

УДК 664.642.2

Поступила в редакцию 28.01.2025
Received 28.01.2025**Т. Д. Самуйленко, А. В. Акулич***Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий», г. Могилев, Республика Беларусь***ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА МУЧНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ЗАВАРНОГО ХЛЕБА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА**

Аннотация. Расширение ассортимента заварного хлеба связано с улучшением его пищевой ценности и потребительских свойств за счет комбинирования традиционных и нетрадиционных сырьевых компонентов. При производстве нового ассортимента определяющими являются реологические свойства теста, которые обусловлены составом сырьевых компонентов. Выявлено, что в традиционных и ускоренных технологиях заварного хлеба в качестве основного мучного сырья используется мука ржаная сеяная и солод ржаной ферментированный. Установлено, что мука ржаная сеяная входит в 73,1% рецептур. Мука пшеничная первого сорта используется в 67,3% проанализированных наименований заварного хлеба. Выявлено, что увеличение количества муки ржаной и солода ржаного ферментированного преимущественно приводит к росту водопоглотительной способности, уменьшению продолжительности замеса теста, но при этом снижается его стабильность и эластичность. Установлено, что для производства заварного хлеба с рациональной степенью увлажнения и продолжительностью образования стабильного теста, его вязкостью, низкой амилолитической активностью и ретроградацией крахмала целесообразно использовать муку ржаную сеяную в количестве от 40,0% до 60,0% и солод ржаной ферментированный — от 3,0% до 6,0% от массы муки по унифицированной рецептуре.

Ключевые слова: заварной хлеб, тесто, реологические свойства, мука ржаная, мука пшеничная, солод ржаной, сырьевые компоненты.

T. D. Samuylenko, A. V. Akulich*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus***INFLUENCE OF COMPONENT COMPOSITION OF FLOUR RAW MATERIALS FOR CUSTARD BREAD ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DOUGH**

Abstract. The expansion of the range of custard bread is associated with the improvement of its nutritional value and consumer properties due to the combination of traditional and non-traditional raw materials. The rheological properties of the dough, which are determined by the composition of the raw materials, are decisive in the production of the new range. It was found that in traditional and accelerated technologies of custard bread, sifted rye flour and fermented rye malt are used as the main raw materials. It was found that sifted rye flour is included in 73,1% of the recipes. First-grade wheat flour is used in 67,3% of the analyzed types of custard bread. It was found that an increase in the amount of rye flour and fermented rye malt mainly leads to an increase in water absorption capacity, a decrease in the duration of kneading the dough, but at the same time its stability and elasticity decreases. It has been established that for the production of custard bread with a rational degree of moistening and duration of formation of stable dough, its viscosity, low amylolytic activity and starch retrogradation, it is advisable to use sifted rye flour in an amount of 40,0% to 60,0% and fermented rye malt — from 3,0% to 6,0% of the flour weight according to a standardized recipe.

Keywords: custard bread, dough, rheological properties, rye flour, wheat flour, rye malt, raw materials.

Введение. Ассортимент хлеба в Республике Беларусь с внесением ржаной муки насчитывает не один десяток наименований. Его популярность как в нашей стране, так и за рубежом, определяется специфическим вкусом и ароматом, содержанием основных пищевых веществ,

доступной ценовой категорией [1–10]. Основу составляют традиционные наименования, но ежегодно разрабатывается новый ассортимент. Его расширение входит в стратегию развития всех крупных и мелких предприятий хлебопекарной отрасли. Эта тенденция преимущественно обусловлена созданием, с одной стороны, хлеба с улучшенной пищевой ценностью, с другой стороны, с улучшенными потребительскими свойствами за счет использования и комбинирования традиционных основных, дополнительных и нетрадиционных сырьевых компонентов [11–17].

В то же время, не остается в стороне и тот факт, что основным направлением при разработке новых технологий и ассортимента является возможность управления качеством на основе научно обоснованных методов и способов. Управление качеством хлеба — это системный и многоплановый процесс, включающий как сохранение традиций рассматриваемого региона, так и движение в сторону мировых тенденций в области хлебопечения. Новые направления совершенствования хлебопекарной отрасли должны базироваться на особенностях биохимических, коллоидных, микробиологических процессов приготовления хлеба и положительно отражаться на его показателях качества, вкусовых и ароматических характеристиках [18–19].

Важнейшими направлениями при производстве хлеба в настоящее время являются [20]: управление технологическими процессами; конструирование рецептурных составов хлеба; экологичность технологического процесса. Они осуществляются путем исследований показателей качества и свойств сырьевых компонентов, полуфабрикатов, готового хлеба и управления ими на основе принципов моделирования и оптимизации с учетом существующих производственных условий.

