

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2552>
<https://elibrary.ru/XJGOQI>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Технологические параметры приготовления теста для сахарного и затыжного печенья



П. В. Медведев^{ID}, В. А. Федотов*^{ID}, И. А. Бочкарева

Оренбургский государственный университет^{ROR}, Оренбург, Россия

Поступила в редакцию: 22.01.2024

Принята после рецензирования: 26.09.2024

Принята к публикации: 01.10.2024

*В. А. Федотов: vital_asm@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-3692-9722>

П. В. Медведев: <https://orcid.org/0000-0001-9715-5612>

© П. В. Медведев, В. А. Федотов, И. А. Бочкарева, 2025



Аннотация.

Кондитерское тесто для разных видов изделий отличается технологическими свойствами, поэтому важным является подбор оптимальных режимов производства. Цель работы – изучить влияние технологических параметров приготовления теста и муки из пшеницы различной твердозерности на реологические свойства теста и качество готовых изделий – сахарного и затыжного печенья.

Объекты исследования – зерно пшеницы и мука, выработанная из него, тесто для сахарного и затыжного печенья, готовые изделия. Оценку твердозерности пшеницы проводили гранулометрическим способом. Амилографические характеристики муки измеряли амилографом Brabender (ООО «Брабендер», Россия), реологические свойства теста – ротационным вискозиметром Реотест-2 (Mettingen, Германия), прочностные характеристики печенья – структурометром СТ-2 (ООО «Лаборатория качества», Россия).

Выявлено уменьшение вязкости теста по мере снижения твердозерности пшеницы. Зависимость напряжения сдвига тестовых масс от скорости их деформации наиболее точно описывается степенными функциями. Использование муки из сверхтвердозерной пшеницы в сравнении с мягкозерной увеличивало прочностные свойства сахарного печенья в среднем на 55–60 %, затыжного – на 45–50 %. Максимальная высота амилограммы для мягкозерной пшеницы составила около 237 ед. амилографа, для сверхтвердозерной – 852 ед. амилографа. Намокаемость печенья из пшеницы с твердозерностью ниже средней максимальна, из сверхтвердозерной – минимальна, разница составляет около 60 %. Учет твердозерности пшеницы, из которой произведена мука, позволяет формировать новые рецептуры печенья, варьируя дозировки сахара и жира.

Системный подход к варьированию технологических параметров приготовления теста с учетом твердозерности пшеницы позволил разработать методологию управления формированием реологических свойств тестовых заготовок и качеством сахарного и затыжного печенья. Дальнейшие исследования предполагают разработку систем управления качеством мучных кондитерских изделий.

Ключевые слова. Твердозерность, зерно, пшеница, мучные кондитерские изделия, тесто, реологические свойства, качество

Для цитирования: Медведев П. В., Федотов В. А., Бочкарева И. А. Технологические параметры приготовления теста для сахарного и затыжного печенья. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 61–73. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2552>

Dough-Making Technology for Sugar and Hard-Dough Cookies



Pavel V. Medvedev^{ID}, Vitalij A. Fedotov*^{ID}, Irina A. Bochkareva

Orenburg State University^{ROR}, Orenburg, Russia

Received: 22.01.2024

Revised: 26.09.2024

Accepted: 01.10.2024

*Vitalij A. Fedotov: vital_asm@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-3692-9722>

Pavel V. Medvedev: <https://orcid.org/0000-0001-9715-5612>

© P.V. Medvedev, V.A. Fedotov, I.A. Bochkareva, 2025



Abstract.

Pastry dough differs in technological properties and requires optimal production modes. The article describes the effect of technological variables of flour from wheat samples with different grain hardness on the rheological profile of dough and the quality of sugar and hard-dough cookies.

The research featured wheat grain, flour, and dough for sugar and hard-dough cookies. The grain hardness was assessed using the granulometric method. The amylographic profile of the flour was measured with a Brabender amylograph (Brabender, LLC, Russia), the rheological properties of the dough were analyzed with a Rheotest-2 rotational viscometer (Mettingen, Germany), and the strength characteristics of the cookies were tested with an ST-2 structure meter (Laboratoria Kachestva, LLC, Russia).

The dough viscosity went down together with the grain hardness. The dependence of the shear stress of the dough on the deformation rate was described by power functions. The extra-hard wheat flour raised the strength by 55–60% in sugar cookies and by 45–50% in hard cookies. The maximal amylogram height was 237 amylograph units for soft wheat and 852 amylograph units for extra-hard wheat. The cookies with low grain hardness demonstrated the highest water-absorption with a 60% difference from the extra-hard wheat samples. The grain hardness indicator made it possible to develop new cookie formulations by varying the amounts of sugar and fat.

A systematic approach to technological variables of dough-making from wheat grain with different hardness yielded a new control method to program the rheological properties of dough and the quality of sugar and hard-dough cookies. Further research will provide new quality management systems for different pastries.

Keywords. Hardness of grain, grain, wheat, pastry, dough, rheological properties, quality

For citation: Medvedev PV, Fedotov VA, Bochkareva IA. Dough-Making Technology for Sugar and Hard-Dough Cookies. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):61–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2552>

Введение

В соответствии со стратегией развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 г., приоритетным направлением кондитерской отрасли пищевой промышленности является диверсификация рынка за счет совершенствования структуры ассортимента производимых кондитерских изделий, экономии дефицитных видов сырья, создания изделий максимально возможного качества. Пути решения поставленных задач заключаются в стимулировании производителей к выпуску пищевых продуктов с заданными потребительскими свойствами.

В современном мире большое значение придается рациональному использованию сырья в производстве. Бережливые технологии в пищевом производстве предполагают снижение затрат при одновременном

росте выхода готовой продукции, что ведет к повышению эффективности работы предприятий. Системный подход к пищевому производству возможен путем мониторинга качества и гибкого управления технологическими свойствами сырья, полуфабрикатов на всем протяжении производственного цикла [1]. Существующие нормативно-технические регламенты определяют технологические свойства преимущественно хлебопекарной, в меньшей степени – кондитерской муки. В то же время предъявляемые к муке хлебопекарной и кондитерской требования имеют различия в важных характеристиках белково-протеиназного и углеводно-амилазного комплексов муки [2].

Закрепленное в государственных стандартах Российской Федерации разделение пшеницы на яровую и озимую никак не характеризует ее твердозерность. В ГОСТ 27186-86 присутствует определение признака

твердозерности пшеницы. Стандарты Канады и США предусматривают деление пшеницы на твердозерные и мягкозерные сорта. Такой подход основан на различиях твердозерных и мягкозерных пшениц по структурно-механическим свойствам (энергия на разрушение во время помола, гранулометрический состав продуктов измельчения, микротвердость зерна и пр.). Отечественные стандарты не решают проблем использования мучного сырья без его маркировки по показателю твердозерности.

