (2019). Определение числа падения на приборах ПЧП-3 и ПЧП-7. *Хлебопродукты*, 8, 24–25. [Herrera, V. E. (2019). Determination of the falling number on the instruments PChP-3 and PChP-7. *Khleboproducty*, 8, 24–25. (In Russian)]
21. Эррера, В. Э. (2019). Определение Автоматическая система определения истинного значения числа падения Эталоник. *Хлебопродукты*, 5, 31–33. [Herrera, V. E. (2019). Determination Automatic system of determination of the true value of the falling number Etalonik. *Khleboproducty*, 5, 31–33. (In Russian)]
22. Жук, Е. А., Кондаков, К. С., Кибкало, И. А. (2020). Изучение состояния углеводно-амилазного комплекса зерна сорго через определение числа падения. *Кукуруза и сорго*, 4, 25–29. [Zhuk, E. A., Kondakov, K. S., Kibkalo, I. A. (2020). Study of the state of the carbohydrate-amylase complex of sorghum grain through the definition of fall numbers. *Corn and Sorghum*, 4, 25–29. (In Russian)] <https://doi.org/10.25715/a4303-5647-5344-u>
23. Шмалько, Н. А., Никитин, И. А., Штерман, С. В., Сидоренко, М. Ю. (2022). Определение условий процесса клейстеризации крахмалистого геля при изучении числа падения. *Пищевая промышленность*, 12, 6–9. [Shmalko, N. A., Nikitin, I. A., Shterman, S. V., Sidorenko, M. Yu. (2022). Determination of the conditions of the starch gel gelatinization process when studying the falling number. *Food Industry*, 12, 6–9. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.12.12.001>
24. Березина, Н. А. (2022). Исследование технологического показателя «число падения» поликомпонентных мучных смесей с белоксодержащим сырьем. Продукты питания. Новые технологии: сборник научных статей. Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина. [Berezina N. A. (2022). Study of the technological indicator «fall number» of polycomponent flour mixtures with protein-containing raw materials. Food products. New technologies: Collection of scientific papers. Orel: Orel State Agrarian University named after N. V. Parakhin. (In Russian)]
25. Chen, J.-S., Deng, Z. -y., Wu, P., Tian, J.-C., Xie, Q.-G. (2010). Effect of gluten on pasting properties of wheat starch. *Agricultural Sciences in China*, 9(12), 1836–1844. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60283-2](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60283-2)
26. Гурьева, К. Б., Когтева, Е. Ф., Белецкий, С. Л. (2018). Изменение белково-протеиназного комплекса пшеничной муки при длительном хранении. *Хлебопродукты*, 12, 56–59. [Guryeva, K. B., Kogteva, E. F., Beletsky, S. L. (2018). Change in the protein-proteinase complex of wheat flour during long-term storage. *Khleboproducty*, 12, 56–59. (In Russian)]
27. Гурьева, К. Б., Белецкий, С. Л., Хаба, Н. А. (2020). Оценка белково-протеиназного комплекса зерна пшеницы после длительного хранения. *Хлебопродукты*, 7, 34–36. [Guryeva, K. B., Beletsky, S. L., Khaba, N. A. (2020). Assessment of the protein-proteinase complex of wheat grain after long-term storage. *Khleboproducty*, 7, 34–36. (In Russian)]
28. Витол, И. С., Панкратов, Г. Н., Мелешкина, Е. П., Кандроков, Р. Х. (2019). Особенности состава и белково-протеиназного комплекса муки из двухкомпонентной зерновой смеси и семян льна. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 6, 83–88. [Vitol, I. S., Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Kandrov, R. Kh. (2019). Features of composition and protein protein complex of flour from two-component grain mixture and flax seeds. *Technology and Merchandizing of Innovative Foodstuff*, 6, 83–88. (In Russian)]
29. Гурьева, К. Б., Белецкий, С. Л., Хаба, Н. А. (2020). Белково-протеиназный комплекс пшеницы после длительного хранения. *Товаровед продовольственных товаров*, 9, 69–72. [Guryeva, K. B., Beletsky, S. L., Khaba, N. A. (2020). Protein-proteinase complex of wheat after long-term storage. *Food Products Commodity Expert*, 9, 69–72. (In Russian)]
30. Медведев, П. В., Федотов, В. А. (2020). Современные подходы к оценке и управлению качеством продукции хлебопекарного производства. *Хлебопечение России*, 4, 33–37. [Medvedev, P. V., Fedotov, V. A. (2020). Modern approaches to assessment and management of quality of products of bakery production. *Bakery of Russia*, 4, 33–37. (In Russian)]
31. Wang, L., Li, Y., Guo, Z., Wang, H., Wang, A., Li, Z., et al. (2023). Effect of buckwheat hull particle-size on bread staling quality. *Food Chemistry*, 405(A), Article 134851. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134851>
32. Haghghat-Kharazi, S., Kasaai, M. R., 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>
33. Черных, В. Я., Иванов, В. С. (2019). Регулирование сахарообразующей способности хлебопекарной муки. Монография, М.: ООО «Буки Веди». [Chernykh, V. Ya., Ivanov, V. S. (2019). Regulation of sugar-forming capacity of baker's flour. Moscow: BukiVedi. (In Russian)]
34. Черных, В. Я., Кононенко, В. В., Максимов, А. С. (2020). Влияние продолжительности хранения хлебобулочных изделий на показатели твердости и эластичности мякиша. *Хлебопечение России*, 2, 19–27. [Chernykh, V. Ya., Kononenko, V. V., Maksimov, A. S. (2020). Effect of storage duration of bakery products on indicators of hardness and elasticity of crumb. *Bakery of Russia*, 2, 19–27. (In Russian)]
35. Perten, H. (1964). Application of falling number method for evaluating alpha-amylase activity. *Cereal Chemistry*, 41(3), 127–139.