Полноценная реализация технологических процессов приготовления заварного хлеба определяется, в частности, реологическими свойствами теста, которые проявляются при замесе, брожении, расстойки и выпечки и обусловлены составом сырьевых компонентов. Их комбинация существенно влияет на консистенцию теста, его стабильность, а в последствие и на потребительские свойства хлеба [21]. В то же время реологические свойства теста для заварного хлеба имеют особенности. Такое тесто представляет собой густую жидкость, которая состоит из твердой, жидкой, и газообразной фаз. Соотношение этих фаз влияет на вязкость теста и его формоудерживающую способность [22–24]. Содержание муки ржаной, соотношение ее с мукой пшеничной, наличие солода ржаного сухого (ферментированного и/или неферментированного) в рецептурном составе могут варьировать реологические свойства теста, что влияет на процессы его разделки и выпечки заварного хлеба, а также возможность использования дополнительных и/или нетрадиционных сырьевых компонентов.

Поэтому актуальным является исследование реологических свойств теста с использованием ржаной муки для заварного хлеба. Такие исследования позволяют установить технологические параметры приготовления ассортимента, выявить базовые соотношения применяемого мучного сырья, которые могут использоваться для разработки рецептурных составов с внесением широкого спектра сырьевых компонентов.

Цель исследования — установить влияние компонентного состава мучного сырья для заварного хлеба на основные реологические свойства теста.

Задачи исследования: провести анализ компонентного состава мучного сырья для традиционных и наиболее распространенных наименований заварного хлеба, производимого хлебопекарными предприятиями Республики Беларусь; исследовать влияние соотношений мучного сырья для заварного хлеба на реологические свойства теста.

Материалы и методы исследований. В качестве материалов исследований выбраны: мука ржаная, мука пшеничная, солод ржаной сухой в различных соотношениях. Реологические показатели теста с использованием ржаной муки для заварного хлеба проведены с использованием анализатора Миксолаб СНОРІН. Он предназначен для контроля динамики реологического поведения теста в процессе замеса по характеру изменения крутящего момента и определения водопоглотительной способности мучного сырья, времени образования теста, его стабильности, степени разжижения, консистенции в процессе нагрева [25–28].

Для установления влияния основных мучных компонентов на реологические свойства теста, проявляемые в ходе технологического процесса получения заварного хлеба, использована универсальная статистическая графическая система Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company [29–31].

Исследования проведены в рамках задания ГПНИ по теме «Исследование и моделирование реологических свойств ржаного теста для заварного хлеба» (номер государственной регистрации 20240560).

Результаты исследований и их обсуждение. В табл. 1 представлены соотношения основных сырьевых компонентов в рецептурах заварного хлеба различного ассортимента с использованием ржаной муки.

Таблица 1. Соотношения основных сырьевых компонентов в рецептурах заварного хлеба различного ассортимента с использованием ржаной муки

Table 1. The ratios of the main raw materials in the formulations of custard bread of various ranges using rye flour

Ассортимент заварного хлеба	Основные сырьевые компоненты, кг на 100 кг муки по унифицированной рецептуре											
	мука ржаная			мука пшеничная			обойная			солод ржаной		
	сеяная	обдирная	обойная	высший сорт	первый сорт	второй сорт	обойная	неферментированный	ферментированный	обойная	неферментированный	ферментированный
Хлеб «Траецкі» витаминизированный	90,0	–	–	–	4,0	–	–	–	–	–	6,0	–
Хлеб «Траецкі» новый	90,0	–	–	–	5,0	–	–	–	–	–	5,0	–
Хлеб пеклеванный «Виру»	65,0	10,0	–	–	20,0	–	–	–	–	–	5,0	–
Хлеб рижский	85,0	–	–	–	10,0	–	–	–	–	–	5,0	–
Хлеб нарочанский	73,0	–	–	–	15,0	–	–	–	–	–	7,0	–
Хлеб «Наша спадчына»	51,0	–	–	–	46,0	–	–	–	–	–	3,0	–
Хлеб «Берестейский новый»	70,0	–	–	–	26,0	–	–	–	–	–	4,0	–
Хлеб «Берестейский обычный»	74,0	–	–	–	20,0	–	–	–	–	–	6,0	–
Хлеб сяброўскі	70,0	–	–	–	26,0	–	–	–	–	–	4,0	–
Хлеб сапраўдны	66,0	–	–	–	30,0	–	–	–	–	–	4,0	–
Хлеб «Бородинский»	–	–	80,0	–	–	15,0	–	–	–	–	–	5,0
Хлеб «Ржаной московский»	–	–	93,0	–	–	–	–	–	–	–	–	7,0
Хлеб с морской капустой	–	50,0	–	–	47,0	–	–	–	–	–	–	3,0
Хлеб «Деликатесный»	85,0	–	–	10,0	–	–	–	–	–	–	5,0	–
Хлеб заварной пеклеванный	72,0	–	–	–	–	25,0	–	–	–	–	3,0	–
Хлеб «Карельский»	10,0	–	–	–	85,0	–	–	–	–	–	–	5,0
Мини-багет пшенично-ржаной «Карельский»	–	20,0	–	–	70,0	–	–	–	–	–	–	10,0
Хлеб «Алфельброт»	–	20,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,0
Хлеб «Заварной»	–	–	95,0	–	–	–	–	–	–	–	–	5,0
Хлеб эстонский заварной	–	100,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Хлеб пшенично-ржаной «Русские традиции» и «Гарлик»	–	20,0	–	–	75,0	–	–	–	–	–	–	5,0
Хлеб пшенично-ржаной «Мультизлак»	–	17,0	–	–	80,5	–	–	–	–	–	–	2,5
Хлеб «Заварной»	–	35,0	–	–	40,0	–	–	–	–	–	–	–
Хлеб ржано-пшеничный заварной	–	–	40,0	–	–	–	–	–	–	55,0	–	5,0
Хлеб «Квасной оригинальный»	–	35,0	–	–	40,0	–	–	–	–	–	–	–
Хлеб «Любительский»	–	80,0	–	–	–	–	–	–	–	15,0	–	5,0
Хлеб «Приморский»	71,0	–	–	–	25,0	–	–	–	–	–	4,0	–