Различия мягкозерных и твердозерных пшениц основываются на физических качествах структуры зерновки. Граница разрушения эндосперма зерна мягкозерных пшениц проходит по внутренним компонентам клеток. Мука, образующаяся при помоле таких пшениц, отличается неправильной формой частиц с множеством мелких фрагментов. Слипающиеся частицы в виде агломератов затрудняют переработку на ситах рассевов и процессы просеивания. Связи в клетках между алейроновым и субалейроновым слоями у твердозерной пшеницы гораздо прочнее, отделение отрубей затруднено, из-за чего длительность вымольного процесса выше, однако продолжительность отволаживания меньше по сравнению с мягкозерными пшеницами. Твердозерные пшеницы вымалываются значительно лучше, производя крупитчатую муку. В дражном процессе у таких пшениц извлечение крупок и дунстов в 1,6–1,8 раз выше, а муки – меньше [3]. Структурно-механические различия твердозерных и мягкозерных сортов пшеницы необходимо принимать во внимание на мукомольных заводах при составлении помольных партий. Сведения о твердозерности полезны и при выборе технологических параметров измельчения зерна (например, оптимальные режимы гидротермической обработки), рекомендовано перерабатывать компоненты помольных партий изолированно друг от друга.

Мягкозерная пшеница предпочтительна для выработки муки в индустрии мучнистых кондитерских изделий. Такая мука обладает низкими значениями содержания белка и водопоглотительной способностью. Мягкозерные сорта пшеницы также называют бисквитными. Приоритеты последних десятилетий в странах СНГ сложились таким образом, что аграрный рынок ориентирован на селекцию пшеницы сильной или ценной в ущерб мягкозерной. Отсутствие в нормативной документации СНГ подкатегории мягкозерной (бисквитной) в категории мягкой пшеницы усугубляет несовершенство классификации зерна. Мука из твердозерных пшениц характеризуется большими размерами частиц, щелочеводоудерживающей способностью, водопоглощением из-за большей степени повреждения крахмала, сравнительно меньшими значениями белизны, большей длительностью периода образования теста при замесе, большими значениями седиментации. Мука из мягкозерных пшениц с клейковиной средней силы не нуждается в смешивании с более сильной

или ценной при производстве печенья, пирогов, крекеров. Такая мука, с невысоким содержанием белка (менее 9,5 %), лучше подходит для производства бисквитов и кексов. Муку с большим содержанием белка рациональнее использовать для производства хлебобулочных изделий. Мука, произведенная из зерна с высокой стекловидностью, обычно характеризуется повышенным содержанием клейковины, что обуславливает реологические свойства теста, делая его более упругим и малорастяжимым, непластичным, что затрудняет производство, к примеру, высококачественного печенья.

Кондитерское тесто представляет собой коллоидную систему из лиофильных веществ с мицеллярной структурой. Особенности структуры такой системы проявляются в неподчинении ее вязкости уравнению закона Ньютона (неньютоновская жидкость). Значения вязкости таких коллоидных систем тесно связаны с напряжением сдвига [4]. Весомый вклад в структурные особенности теста вносят лиофильность мицелл, их сольватные оболочки и формирующийся в ходе технологического процесса клейковинный остов. К реологическим характеристикам теста относят вязкость, упругость, эластичность. Так, эластичность клейковины является причиной стремления тестовой массы возвращаться к начальному состоянию до деформации при прекращении деформирующего усилия [5]. Консистенцию теста часто описывают следующими терминами: рассыпчатая, затяжная, незатяжная, эластичная, жесткая и т. п. Эти термины субъективны, поэтому для повышения объективности оценки качества дисперсных систем, таких как тесто для сахарного и затяжного печенья, целесообразно определять различные структурно-механические свойства, например, основанные на усилиях по перемещению полуфабриката, его формованию и пр. На основе этого рационально обосновывать оптимальные технологические режимы производства, проводить их мониторинг и регулирование, обеспечивающие стабильность качества изделий [6]. Основными показателями, описывающими консистенцию мучного теста, являются предельное напряжение сдвига и вязкость теста [1].

Интенсивность структурных изменений в тесте зависит от различных причин: продолжительности замеса и отлежки теста, его температуры и влажности, а также гидрофильных свойств компонентов теста [7]. Максимальный удельный вес в тесте для кондитерских изделий составляет мука, которая характеризуется различиями своих гидрофильных свойств в зависимости от твердозерности пшеницы [3].

Цель работы – изучить особенности формирования структурно-механических свойств полуфабрикатов и готовой продукции – сахарного и затяжного печенья – в зависимости от технологических параметров приготовления теста и свойств муки, варьирующихся при выборе пшеницы разной твердозерности.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования послужили образцы зерна мягких сортов пшеницы, мука, выработанная из них, образцы теста для сахарного и затяжного печенья, а также готовые изделия.

Среди 60 изученных образцов зерна пшеницы по результатам гранулометрического анализа представлены: сверхтвердозерные – 32 % образцов, высокотвердозерные – 19 %, средней твердозерности – 31 %, ниже средней твердозерности – 22 %, мягкозерные – 6 %.

Оценку твердозерности пшеницы проводили гранулометрическим способом по индексу размера частиц [8]. Индекс размера частиц представляет собой количество измельченного продукта, размер частиц которого меньше 80 мкм, т. е. проход сита № 008 [9]. Показатель выражается в процентах по отношению к массе анализируемой пробы продукта. По показателю индекса размера частиц принята следующая классификация пшениц по твердозерности: сверхтвердозерная – 5–11 %, высокотвердозерная – 12–17 %, средней твердозерности – 18–21 %, ниже средней твердозерности – 22–26 %, мягкозерная – выше 26 % [10].

Зерновые помолы производили на установке Labor Muszeripari Muevek QC-109 (Венгрия) с выходом муки 70 %. Тесто для сахарного печенья получали по рецептуре печенья «Юбилейное» с влажностью $4,5 \pm 1,5$ %, для затяжного печенья – по рецептуре печенья «Крокет» с влажностью $7,0 \pm 1,0$ %.

Исследования реологических свойств теста – вязкости и напряжения сдвига тестовых масс – проводились на ротационном вискозиметре Реотест-2 (Mettingen, Германия). Консистенция печенья определялась с помощью пенетрометра, измерялась в ед. прибора.

Для анализа структурно-механических свойств готового печенья оценивали степень деформации, производимой дозированными усилиями (нагрузкой). Для оценки влияния твердозерности сырья на структуру печенья определяли прочностные характеристики изделий на структуромере СТ-2 (ООО «Лаборатория качества», Россия). Индентором служила пластина из нержавеющей стали.

С помощью амилографа Brabender (ООО «Брабендер», Россия), который позволяет определять гра-

диент вязкости жидкости при повышении температуры на каждый 1°C оценивали изменения вязкости водно-мучной суспензии при нагревании. Важными характеристиками амилограмм образцов являются показатели максимальной вязкости до начальной точки клейстеризации, длительность этого состояния смеси [11]. Амилолитическая активность муки определяется количеством ферментов, атакуемости ими крахмальных зерен, что в свою очередь зависит от их количества, степени разрушения [12]. Разрушенные зерна крахмала в большей степени подвержены атакуемости ферментами [13].

Результаты и их обсуждение

На формирование реологических свойств теста в наибольшей степени оказывают влияние время замеса теста, его температура и влажность, а также технологические качества используемой муки [14].