36. Hug-Itten, S., Handschin, S., Conde-Petit, B., Escher, F. (1999). Changes in starch microstructure on baking and staling of wheat bread. *LWT – Food Science and Technology*, 32(5), 255–260. <https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0544>
37. Scanlon, M. G., Zghal, M. C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 34(10), 841–864. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00109-0](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00109-0)
38. N., Yu., Laurenz, R., Siler, L., P. K. W. Ng., Souza, E., Lewis, J. M. (2015). Evaluation of alpha-amylase activity and falling number around maturity for soft white and soft red wheat varieties in Michigan. *Cereal Research Communications*, 43(4), 672–681. <https://doi.org/10.1556/0806.43.2015.026>
39. GTA Wheat Trading Standards (2024). Grain Trade Australia. Section 2 – Wheat Trading Standards. 2022/2023 Season. Retrieved from <https://www.graintrade.org.au/sites/default/files/Standards/Section%2002%20-%20Wheat%20Trading%20Standards%202022-2023.pdf> Accessed July 18, 2024.
40. Home Grown Cereals Authority (2014). Guide to cereals in the UK. Retrieved from <http://web.archive.org/web/20190719211510/https://cereals.ahdb.org.uk/media/658213/hgca-cereal-a5-16pp-final.pdf>. Accessed July 18, 2024.
41. Маслов, А.В., Мингалева, З.Ш., Ямашев, Т.А., Шибаета, Н.Ф. (2022). Изучение влияния комплексной растительной добавки на свойства мучных смесей и пшеничного теста. *Техника и технология пищевых производств*, 52, 3, 511–525. [Maslov, A.V., Mingaleeva, Z. Sh., Yamashev, T.A., Shibaeva, N.F. (2022). Effect of a Complex Plant Additive on Flour Mixes and Wheat Dough. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52, 3, 511–525. (In Russian)] <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385>
42. Ямашев, Т.А., Мусина, А.М., Мусина, Г.М., Салахова, А.И., Решетник, О.А. (2015). Влияние овсяного солода на реологические характеристики пшеничного теста. *Вестник Технологического университета*. 18, 23, 60–62. [Yamashev, T.A., Musina, A.M., Musina, G.M., Salahova, A.I., Reshetnik, O.A. (2015). Effect of oat malt on rheological characteristics of wheat dough. *Vestnik Tekhnologicheskogo Universiteta*, 18, 23, 60–62 (In Russian)]
43. Marchetti, L., Cardoso, M., Campana, L., Ferrero, Cr. (2012). Effect of glutes of different quality on dough characteristics and breadmaking performance. *LWT – Food Science and Technology*, 46(1), 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.002>
44. Егошина, Т. (2009). Влияние сухой пшеничной клейковины на качество булочки французской. *Студенческая наука и XXI век*, 6, 16–19. [Egoshina, T. (2009). Effect of dry wheat gluten on quality of French bread loaf. *Student Science and the XXI Century*, 6, 16–19. (In Russian)]
45. Погонец, Е. В. (2014). Влияние сухой пшеничной клейковины на качество пшенично-трикалевого хлеба. *Техника и технология пищевых производств*, 2(33), 61–65. [Pogonec, E. V. (2014). The influence of dry wheaten gluten on quality of triticale-white bread. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2(33), 61–65. (In Russian)]
46. Tebben, L., Chen, G., Tilley, M., Li, Y. (2020). Individual effects of enzymes and vital wheat gluten on whole wheat dough and bread properties. *Integrated Food Science*, 85(12), 4201–4208. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15517>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
<b>Принадлежность к организации</b>	<b>Affiliation</b>
<p><b>Черных Валерий Яковлевич</b> — доктор технических наук, профессор, руководитель центра реологии пищевых сред, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности 107553, Москва, ул. Б. Черкизовская, 26 А Тел: +7-499-161-04-97 E-mail: polybiotest@rambler.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-3560-1901">https://orcid.org/0000-0002-3560-1901</a> * автор для контактов</p>	<p><b>Valery Ya. Chernykh</b>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Center for Rheology of Food Media, Chief Researcher, Scientific Research Institute for the Baking Industry 26 A, B. Cherkizovskaya Str., Moscow, 107553, Russia Tel: +7-499-161-04-97 E-mail: polybiotest@rambler.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-3560-1901">https://orcid.org/0000-0002-3560-1901</a> * corresponding author</p>