Из анализа данных, представленных в табл. 1, следует, что в составе заварного хлеба используется преимущественно мука ржаная сеяная, мука ржаная обдирная, мука пшеничная первого и второго сорта, солод ржаной ферментированный и неферментированный. Мука ржаная сеяная вносится в количестве от 10,0% до 90,0%, а мука ржаная обдирная от 10,0% до 100,0% от массы муки по унифицированной рецептуре и входит соответственно в 73,1% и 30,8% анализируемых рецептур заварного хлеба. Стоит отметить, что совместное использование муки ржаной сеяной и обдирной в рецептурном составе хлеба является достаточно распространенной производственной практикой. Мука ржаная обойная применяется в количестве от 40,0% до 95,0% от массы муки по унифицированной рецептуре и входит в 3,9% анализируемых рецептур. Мука пшеничная при производстве заварного хлеба вносится только определенного сорта. Мука пшеничная высшего сорта в рецептурном составе используется в количестве от 10,0% до 80,5% от массы муки по унифицированной рецептуре и входит в 3,9% анализируемых наименований заварного хлеба. Следует учитывать тот факт, что мука пшеничная высшего сорта входит преимущественно в рецептурный состав хлеба, изготавливаемого по ускоренным технологиям. Эта особенность связана с необходимостью стабилизации реологических свойств теста для такого ассортимента. При этом ее применение приводит к удорожанию, что не всегда рационально для массового потребителя. Мука пшеничная первого сорта используется в количестве от 4,0% до 85,0% от массы муки по унифицированной рецептуре и входит в 67,3% анализируемых наименований заварного хлеба. Мука пшеничная второго сорта вносится в количестве от 15,0% до 25,0% от массы муки по унифицированной рецептуре и входит в состав 5,8% наименований заварного хлеба. Мука пшеничная обойная в рецептурном составе заварного хлеба встречается редко (в 3,9% наименований), что обусловлено ее пониженными хлебопекарными свойствами или производством традиционного более дешевого ассортимента. Количество муки пшеничной обойной варьируется от 30,0% до 55,0% от массы муки по унифицированной рецептуре. В большинство рецептур заварного хлеба включен солод ржаной сухой. Этот сырьевой компонент применяется или в качестве источника амилолитических ферментов для осахаривания ржаных заварок (солод ржаной неферментированный), или в качестве цвето-вкусо-ароматической добавки (солод ржаной ферментированный). Солод ржаной неферментированный вносится только на стадии приготовления ржаных заварок в традиционных технологиях заварного хлеба в количестве от 1,0% до 8,0% от массы муки по унифицированной рецептуре. Используется этот сырьевой компонент в 71,2% рецептур анализируемого ассортимента хлеба (таблица 1). Солод ржаной ферментированный применяется в количестве от 2,5% до 10,0% от массы муки по унифицированной рецептуре в 21,2% рецептур заварного хлеба. Солод ржаной ферментированный добавляется как в традиционных технологиях производства хлеба на стадиях приготовления ржаных заварок и/или теста, так и в ускоренных технологиях на стадиях замеса теста.

Таким образом, к наиболее часто используемому мучному сырью в составе заварного хлеба как в традиционных, так и в ускоренных технологиях относится мука ржаная сеяная и солод ржаной ферментированный.