В ходе экспериментов оценивали влияние продолжительности замеса теста для сахарного печенья на необходимое для деформации напряжение сдвига (η) [15]. Длительное механическое воздействие на тесто в процессе замеса приводило к увеличению предельного напряжения сдвига для муки из всех диапазонов твердозерности пшеницы (табл. 1). Вязкость теста с увеличением времени замеса планомерно возрастала. Тенденция к снижению пластичных свойств теста при увеличении продолжительности замеса с 5 до 25 мин сильнее проявляется при использовании муки из менее твердозерной пшеницы. Напряжение сдвига (η) возросло на 68 % для мягкозерной пшеницы, для сверхтвердозерной – на 60 %.

С увеличением температуры теста его вязкость также возрастала (табл. 2). Тенденция к снижению пластичных свойств теста при повышении его температуры сильнее проявлялась для муки из менее твердозерной пшеницы. Напряжение сдвига возросло на 34 % для мягкозерной пшеницы, для сверхтвердозерной – на 19 %.

При повышении влажности теста его вязкость также возрастала. Напряжение сдвига и вязкость теста изменялись сразу после замеса теста в течение 10 мин при частоте вращения лопастей 15 об/мин, температура

Таблица 1. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от продолжительности замеса теста с влажностью 20 % из пшеницы различной твердозерности при 22°C и скорости вращения лопастей 15 об/мин (для сахарного печенья)

Table 1. Effect of kneading time on shear stress, 10^{-1} Pa, of sugar cookie dough with different grain hardness: 20% moisture content, 22°C , 15 rpm blade rotation

Продолжительность замеса теста, мин	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
5	261	308	332	354	359
10	282	329	352	374	392
15	325	367	398	435	482
20	567	598	672	724	729
25	825	852	876	892	902

Таблица 2. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от температуры теста с влажностью 20 % из пшеницы различной твердозерности при скорости вращения лопастей 15 об/мин в течение 10 мин (для сахарного печенья)

Table 2. Effect of temperature on shear stress, 10^{-1} Pa, of sugar cookie dough with different grain hardness during kneading: 10 min, 15 rpm blade rotation

Температура теста, °С	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокоотвердозерная	Сверхтвердозерная
18	281	328	350	372	395
19	312	348	395	410	435
20	342	398	418	432	462
21	378	422	443	465	478
22	402	450	469	473	488
23	427	472	478	489	492
24	468	496	503	523	547

Таблица 3. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от влажности теста из пшеницы различной твердозерности (для сахарного печенья)

Table 3. Effect of moisture content on shear stress, 10^{-1} Pa, of sugar cookie dough with different grain hardness

Влажность теста, %	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокоотвердозерная	Сверхтвердозерная
18	153	194	254	268	275
19	207	236	297	313	307
20	281	328	350	372	395
21	328	362	395	403	428
22	359	401	426	438	483

Таблица 4. Результаты регрессионного анализа зависимости качества теста от технологических параметров производства (для сахарного печенья)

Table 4. Effect of technological parameters on sugar cookie dough quality: regression analysis

Пшеница	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)	Коэффициент детерминации (r^2)
Мягкозерная	$Y = -0,2191 \cdot X_1^2 + 0,0166 \cdot X_2^2 - 0,9625 \cdot X_1 \cdot X_2 + 47,2054 \cdot X_1 + 27,2243 \cdot X_2 - 643,2503$	0,53	0,29
Ниже средней твердозерности	$Y = 0,2334 \cdot X_1^2 + 0,0362 \cdot X_2^2 - 1,265 \cdot X_1 \cdot X_2 + 38,3238 \cdot X_1 + 32,0545 \cdot X_2 - 606,8448$	0,63	0,40
Среднетвердозерная	$Y = 0,6129 \cdot X_1^2 + 0,0602 \cdot X_2^2 - 0,9624 \cdot X_1 \cdot X_2 + 18,9913 \cdot X_1 + 25,8932 \cdot X_2 - 371,2764$	0,45	0,20
Высокоотвердозерная	$Y = 0,7512 \cdot X_1^2 + 0,0435 \cdot X_2^2 - 0,9675 \cdot X_1 \cdot X_2 + 15,0189 \cdot X_1 + 27,2686 \cdot X_2 - 319,5303$	0,47	0,22
Сверхтвердозерная	$Y = 0,8802 \cdot X_1^2 + 0,0389 \cdot X_2^2 - 0,7925 \cdot X_1 \cdot X_2 + 7,4987 \cdot X_1 + 24,3723 \cdot X_2 - 197,1002$	0,46	0,21

Примечание: X_1 – влажность теста, %; X_2 – температура теста, °С; Y – вязкость теста, Па·с.

Note: X_1 – dough humidity, %; X_2 – dough temperature, °С; Y – dough viscosity, Pa·s.

теста достигала 22 °С (табл. 3). Поверхность отклика показателя вязкости теста – почти плоская, с возрастающими значениями при повышении влажности и температуры теста (табл. 4).

Определяли степень влияния интенсивности замеса теста для сахарного печенья на его вязкость и напряжение сдвига. Кривые напряжения сдвига теста отражали скорость развития упругих деформаций (эластичность) теста. Измерения проводили для теста

с влажностью 20 % при температуре 22 °С в течение 10 мин замеса при частоте вращения лопастей 15 об/мин. Наиболее рационально для описания связи напряжения (η) от скорости сдвига (γ) использовать степенные функции (рис. 1, 2). Опыты на ротационном вискозиметре позволили получить следующие результаты: для мягкозерной пшеницы $\eta = 127 \cdot \gamma^{0,376}$ ($R^2 = 0,982$), для пшеницы с твердозерностью ниже средней $\eta = 324 \cdot \gamma^{0,392}$ ($R^2 = 0,985$), для среднетвердозерной пшеницы

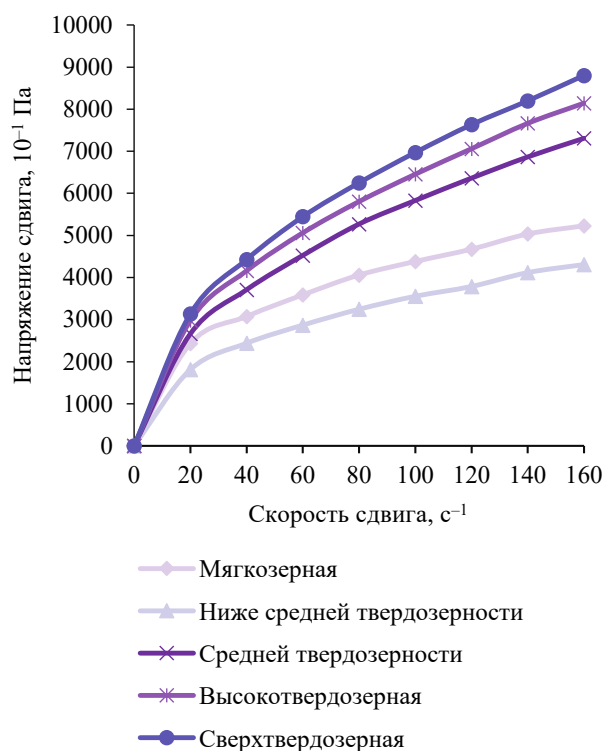


Рисунок 1. Зависимость напряжения сдвига от скорости деформации теста из пшеницы различной твердозерности (для сахарного печенья)