<p><b>Алексеенко Елена Викторовна</b> — доктор технических наук, профессор, заместитель директора по работе с индустриальными партнерами, Институт биотехнологии и глобального здоровья, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ) 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел: +7-499-750-01-11 E-mail: AlekseenkoEV@mgupp.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6208-0999">https://orcid.org/0000-0001-6208-0999</a></p>	<p><b>Elena V. Alekseenko</b>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Work with Industrial Partners, Institute of Biotechnology and Global Health, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH) 11, Volokolamsk highway, Moscow, 125080, Russia Tel: +7-499-750-01-11 E-mail: AlekseenkoEV@mgupp.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6208-0999">https://orcid.org/0000-0001-6208-0999</a></p>
<p><b>Сметанин Дмитрий Олегович</b> — младший научный сотрудник, центр реологии пищевых сред, Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности 107553, Москва, ул. Б. Черкизовская, 26 А Аспирант, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ) 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел: +7-499-161-04-97 E-mail: dimkapers35@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0009-0007-7214-5574">https://orcid.org/0009-0007-7214-5574</a></p>	<p><b>Dmitry O. Smetanin</b>, Junior Researcher, Center for Rheology of Food Media, Scientific Research Institute for the Baking Industry, 26 A, B. Cherkizovskaya Str., Moscow, 107553, Russia Postgraduate Student, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH) 11, Volokolamsk Highway, Moscow, 125080, Russia Tel: +7-499-161-04-97 E-mail: dimkapers35@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0009-0007-7214-5574">https://orcid.org/0009-0007-7214-5574</a></p>
<p><b>Балуян Хачатур Александрович</b> — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, центр реологии пищевых сред, Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности 107553, Москва, ул. Б. Черкизовская, 26 А Тел: +7-499-161-04-97 E-mail: Kh.baluyan@ya.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-3011-8846">https://orcid.org/0000-0003-3011-8846</a></p>	<p><b>Khachatur A. Baluyan</b>, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Center for Rheology of Food Media, Scientific Research Institute of the Bakery Industry 26 A, B. Cherkizovskaya Str., Moscow, 107553, Russia Tel: +7-499-161-04-97 E-mail: Kh.baluyan@ya.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-3011-8846">https://orcid.org/0000-0003-3011-8846</a></p>
<p><b>Печникова Юлия Юрьевна</b> — младший научный сотрудник, центр реологии пищевых сред, Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности 107553, Москва, ул. Б. Черкизовская, 26А Аспирант, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ) 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел: +7-499-161-04-97 E-mail: yu.pechnikova@gosnihp.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-9039-7368">https://orcid.org/0000-0002-9039-7368</a></p>	<p><b>Yulia Yu. Pechnikova</b>, Junior Researcher, Center for Rheology of Food Media, Scientific Research Institute for the Baking Industry, 26A, B. Cherkizovskaya Str., Moscow, 107553, Russia Postgraduate Student, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH) 11, Volokolamsk Highway, Moscow, 125080, Russia Tel: +7-499-161-04-97 E-mail: yu.pechnikova@gosnihp.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-9039-7368">https://orcid.org/0000-0002-9039-7368</a></p>
<b>Критерии авторства</b>	<b>Contribution</b>
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.
<b>Конфликт интересов</b>	<b>Conflict of interest</b>
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.