При приготовлении теста существенным является не только выбор сырьевых компонентов путем исследования их свойств и показателей качества, но и изучение их поведения в различных сочетаниях, в ходе технологического процесса (реологические свойства теста) путем моделирования процессов замеса теста, его брожения, расстойки, выпечки и охлаждения. Такой метод комплексной оценки с высокой достоверностью позволяет оценить как качество исходных сырьевых компонентов и их комбинации, так и прогнозировать качество готового заварного хлеба на их основе.

В качестве параметров, влияющих на реологические свойства и обуславливающие поведение заварного теста в ходе технологического процесса, приняты соотношения мучных сырьевых компонентов:

- ♦ содержание муки ржаной сеяной, как наиболее часто применяемой, X_1 , %, от 10,0% до 90,0% от массы муки по унифицированной рецептуре для заварного хлеба;
- ♦ содержание солода ржаного ферментированного X_2 , %, от 2,5% до 10,0% от массы муки по унифицированной рецептуре для заварного хлеба.

Проведены экспериментальные исследования по плану полного факторного эксперимента (3×2), состоящего из 6 опытов, при различном соотношении сырьевых компонентов (таблица 2).

Получены сухие смеси массой 300 г с соотношением сырьевых компонентов, представленных в табл. 2, для приготовления теста и оценки его реологических свойств. Проведены исследования теста на приборе Миксолаб СНОРIN и дан их анализ. В качестве критериев

оценки выбраны показатели, характеризующие реологические свойства теста, а именно водопоглотительная способность (Y_1 , %), время образования теста (Y_2 , мин), стабильность теста (Y_3 , мин), амплитуда (Y_4 , Н·м), крутящие моменты в наиболее характерных точках миксолабограммы (Y_5 , Y_6 , Y_7 , Y_8 , Y_9 , Нм) и значения критериев, определяемых с применением функции Mixolab Profiler.

Таблица 2. Соотношения мучных сырьевых компонентов в образцах при проведении экспериментов

Table 2. Ratios of flour raw materials in the samples during experiments

№ образца	Соотношения мучных сырьевых компонентов		
	Мука ржаная сеяная X_1 , %	Солод ржаной ферментированный X_2 , %	Мука пшеничная 1 сорта ($100 - X_1 - X_2$), %
1	10,0	2,5	87,5
2	10,0	10,0	80,0
3	50,0	2,5	47,5
4	50,0	10,0	40,0
5	90,0	2,5	7,5
6	90,0	10,0	0,0

На рис. 1 представлена миксолабограмма образца №1 теста на приборе Миксолаб ШОПИН совместно с функцией Mixolab Profiler.

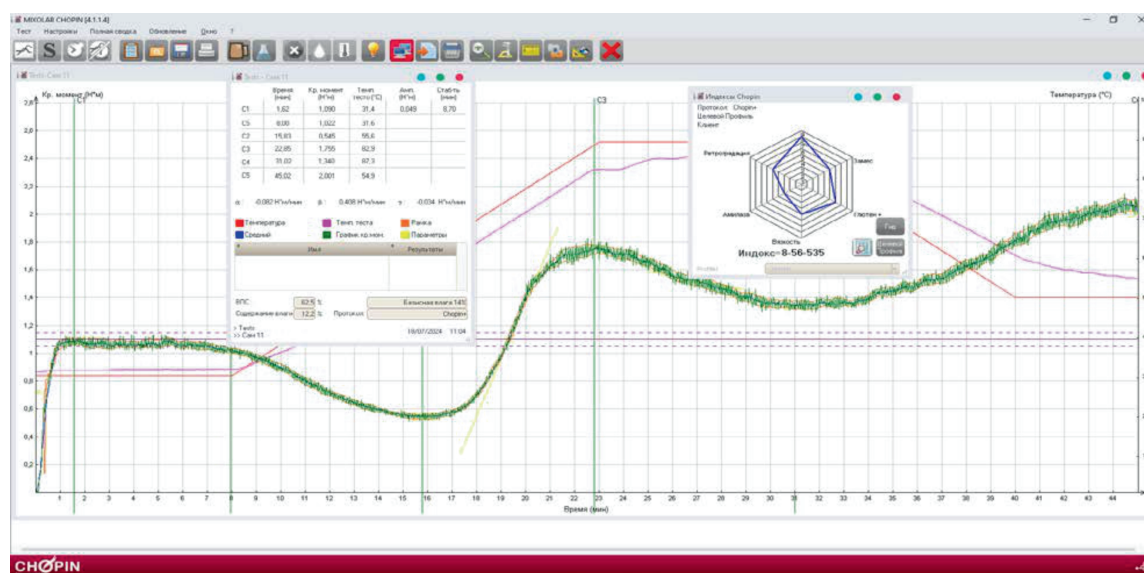


Рис. 1. Миксолабограмма образца №1 теста на приборе Миксолаб ШОПИН совместно с функцией Mixolab Profiler