Figure 1. Effect of deformation rate on shear stress in sugar cookie dough with different wheat grain hardness

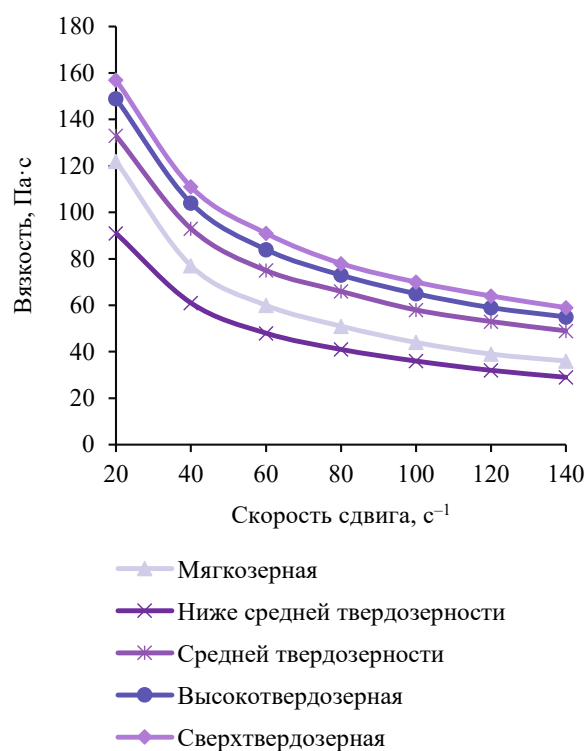


Рисунок 2. Зависимость вязкости от скорости деформации теста из пшеницы различной твердозерности (для сахарного печенья)

Figure 2. Effect of deformation rate on viscosity in sugar cookie dough with different wheat grain hardness

Таблица 5. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от продолжительности замеса теста с влажностью 22 % из пшеницы различной твердозерности при 35 °C и частоте вращения лопастей 150 об/мин (для затяжного печенья)

Table 5. Effect of kneading time on shear stress, 10^{-1} Pa, in hard cookie dough with different grain hardness: 22% moisture content, 35°C, 150 rpm blade rotation

Продолжительность замеса теста, мин	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
10	2342	3125	5124	5754	6345
20	2134	2987	4523	5232	5652
30	1987	2265	3985	4523	4825
40	1563	1864	3025	3250	3542
50	1245	1465	2678	2754	3254
60	1985	2154	5678	6785	7525
70	2845	3252	7585	8542	10254
80	3852	5247	10257	10985	12588

$\eta = 473 \cdot \gamma^{0,402}$ ($R^2 = 0,975$), для высокотвердозерной пшеницы $\eta = 682 \cdot \gamma^{0,412}$ ($R^2 = 0,984$), для сверхтвердозерной пшеницы $\eta = 725 \cdot \gamma^{0,437}$ ($R^2 = 0,992$).

В следующей серии опытов изучали реологические свойства теста для затяжного печенья, варьируя технологические параметры тестоприготовления. С повышением продолжительности замеса теста его вязкость сначала снижалась, что проявлялось в уменьшении напряжения сдвига, а затем возрастала (табл. 5). С увеличением длительности выдержки теста

после замеса наблюдалось возрастание его вязкости (табл. 6). Затем изменяли влажность теста от 25 до 35 % при 35 °C в течение 20 мин замеса и частоте вращения лопастей 150 об/мин. Вязкость затяжного теста снижалась с увеличением влажности (табл. 7). Также изучали зависимость вязкости и напряжения сдвига теста для затяжного печенья от частоты замеса в условиях варьирующихся температур (табл. 8).

С увеличением твердозерности возрастали прочностные свойства изделий, значительно увеличивалась

жесткость образцов, ухудшалось важное потребительское свойство продукции – хрупкость, оцененная с помощью структурометра СТ-2 (рис. 3, 4). Наибольшая плотность консистенции сахарного печенья зафик-

сирована у образцов из сверхтвердозерной пшеницы. Наилучшее качество структуры сахарного и затыжного печенья обеспечивала пшеница мягкозерная и с твердозерностью ниже средней.

Таблица 6. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от продолжительности выдержки теста с влажностью 25 % из пшеницы различной твердозерности после замеса при 35 °С, время замеса 20 мин при частоте вращения лопастей 150 об/мин (для затыжного печенья)

Table 6. Effect of exposure time on shear stress, 10^{-1} Pa, in hard cookie dough with different grain hardness: 20 min kneading time, 25% moisture content, 35°C, 150 rpm blade rotation

Продолжительность выдержки теста, мин	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
0	2810	3380	3600	3720	4120
10	3120	3480	3950	4100	4350
20	3420	3980	4180	4320	4620
30	3780	4220	4430	4650	4780
40	4020	4500	4690	4730	4880
50	4270	4720	4780	4890	4920

Таблица 7. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от влажности теста из пшеницы различной твердозерности при 35 °С и частоте вращения лопастей 150 об/мин (для затыжного печенья)

Table 7. Effect of moisture content on shear stress, 10^{-1} Pa, in hard cookie dough with different grain hardness: 35°C, 150 rpm blade rotation

Влажность теста, %	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
25	2452	3243	5272	5862	6282
26	2125	2254	2855	3122	4525
27	1520	1658	1902	2125	2985
28	1020	1125	1345	1520	2586
29	587	756	1257	1452	1785
30	452	647	1024	1245	1567
31	402	603	987	1187	1487
32	358	583	923	1102	1403
33	325	524	895	1038	1367
34	302	497	843	983	1286
35	295	456	802	952	1196

Таблица 8. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от скорости деформации теста с влажностью 22 % из пшеницы различной твердозерности при 35 °С (для затыжного печенья)

Table 8. Effect of deformation rate on shear stress, 10^{-1} Pa, in hard cookie dough with different grain hardness: 22% moisture content, 35°C

Скорость деформации (сдвига) γ, c^{-1}	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
0,1667	332	364	389	404	431
0,3	409	474	519	537	573
0,3333	429	491	539	568	604
0,6	541	624	723	761	813
1	655	772	926	980	1040
1,8	824	982	1225	1310	1396
3	1004	1218	1569	1698	1798
5,4	1340	1643	2142	2346	2489
9	1585	1975	2689	2952	3173
16,2	1964	2505	3606	3961	4275
27	2384	3093	4665	5108	5458
48,6	2993	3902	6143	6784	7304
81	3620	4846	7848	8787	9384

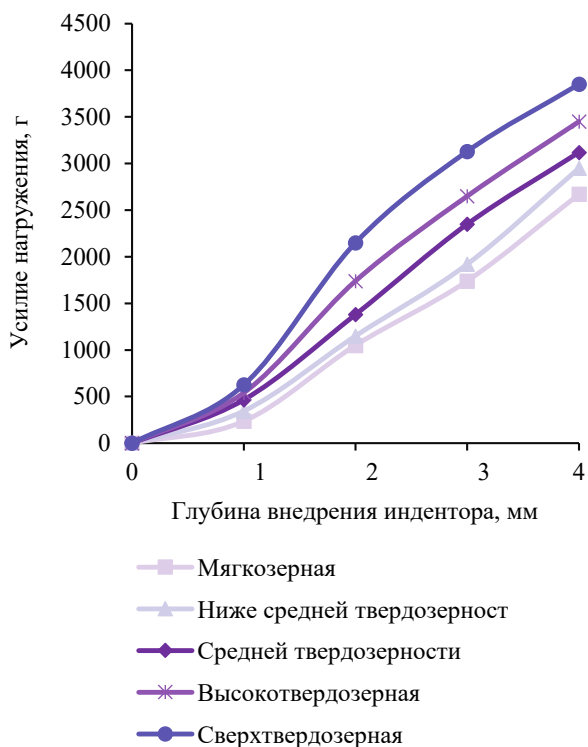


Рисунок 3. Зависимость глубины внедрения индентора от усилия нагружения в образцах сахарного печенья из пшеницы различной твердозерности

Figure 3. Effect of loading force on indenter penetration in sugar cookies with wheat grain hardness

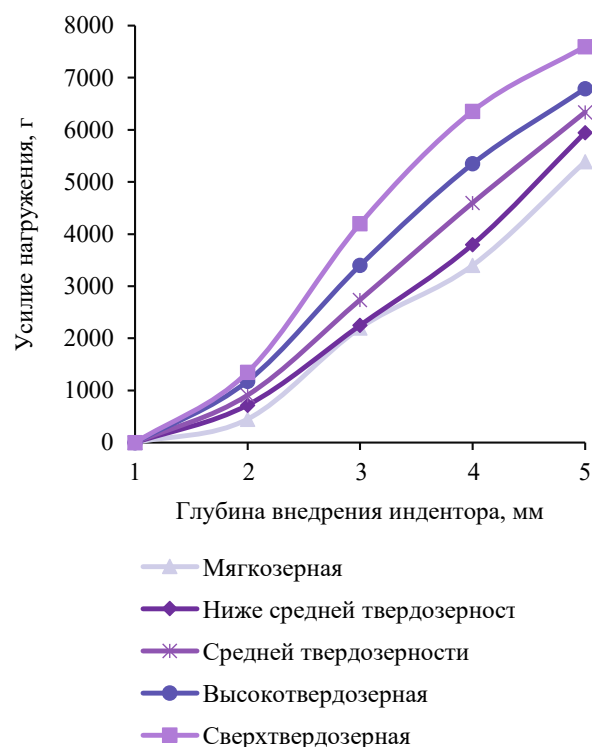


Рисунок 4. Зависимость глубины внедрения индентора от усилия нагружения в образцах затяжного печенья из пшеницы различной твердозерности

Figure 4. Effect of loading force on indenter penetration in hard-dough cookies with wheat grain hardness

Таблица 9. Амилографические характеристики муки из пшеницы различной твердозерности

Table 9. Amylographic profile of flour with different wheat grain hardness

Показатель	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
Температура клейстеризации начальная, °С	55,8 ± 0,5	59,6 ± 0,5	62,4 ± 0,5	65,7 ± 0,5	68,2 ± 0,5
Максимальная высота амилограмм, ЕА	238 ± 20	426 ± 20	536 ± 20	676 ± 20	849 ± 20
Температура пика вязкости, °С	68,3 ± 0,5	74,8 ± 0,5	77,6 ± 0,5	83,1 ± 0,5	87,9 ± 0,5

Исследования образцов муки проводили также с использованием амилографа. Кривые вязкости суспензий из муки более твердозерной пшеницы имеют большую крутизну снижения. Для муки из высоко- и сверхтвердозерных пшениц характерно ускоренное снижение кривых графиков амилограмм после прохождения верхней точки, что говорит о большей скорости разрушения водородных связей в молекулах амилозы и амилопектина в результате гидролиза. Результаты обработки кривых графиков амилограмм представлены в таблице 9.

Технологические свойства сахарного печенья формируются под воздействием различных факторов

(режимов) производства, в первую очередь важны влажность, продолжительность и температура замеса [16]. Готовить такое тесто предпочтительно, однако следует учитывать, что на выбор оптимальной влажности теста влияет водопоглотительная способность используемого мучного сырья [17]. Оптимальные значения параметров замеса для образцов каждой из пяти групп, обеспечивающих наилучшие значения намокаемости и консистенции изделий, находили по твердозерности пшеницы [18]. Выявленные оптимальные характеристики замеса обеспечивают получение теста из используемого сырья с лучшими из возможных технологических свойств. Влажность теста сахар-

ного печенья должна составлять от 16,5 до 18,5 %. Увеличение влажности ведет к формированию упругих свойств, эластичности, при этом пластичность теста снижается. Температуру замеса поддерживают на уровне от 17 до 25 °С. Использование более высоких температур позволяет сделать тесто упруго-вязкопластичным, что негативно сказывается на качестве сахарного печенья и позитивно – затяжного. Другой фактор, влияющий на реологические свойства теста, – продолжительность замеса [19]. Пластичные свойства теста обеспечиваются минимальным механическим воздействием на него. Сокращением времени взаимодействия муки с водой можно замедлить набухание клейковины, что в конечном итоге будет способствовать формированию пластичного сахарного теста [20].

По традиционной технологии приготовления время замеса теста для сахарного печенья составляет от 3 до 10 мин. В экспериментах влажность теста находилась в пределах 13,5–18,5 %, устанавливали постоянную скорость перемешивания 50 об/мин. Из всех параметров производства печенья наибольшее удобство для технолога представляет варьирование температуры и продолжительности замеса теста. В процессе тестоприготовления возможна гибкая корректировка технологических свойств полуфабрикатов, а значит и качества готовой продукции. За факторы, влияющие на качество тестовых масс, принимали влажность теста X_1 , %, и время замеса X_2 , с (табл. 10). Факторы не коррелируют между собой, а значит совместимы. Критериями оценки влияния условий тестоприготовления послужили намокаемость готовых изделий Y_1 , % и их консистенция Y_2 , ед. прибора.

Показатель намокаемости готовых изделий Y_1 варьировался в диапазоне 140–230 %, консистенция изделий Y_2 – 12–28 ед. прибора.

Использование позиционного ротатбельного планирования позволило произвести оптимизацию экс-

периментов за счет расположенных в матрице плана опытов в особом порядке «звездных» точек [21]. На основе выбранных факторов и показателей качества для образцов из мягкозерной пшеницы составлена матрица планирования эксперимента (табл. 11). Такие же матрицы составлены для других образцов пшеницы различной твердозерности. По результатам статистической обработки данных экспериментов составлены соответствующие регрессионные уравнения формирования качества изделий под воздействием изучаемых факторов (табл. 12). Значимость коэффициентов регрессии и адекватность уравнений подтверждены статистическими критериями Стьюдента, Фишера.