Fig. 1. Mixolabogram of sample 1 of dough on Mixolab CHOPIN together with Mixolab Profiler function

На миксолабограмме отражены величины крутящего момента в наиболее характерных точках при формировании теста на приборе Mixolab CHOPIN C1, C2, C3, C4, C5, время их регистрации, соответствующие температуры теста и тестомесильной емкости, водопоглотительная способность смеси сырьевых компонентов. Точка C1 соответствует максимальной консистенции теста в течение первых 8 минут после начала его замеса. Это значение должно составлять 1,1 Нм ($\pm 0,05$ Н·м) [32–33]. Именно эта величина принимается для расчета водопоглотительной способности. Точка C2 характеризует минимальную консистенцию теста на начальном этапе нагрева. Снижение вязкости на этой стадии объясняется денатурацией белков, которые высвобождают воду, поглощенную во время замеса. Точка C3 характеризует максимальную консистенцию теста в процессе клейстеризации крахмала. Точка C4 определяет стабильность крахмального клейстера теста. Точка C5 характеризует реологическое поведение крахмала при охлаждении, обусловленное его ретроградацией. Для более полного описания реологических свойств дополнительно на приборе Миксолаб ШОПИН

представлена функция Mixolab Profiler. Она преобразовывает стандартную кривую в набор из шести критериев с оценками от 0 до 9, описывающих исследуемый образец теста, а именно: абсорбционный потенциал или индекс водопоглощения; поведение при замесе или индекс замеса; прочность клейковины или индекс клейковины+ (индекс глютен+); максимальная вязкость или индекс вязкости; амилалитическая активность или индекс амилолиза; ретроградация или индекс ретроградации [32–33].

Для всех образцов теста с использованием ржаной муки для заварного хлеба определены показатели их реологических свойств (табл. 3), а также оценки критериев с применением функции Mixolab Profiler (табл. 4).

Таблица 3. Показатели реологических свойств образцов теста с использованием ржаной муки для заварного хлеба

Table 3. Rheological properties of dough samples using rye flour for custard bread

№ образца теста	Водопоглотительная способность Y_1 , %	Время образования теста Y_2 , мин	Стабильность теста Y_3 , мин	Амплитуда Y_4 , Н·м	Крутящие моменты в наиболее характерных точках миксолабограммы				
					в С1 точке Y_5 , Н·м	в С2 точке Y_6 , Н·м	в С3 точке Y_7 , Н·м	в С4 точке Y_8 , Н·м	в С5 точке Y_9 , Н·м
1	62,5	1,62	8,70	0,049	1,090	0,545	1,755	1,340	2,001
2	63,7	4,13	4,90	0,049	1,129	0,401	1,715	1,389	2,027
3	64,5	3,58	6,70	0,051	1,108	0,536	1,807	1,229	1,858
4	65,7	3,10	4,60	0,045	1,061	0,437	1,691	1,063	1,447
5	67,2	1,45	5,10	0,068	1,143	0,624	1,916	0,979	1,446
6	65,0	1,50	4,10	0,042	1,104	0,574	1,847	0,920	1,341
из муки ржаной сеяной	70,5	1,02	2,30	0,058	1,110	0,551	1,638	0,706	1,111
из муки пшеничной первого сорта	57,3	1,38	8,90	0,068	1,098	0,411	1,865	1,585	2,662

Таблица 4. Показатели образцов теста с использованием ржаной муки для заварного хлеба с применением функции Mixolab Profiler

Table 4. Indicators of dough samples using rye flour for custard bread using the Mixolab Profiler function

№ образца теста	Оценка критериев					
	индекс водопоглощения	индекс замеса	индекс клейковины+ (глутена+)	индекс вязкости	индекс амилолиза	индекс ретроградации
1	8	5	6	5	3	5
2	8	2	4	5	3	5
3	8	3	7	6	2	4
4	8	2	6	5	1	3
5	9	2	8	6	1	3
6	8	1	8	5	1	3
из муки ржаной сеяной	9	1	8	2	1	3
из муки пшеничной первого сорта	4	2	2	7	5	7

Анализ результатов исследований, представленных в табл. 3 и обработанных в программном приложении Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company, показывает, что соотношение муки ржаной сеяной и пшеничной муки первого сорта с дополнительным внесением солода ржаного ферментированного оказывает влияние на отдельные показатели реологических свойств теста. Повышение количества муки ржаной и солода ржаного ферментированного преимущественно приводит к увеличению водопоглотительной способности, снижению продолжительности замеса, стабильности теста и его эластичности, которую характеризует показатель амплитуды.