В результате решения задачи оптимизации на основе построенных уравнений регрессии установили рекомендуемые параметры влажности теста и продолжительности его замеса индивидуальные для каждого вида зерна:

– для муки из сверхтвердозерной пшеницы: влажность теста – $13,5 \pm 0,5$ %, продолжительность замеса – 178 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 155 ± 1 % и консистенцией изделий $17,4 \pm 0,3$ ед. прибора;

Таблица 10. Пределы варьирования факторов для сахарного печенья

Table 10. Factor variation limits in sugar cookies

Уровни планирования	X_1 , %	X_2 , с
Основной уровень (0)	16	390
Нижний уровень (-1)	13,5	180
Верхний уровень (+1)	18,5	600
Интервал варьирования	2,5	210
Нижняя звездная точка (-1,41)	12,475	93,9
Верхняя звездная точка (+1,41)	19,525	686,1

Таблица 11. Матрица планирования серии экспериментов для образцов теста из мягкозерной пшеницы

Table 11. Experimental matrix for soft wheat dough samples

Опыты	№	X_1	X_2	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2	X_1 , %	X_2 , с	Y_1 , %	Y_2 , ед. прибора	Y_1 , %	Y_2 , ед. прибора
ПФЭ	1	-1	-1	+1	1	1	13,5	180	191	24	188	23
	2	+1	-1	-1	1	1	18,5	180	201	26	198	26
	3	-1	+1	-1	1	1	13,5	600	193	19	191	18
	4	+1	+1	+1	1	1	18,5	600	225	24	223	23
В «звездных» точках	5	-1,41	0	0	2	0	12,475	390	162	16	159	15
	6	+1,41	0	0	2	0	19,525	390	175	21	174	21
	7	0	-1,41	0	0	2	16	93,9	154	21	153	21
	8	0	+1,41	0	0	2	16	686,1	159	19	156	19
В центре плана	9	0	0	0	0	0	16	390	198	23	197	23
	10	0	0	0	0	0	16	390	191	24	190	24
	11	0	0	0	0	0	16	390	190	22	189	21
	12	0	0	0	0	0	16	390	189	21	186	21
	13	0	0	0	0	0	16	390	187	22	186	21

Таблица 12. Результаты регрессионного анализа зависимости качества сахарного печенья от влажности теста и продолжительности замеса

Table 12. Effect of dough moisture and kneading time on sugar cookie quality: regression analysis

Пшеница	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)	Коэффициент детерминации (r^2)	Критерий Фишера (F)	
				теоретический	фактический
Мягкозерная	$Y_1 = 0,7176 \cdot X_1^2 - 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0105 \cdot X_1 \cdot X_2 + 21,9041 \cdot X_1 + 0,0382 \cdot X_2 - 13,2119$	0,523	0,274	2,67	29,5
Ниже средней твердозерности	$Y_1 = -0,7887 \cdot X_1^2 - 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0104 \cdot X_1 \cdot X_2 + 24,0075 \cdot X_1 + 0,0428 \cdot X_2 - 31,7919$	0,653	0,426	3,06	17,9
Среднетвердозерная	$Y_1 = -0,3708 \cdot X_1^2 - 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0133 \cdot X_1 \cdot X_2 + 9,4906 \cdot X_1 - 0,037 \cdot X_2 + 97,5371$	0,425	0,181	2,67	7,0
Высокотвердозерная	$Y_1 = -0,3824 \cdot X_1^2 - 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0105 \cdot X_1 \cdot X_2 + 10,7449 \cdot X_1 - 0,014 \cdot X_2 + 65,0426$	0,427	0,182	2,67	6,4
Сверхтвердозерная	$Y_1 = -0,2662 \cdot X_1^2 - 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0114 \cdot X_1 \cdot X_2 + 6,685 \cdot X_1 - 0,0109 \cdot X_2 + 80,3022$	0,436	0,19	2,67	12,4
Мягкозерная	$Y_2 = -0,1965 \cdot X_1^2 - 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0014 \cdot X_1 \cdot X_2 + 6,4341 \cdot X_1 - 0,0203 \cdot X_2 - 29,0461$	0,463	0,214	2,67	29,5
Ниже средней твердозерности	$Y_2 = -0,1769 \cdot X_1^2 - 0,00002 \cdot X_2^2 + 0,0015 \cdot X_1 \cdot X_2 + 5,7387 \cdot X_1 - 0,0217 \cdot X_2 - 23,8193$	0,521	0,271	3,06	17,9
Среднетвердозерная	$Y_2 = -0,1431 \cdot X_1^2 + 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0012 \cdot X_1 \cdot X_2 + 4,7623 \cdot X_1 - 0,0245 \cdot X_2 - 14,5399$	0,579	0,335	2,67	7,0
Высокотвердозерная	$Y_2 = -0,0989 \cdot X_1^2 + 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0005 \cdot X_1 \cdot X_2 + 3,5534 \cdot X_1 - 0,0256 \cdot X_2 - 8,7319$	0,436	0,19	2,67	6,4
Сверхтвердозерная	$Y_2 = -0,0024 \cdot X_1^2 + 0,0002 \cdot X_2^2 - 0,0005 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,7357 \cdot X_1 - 0,0033 \cdot X_2 + 6,0518$	0,438	0,192	2,67	12,4

Примечание: X_1 – влажность теста, %; X_2 – продолжительность замеса, с; Y_1 – намокаемость готовых изделий, %; Y_2 – консистенция изделий, ед. прибора.

Note: X_1 – dough moisture, %; X_2 – kneading time, s; Y_1 – moisture content in the finished product, %; Y_2 – consistency, unit.

- для муки из высокотвердозерной пшеницы: влажность теста – $15,2 \pm 0,5$ %, продолжительность замеса – 192 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 175 ± 1 % и консистенцией изделий $19,2 \pm 0,3$ ед. прибора;
- для муки из среднетвердозерной пшеницы: влажность теста – $16,2 \pm 0,5$ % и продолжительность замеса – 267 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью – 192 ± 1 % и консистенцией изделий – $24,3 \pm 0,3$ ед. прибора;
- для муки из пшеницы с твердозерностью ниже средней: влажность теста – $16,4 \pm 0,5$ % и продолжительность замеса – 354 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 205 ± 1 % и консистенцией изделий – $29,5 \pm 0,3$ ед. прибора;
- для муки из мягкозерной пшеницы: влажность теста – $17,0 \pm 0,5$ %, продолжительность замеса – 476 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 223 ± 1 % и консистенцией изделий – $38,2 \pm 0,3$ ед. прибора.

В другой серии экспериментов факторами, влияющими на качество тестовых масс, выбраны температура замеса X_1 , °С, и продолжительность замеса X_2 , с. Соответствующие регрессионные уравнения формирования качества изделий приведены в таблице 13.

- В результате решения задачи оптимизации на основе построенных уравнений регрессии установили рекомендуемые параметры температуры и продолжительности замеса индивидуальные для каждого вида зерна:
- для муки из сверхтвердозерной пшеницы: температура замеса – $16,5 \pm 0,5$ °С, продолжительность замеса – 183 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 158 ± 1 % и консистенцией изделий $16,4 \pm 0,3$ ед. прибора;
 - для муки из высокотвердой пшеницы: температура замеса – $17,5 \pm 0,5$ °С и продолжительность замеса – 242 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 172 ± 1 % и консистенцией изделий $18,7 \pm 0,3$ ед. прибора;

Таблица 13. Результаты регрессионного анализа зависимости качества сахарного печенья от температуры и продолжительности замеса теста

Table 13. Effect of temperature and kneading time on sugar cookie quality: regression analysis

Пшеница	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)	Коэффициент детерминации (r ²)	Критерий Фишера (F)	
				теоретический	фактический
Мягкозерная	$Y_1 = 0,0472 \cdot X_1^2 - 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0023 \cdot X_1 \cdot X_2 - 4,7412 \cdot X_1 - 0,077 \cdot X_2 + 287,2018$	0,523	0,274	2,67	9,5
Ниже средней твердозерности	$Y_1 = 0,1257 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0012 \cdot X_1 \cdot X_2 - 7,4929 \cdot X_1 - 0,0608 \cdot X_2 + 305,1304$	0,653	0,426	3,06	17,9
Среднетвердозерная	$Y_1 = -0,0629 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0002 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,1420 \cdot X_1 - 0,055 \cdot X_2 + 196,9401$	0,425	0,181	2,67	7,0
Высокотвердозерная	$Y_1 = 0,1572 \cdot X_1^2 + 0,0001 \cdot X_2^2 - 0,0003 \cdot X_1 \cdot X_2 - 7,2557 \cdot X_1 - 0,0775 \cdot X_2 + 265,7754$	0,427	0,182	2,67	6,4
Сверхтвердозерная	$Y_1 = -0,4087 \cdot X_1^2 - 0,0001 \cdot X_2^2 + 0,0123 \cdot X_1 \cdot X_2 + 11,9878 \cdot X_1 - 0,1715 \cdot X_2 + 64,6783$	0,436	0,19	2,67	12,4
Мягкозерная	$Y_2 = -0,4688 \cdot X_1^2 - 0,0433 \cdot X_2^2 + 0,0012 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,4688 \cdot X_1 - 0,0433 \cdot X_2 + 30,3538$	0,463	0,214	2,67	9,5
Ниже средней твердозерности	$Y_2 = 0,0157 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0012 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,4768 \cdot X_1 - 0,0462 \cdot X_2 + 29,7964$	0,521	0,271	3,06	17,9
Среднетвердозерная	$Y_2 = 0,0472 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 - 0,0002 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,3301 \cdot X_1 - 0,0299 \cdot X_2 + 32,5866$	0,579	0,335	2,67	7,0
Высокотвердозерная	$Y_2 = -0,0472 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0015 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,8710 \cdot X_1 - 0,0409 \cdot X_2 + 3,2368$	0,436	0,19	2,67	6,4
Сверхтвердозерная	$Y_2 = 0,0786 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0006 \cdot X_1 \cdot X_2 - 3,1686 \cdot X_1 - 0,0350 \cdot X_2 + 51,2997$	0,438	0,192	2,67	12,4

Примечание: X_1 – температура замеса, °C; X_2 – продолжительность замеса, с; Y_1 – намокаемость готовых изделий, %; Y_2 – консистенция изделий, ед. прибора.

Note: X_1 – kneading temperature, °C; X_2 – kneading time, s; Y_1 – moisture content in the finished product, %; Y_2 – consistency, unit.

– для муки из среднетвердозерной пшеницы: температура замеса – $18,5 \pm 0,5$ °C и продолжительность замеса – 326 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 180 ± 1 % и консистенцией изделий $22,3 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из пшеницы с твердозерностью ниже средней: температура замеса – $20,5 \pm 0,5$ °C, продолжительность замеса – 397 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 204 ± 1 % и консистенцией изделий $30,4 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из мягкозерной пшеницы: температура замеса – $21,0 \pm 0,5$ °C и продолжительность замеса – 457 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 227 ± 1 % и консистенцией изделий $36,5 \pm 0,3$ ед. прибора.

За счет совместного влияния дозировок основных компонентов печенья изучали возможности управления качеством готовых изделий. За основу было взято печенье сахарное «Юбилейное», в рецептуре которого варьировали содержание сахара и жира. Из-

меняемыми факторами считали дозировку сахара – X_1 , и дозировку жира – X_2 . При снижении в рецептуре количества сахара компенсировали потерю сладости готовых изделий за счет соответствующего сахарозаменителя эритрита в соотношении 1:0,75 или сукралозы 1:600 [22]. По результатам экспериментов сформированы регрессионные уравнения изменения качества изделий (табл. 14).

В результате решения задачи оптимизации на основе построенных уравнений регрессии установили рекомендуемые дозировки сахара и жира индивидуальные для каждого вида зерна:

– для муки из сверхтвердозерной пшеницы: сахар – $19,2 \pm 0,3$ %, жир – $24,2 \pm 0,3$ %, чтобы получить печенье с намокаемостью 164 ± 1 % и консистенцией изделий $18,5 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из высокотвердозерной пшеницы: сахар – $11,7 \pm 0,3$ %, жир – $20,6 \pm 0,3$ %, чтобы получить печенье с намокаемостью 189 ± 1 % и консистенцией изделий $20,5 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из среднетвердозерной пшеницы: сахар – $8,5 \pm 0,3$ %, жир – $17,5 \pm 0,3$ %, чтобы получить печенье с намокаемостью 192 ± 1 % и консистенцией изделий $26,7 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из пшеницы с твердозерностью ниже средней: сахар – $7,6 \pm 0,3$ %, жир – $10,6 \pm 0,3$ %, чтобы получить печенье с намокаемостью 213 ± 1 % и консистенцией изделий $31,2 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из мягкозерной пшеницы: сахар – $5,2 \pm 0,3$ % и жир – $7,4 \pm 0,3$ %, чтобы получить печенье с намокаемостью 235 ± 1 % и консистенцией изделий $37,4 \pm 0,3$ ед. прибора.

Использование муки из пшеницы с высокими значениями твердозерности потребует увеличения количества воды, сахара и жира. Повышение содержания жира экономически нецелесообразно, поэтому при выборе оптимальной рецептуры изделий предпочтительнее варьировать содержание в тесте воды и сахара [23]. Необходимое количество влаги для замеса устанавливают экспериментально с учетом водопоглотительной способности мучного сырья. Использование пшеницы с низкими значениями твердозерности позволит уменьшить содержание сахара в рецептуре изделий, сделать их менее сахароемкими (разница может составлять до 30 % от общей массы изделия). Значения намокаемости сахарного и затяжного печенья из пшеницы ниже средней твердозерности максимальны, у печенья из сверхтвердозерной пшеницы – минимальны (различия составляют около 60 %).

Выводы

Результаты экспериментов показали, насколько технологические свойства теста для сахарного и затяжного печенья и готовой продукции чувствительны к изменению параметров производства.

Твердозерность пшеницы, послужившей сырьем для производства муки, оказывала существенное влияние на реологические свойства теста. Уменьшение предельного напряжения сдвига для теста из муки мягкозерных пшениц вызвано увеличением количества воды в тесте и утолщением прослоек жидкости в коллоидной системе. Уменьшение вязкости теста по мере снижения твердозерности используемой пшеницы говорит о разжижении коллоидной системы теста, что объясняется ослаблением прочности белковых структур при увеличении водопоглотительной способности сырья. Увеличение продолжительности замеса теста приводит к получению полуфабриката с более упруго-вязкими свойствами. Экспериментально доказано, что зависимость напряжения сдвига (η) тестовых масс сахарного печенья от скорости их деформации наиболее точно описывается степенными функциями.