Для всех образцов крутящие моменты, характеризующие максимальную консистенцию теста (точка С1) изменяются от 1,061 Нм до 1,143 Нм и соответствуют рекомендуемому значению ($1,1 \pm 0,05$ Нм). Показатель разжижения теста или минимальная консистенция, определяемая крутящим моментом в точке С2, варьируется в диапазоне от 0,401 Нм до 0,624 Нм. С увеличением содержания муки ржаной и солода ржаного ферментированного уменьшается крутящий момент С2, а следовательно, возрастает разжижение теста при повышении температуры. Максимальная консистенция теста в процессе клейстеризации крахмала (точка С3) изменяется от 1,691 Нм до 1,916 Нм. Все образцы имеют большую вязкость, чем у муки ржаной, а в некоторых случаях и муки пшеничной первого сорта. Такое увеличение обусловлено соотношением муки ржаной и пшеничной, а также наличием в составе теста солода ржаного ферментированного. С ростом количества солода ржаного ферментированного максимальная консистенция теста снижается. При увеличении количества муки ржаной максимальная консистенция теста преимущественно возрастает. Крутящий момент в точке С4, характеризующий стабильность крахмального клейстера в горячем состоянии, изменяется от 0,920 Нм до 1,389 Нм. Увеличение количества муки ржаной и солода ржаного ферментированного способствует снижению стабильности крахмального клейстера. Крутящий момент в точке С5 для исследуемых образцов теста изменяется от 1,341 Нм до 2,027 Нм (таблица 3). Применение ржаной муки позволяет снизить ретроградацию крахмала, что обусловлено ее хлебопекарными свойствами.

Анализ результатов исследований показывает, что соотношение муки ржаной и пшеничной, использование солода ржаного ферментированного влияет на оценку критериев реологических свойств теста (таблица 4), что подтверждается полученными кривыми Mixolab Profiler. Абсорбционный потенциал или индекс водопоглощения, характеризующий состав по содержанию отдельных химических веществ (белок, крахмал, клетчатка и др.) и влияющий на выход теста, для всех образцов изменяется от 8 до 9 (таблица 4). Чем выше значение показателя, тем больше воды поглощает сухая смесь сырьевых компонентов, что подтверждает ранее полученные данные по показателю водопоглотительной способности. Индекс замеса, описывающий поведение теста при температуре 30 °С (стабильность, время образования теста, его ослабление и разжижение), изменяется от 1 до 5. Чем выше это значение, тем стабильнее тесто при замесе. Закономерно при увеличении количества муки ржаной и солода ржаного ферментированного стабильность теста уменьшается. Прочность клейковины или индекс клейковины+ (глютен+), описывающий поведение клейковины (белков) при нагреве теста, изменяется для всех образцов от 4 до 8. Высокое значение показателя соответствует большому сопротивлению клейковины нагреву. Индекс вязкости, характеризующий изменение вязкости теста при нагреве и зависящий от амилолитической активности и качества крахмала, изменяется от 5 до 6. Большее значение показателя соответствует высокой вязкости теста при нагреве. Амилолитическая активность или индекс амилолиза, представляющий собой функцию способности крахмала противостоять амилолизу, изменяется у исследуемых образцов от 1 до 3 (таблица 4). Высокие значения показателя соответствуют низкой амилолитической активности. С ростом количества муки ржаной увеличивается амилолитическая активность. Индекс ретроградации, представляющий функцию характеристик крахмала и его гидролиза, изменяется от 3 до 5. Увеличение значения показателя приводит к уменьшению срока хранения конечной продукции. Закономерно увеличение количества муки ржаной, а также солода ржаного ферментированного уменьшают ретроградацию крахмала.

В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости (1–3) для расчета стабильности теста (Y_3 , мин) и крутящих моментов в точках С2 (Y_6 , Нм) и С3 (Y_7 , Нм) миксолабограммы от содержания муки ржаной сеяной и солода ржаного ферментированного с учетом значимых коэффициентов, которые имеют вид:

$$Y_3 = 10,77 - 0,0649 X_1 - 0,678 X_2, \quad (1)$$

$$Y_6 = 0,643 - 0,0042 X_1 - 0,0257 X_2 + 0,0000441 (X_1)^2 + 0,0002 X_1 X_2, \quad (2)$$

$$Y_7 = 2,17 + 0,000116 \cdot (X_1)^2, \quad (3)$$

Для полученных зависимостей определены коэффициенты детерминации R^2 , которые составляют 0,99–1,0.

По результатам исследований необходимо отметить, что для получения теста в производстве заварного хлеба с рациональной степенью увлажнения, продолжительностью его образования, стабильностью и вязкостью, низкой амилолитической активностью и ретро-

градацией крахмала целесообразно использовать сырьевые компоненты в базовом соотношении: мука ржаная сеяная — от 40,0% до 60,0%, солод ржаной ферментированный — от 3,0% до 6,0% от массы муки по унифицированной рецептуре.

Заключение. Анализ рецептурных составов показывает, что наиболее часто в традиционных и ускоренных технологиях заварного хлеба используется мука ржаная сеяная и мука пшеничная первого сорта. Выявлено, что мука ржаная сеяная применяется в количестве от 10,0% до 90,0%, а мука пшеничная первого сорта в количестве от 4,0% до 85,0% от массы муки по унифицированной рецептуре и входит соответственно в 73,1% и 67,3% анализируемых наименований заварного хлеба. Солод ржаной ферментированный применяется как в традиционных, так и в ускоренных технологиях производства заварного хлеба в количестве от 2,5% до 10,0%.

Установлено, что соотношение муки ржаной сеяной и муки пшеничной первого сорта с дополнительным внесением солода ржаного ферментированного влияет на показатели реологических свойств теста. С ростом количества муки ржаной и солода ржаного ферментированного увеличивается водопоглощительная способность, снижается продолжительность замеса, стабильность теста и его эластичность. Определено, что при получении теста для ассортимента заварного хлеба следует использовать муку ржаную сеяную в количестве от 40,0% до 60,0% и солод ржаной ферментированный — от 3,0% до 6,0% от массы муки по унифицированной рецептуре. Такое базовое соотношение обеспечивает получение теста с рациональной степенью увлажнения, продолжительностью его образования, стабильностью и вязкостью, низкой амилолитической активностью и ретроградацией крахмала.

Список использованных источников

1. Самуйленко, Т. Д. Технологии сброженной заварки в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба: монография / Т. Д. Самуйленко, А. В. Акулич. — Могилев: БГУТ, 2021. — С. 260.
2. Чубенко, Н. Т. Вкус и аромат хлеба — важный фактор воздействия на его потребление / Н. Т. Чубенко // *Хлебопечение России*. — 2016. — № 1. — С. 10–11.
3. Шатнюк, Л. Н. Хлеб и хлебобулочные изделия как источник и носитель микронутриентов в питании россиян / Л. Н. Шатнюк, В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская // *Хлебопечение России*. — 2012. — № 3. — С. 20–23.
4. Rye — A healthy cereal full of dietary fiber / P. Aman [et al.] // *Cereal Foods World*. — 2010. — № 55. — P. 231–234.
5. Autio, K. Observing structural differences in wheat and rye breads / K. Autio, T. Parkkonen, M. Fabritius // *Cereal Foods World*. — 1997. — № 42. — P. 702–705.
6. Willingness to eat bread with health benefits: habits, taste and health in bread choice / M. Sajdakowska [et al.] // *Public health*. — 2019. — № 167. — P. 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.10.018>.
7. Different liking but similar healthiness perceptions of rye bread among younger and older consumers in Sweden / Pernilla Sandvik [et al.] // *Food Quality and Preference*. — 2017. — № 61. — P. 26–37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.04.016>.
8. Poutanen, Kaisa. Rye and Rye Bread An Important Part of the North European Bread Basket / Kaisa Poutanen // *Rye and Health*. — P. 1–5.
9. Rye bread intake improves oxidation resistance of LDL in healthy humans / P.P. Söderholm [et al.] // *Atherosclerosis*. — 2012. — № 221. — Pp. 583–586. [doi:10.1016/j.atherosclerosis.2012.01.030](https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2012.01.030).
10. Flavonoids, anthocyanins, phenolamides, benzoxazinoids, lignans and alkylresorcinols in rye (*Secale cereale*) and some rye products / Juha-Matti Pihlava [et al.] // *Journal of Cereal Science*. — 2018. — № 79. — P. 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.009>.
11. Акулич, А. В. Особенности рынка хлебопечения и перспективные направления развития хлебопекарной отрасли Беларуси и России / А. В. Акулич, М. Н. Костюченко, М. Г. Балыхин, Т. Д. Самуйленко, И. И. Шапошников // *Хранение и переработка сельхозсырья*. — 2022. — № 3. — С. 187–209. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.349>.
12. Чубенко, Н. Т. Современные тенденции развития производства хлебобулочных изделий / Н. Т. Чубенко // *Хлебопечение России*. — 2012. — № 2. — С. 8–9.
13. Чубенко, Н. Т. О ситуации на рынке хлеба / Н. Т. Чубенко // *Хлебопечение России*. — 2012. — № 1. — С. 7–8.
14. Кузнецова, Л. И. Ржаной хлеб — развитие технологий и ассортимента / Л. И. Кузнецова // *Хлебопечение России*. — 2015. — № 2. — С. 18–19.
15. Mastication-induced release of compounds from rye and wheat breads to saliva / Saara Pentikäinen [et al.] // *Food Chemistry*. — 2019. — № 270. — P. 502–508. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.110>.
16. Jensen, Jesper Kronborg. Product carbon footprint of rye bread / Jesper Kronborg Jensen, Jan Stentoft Arlbjörn // *Journal of Cleaner Production*. — 2014. — № 82. — P. 45–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.061>.