Повышение температуры теста для сахарного печенья сопровождается снижением его эластичности, повышением вязкости. Например, для теста с влажностью 18 % при температуре 18 °С и скорости сдвига

15 с⁻¹ вязкость равна 165 Па·с, а при температуре 26 °С – 285 Па·с. Рост температуры приводит к повышению скорости формирования структуры теста, снижению его пластичности, ускорению набухания коллоидов. Увеличение влажности теста также приводит к повышению его степени вязкости, поскольку большее количество влаги при замесе ускоряет формирование коллоидных систем. Например, при температуре 18 °С, скорости сдвига 15 с⁻¹ и влажности теста 16 % его вязкость составляет 195 Па·с, а при влажности 20 % вязкость почти в 1,5 раза выше и составляет 295 Па·с.

Результаты измерения прочностных свойств готовых изделий показали, что использование муки из сверхтвердозерной пшеницы, в сравнении с мягкозерной, увеличивает жесткость сахарного печенья в среднем на 55–60 %, затяжного – 45–50 %.

Мука из более твердозерной пшеницы характеризуется большими значениями температур пика вязкости водно-мучной суспензии и начала ее клейстеризации, а также большей максимальной высотой амилограмм. Максимальная высота амилограммы для мягкозерной пшеницы составляет около 237 ед. амилографа, для сверхтвердозерной пшеницы – около 852 ед. амилографа.

Повышение влажности сахарного и затяжного печенья с ростом твердозерности пшеницы объясняется повышенной водосвязывающей способностью муки из такого зерна. Учет степени твердозерности пшеницы, из которой произведена мука, позволяет формировать новые рецептуры сахарного печенья, варьируя дозировки сахара и жира, для производства изделий с наилучшими потребительскими свойствами (критериями качества служили намокаемость готовых изделий и их консистенция).

Критерии авторства

П. В. Медведев – руководство проектом, редактирование и окончательное одобрение рукописи, В. А. Федотов – сбор и обработка материала, И. А. Бочкарева – вклад в концепцию и дизайн исследования, редактирование рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

P.V. Medvedev supervised the project and proofread the final version of the manuscript, V.A. Fedotov collected and processed the material, I.A. Bockkareva contributed to the concept and design, as well as proofread the manuscript.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Shabunina MV, Andreeva A, Pavlova AS. Use of animal origin protein concentrates in bread baking. *Foods and Raw Materials*. 2023;11(2):338–346. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-570>
2. Glyn BS, Davidson I. *Biscuit, cookie and cracker process and recipes*. Academic Press; 2020. 248 p.
3. Ibrahim GE, Bahgaat WK, Hussein AMS. Egyptian kishk as a fortificant: Impact on the quality of biscuit. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(1):164–173. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-164-173>
4. Hussein AMS, Abd El-Aal HA, Morsy NM, Hassona MM. Chemical, rheological, and sensory properties of wheat biscuits fortified with local buckwheat. *Foods and Raw Materials*. 2024;12(1):156–167. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-1-597>
5. Dubkova N, Kharkov V, Ziganshin B. Effect of mode amplitude on power consumption in vibrating mixer. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021;2:362–369. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54817-9_42
6. Kandrovok RKh. Effects of triticale flour on the quality of honey cookies. *Foods and Raw Materials*. 2023;11(2):215–222. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-568>
7. Marjanović-Balaban Ž, Gojković Cvjetković V, Grujić R. Gliadin proteins from wheat flour: The optimal determination conditions by ELISA. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(2):364–370. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-364-370>
8. Akbar QA, Arif S, Yousaf S, Khurshid S, Sahar N. Effects of flour particle size on farinographic properties of wheat dough. *Sarhad Journal of Agriculture*. 2020;36(4):1136–1140. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2020/36.4.1136.1140>
9. Maslov AV, Biktagirova AI, Agzamova LI, Mingaleeva ZSh. Method application of generalized reduced gradient and fractional factor experiment in the composition optimization of the complex food additive for bread of increased nutritional value. *Food Industry*. 2021;6(3):5–14. (In Russ.) <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-1>
10. Liu N, Ma S, Li L, Wang X. Study on the effect of wheat bran dietary fiber on the rheological properties of dough. *Grain and Oil Science and Technology*. 2019;2(1):1–5. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2019.04.005>
11. Bar T, Zheng Y. Choosing certifiers: Evidence from the British retail consortium food safety standard. *American Journal of Agricultural Economics*. 2019;101(1):74–88. <https://doi.org/10.1093/ajae/aay024>
12. Abedi E, Pourmohammadi K. The effect of redox agents on conformation and structure characterization of gluten protein: An extensive review. *Food Science and Nutrition*. 2020;8(12):6301–6319. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1937>
13. Merker AA, Reva EN, Serdyuk VA. The influence of gluten-free flour on bakery dough quality. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(2):313–323. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.313-323>
14. Zhou J, Liu J, Tang X. Effects of whey and soy protein addition on bread rheological property of wheat flour. *Journal of Texture Studies*. 2018;49(1):38–46. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12275>
15. Simons CW, Hunt-Schmidt E, Simsek S, Hall C, Biswas A. Texturized pinto bean protein fortification in straight dough bread formulation. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2014;69:235–240. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0421-1>
16. Pang J, Guan E, Yang Y, Li M, Bian K. Effects of wheat flour particle size on flour physicochemical properties and steamed bread quality. *Food Science and Nutrition*. 2021;9(9):4691–4700. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2008>
17. Kotsiou K, Sacharidis D-D, Matsakidou A, Biliaderis CG, Lazaridou A. Impact of roasted yellow split pea flour on dough rheology and quality of fortified wheat breads. *Foods*. 2021;10(8):1832. <https://doi.org/10.3390/foods10081832>
18. Goikovich Tsvetkovich VS, Škuletić DM, Marjanović-Balaban ŽR, Vujadinović DP, Rajić DZ, *et al*. The effect on gliadin proteins of partial replacement of wheat flour in cupcakes with quinoa flour. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(1):82–92. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2490>
19. Lisina NL. Environmental regulations in Russian food security. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(1):193–201. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-193-201>
20. Ladnova OL, Koryachkina SYa, Koryachkin VP, Bolshakova LS. New technology of functional bakery products. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(3):576–590. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2458>
21. Shen Y, Hong S, Li Y. Pea protein composition, functionality, modification, and food applications: A review. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2022;101:71–127. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.02.002>
22. Koneva SI, Zakharova AS, Meleshkina LE, Egorova EYu, Mashkova IA. Technological properties of dough from a mix of rye and wheat flour with processed sea buckthorn. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(2):247–258. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2431>
23. Titorenko EYu, Trofimova NB, Ermolaeva EO, Trofimov IE, Breskin LI, *et al*. Developing new software for functional food production. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(4):905–914. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-905-914>