17. Rye phenolics in nutrition and health / Isabel Bondia-Pons [et al.] // Journal of Cereal Science. — 2009. — №49. — P. 323–336. doi:10.1016/j.jcs.2009.01.007.
18. Косован, А. П. Время кардинально решать проблему качества хлеба / А. П. Косован, Н. Т. Чубенко // Хлебопечение России. — 2015. — №5. — С. 4–5.
19. Чубенко, Н. Т. Ассортимент хлебобучных изделий в регионах России и тенденции его развития / Н. Т. Чубенко // Хлебопечение России. — 2017. — №6. — С. 8–9.
20. Косован, А. П. Научное обеспечение хлебопекарной отрасли / А. П. Косован // Хлебопечение России. — 2013. — №6. — С. 12–14.
21. Андреев, А. Н. Применение методов реологии для стабилизации консистенции ржано-пшеничного теста при использовании дополнительного сырья / А. Н. Андреев, Ю. А. Виноградов // Процессы и аппараты пищевых производств. — 2011. — №2. — С. 56–63.
22. Информационно-измерительная система для оценки хлебопекарных свойств муки / В. Я. Черных [и др.] // Хлебопродукты. — 2000. — №8. — С. 21–25.
23. Dough rheology and physicochemical and sensory properties of wheat-peanut composite flour bread / Sihle G. Shongwe [et al.] // Legume Science. — 2022. — Volume 138. — PP. 1–8.
24. Quality prediction of bread made from composite flours using different parameters of empirical rheology / Aleksandra M. Torbica [et al.] // Journal of Cereal Science. — 2019. — PP. 654–657.
25. Определение реологических характеристик теста на приборе «Миксолаб» из муки с различных систем технологического процесса / Д. А. Жигунов [и др.] // Хлебопродукты. — 2013. — №2. — С. 50–54.
26. Черных, И. В. Совершенствование контроля качества муки с использованием современных информационно-измерительных систем / И. В. Черных, А. В. Лебедев // Хлебопродукты. — 2012. — №6. — С. 41–43.
27. Исследование реологических свойств сухих мучных полуфабрикатов с использованием ржаной муки / А. В. Акулич, Р. Т. Тимакова, Т. Д. Самуйленко, Лукиных М.И. // Индустрия питания. — 2023. — №3. — С. 6–17. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-3-1>, EDN: AZUJWY.
28. Самуйленко, Т. Д. Анализ современных сырьевых компонентов растительного происхождения, используемых в технологии хлеба с внесением ржаной муки / Т. Д. Самуйленко // Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. — 2024. — №1. — С. 59–80.
29. Дюк, В. А. Обработка данных на ПК в примерах / В.А. Дюк. — СПб.: ПИТЕР, 1997. — С. 240.
30. Грачев, Ю. П. Математические методы планирования экспериментов: учебное пособие / Ю. П. Грачев, Ю. М. Плаксин. — М.: ДеЛи принт, 2005. — С. 294.
31. Берестнева, О. Г. Прикладная математическая статистика / О. Г. Берестнева, О. В. Марухина, Г. Е. Шевелев. — Томск: Издательство томского политехнического университета, 2012. — С. 188.
32. Руководство пользователя прибора Mixolab. — 2008. — С. 63.
33. Руководство по приложениям Mixolab. — 2009. — С. 79.

Информация об авторах

Самуйленко Татьяна Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана по идеологической и воспитательной работе химико-технологического факультета, учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (пр-т Шмидта, 3, 212027, г. Могилев, Республика Беларусь).

E-mail: TataSam@tut.by

Акулич Александр Васильевич, заслуженный изобретатель Республики Беларусь, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (пр-т Шмидта, 3, 212027, г. Могилев, Республика Беларусь).

E-mail: akulichav@bgut.by

Information about the authors

Samuylenko Tatyana Dmitrievna, PhD (Technical), associate Professor, Deputy Dean for Ideological and Educational Work at the Faculty of Chemistry and Technology, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (3, Schmidt Avenue, Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

E-mail: TataSam@tut.by

Akulich Alexander Vasilievich, Honored Inventor of the Republic of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (3, Schmidt Avenue, Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

E-mail: akulichav@bgut.by