

О влиянии структурообразования теста при замесе на реологические свойства хлеба

Руднев Сергей Дмитриевич

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, дом 6

E-mail: sdrudnev@yandex.ru

Мещанинов Антон Владимирович

ИП Мещанинов А.В.

E-mail: t8090@ya.ru

Иванов Виктор Владимирович

ОАО «Кузбассхлеб»

Адрес: 650055, город Кемерово, пр-кт Кузнецкий, дом 105

E-mail: v-ivanow2013@yandex.ru

Крюк Роман Владимирович

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, дом 6

E-mail: roman.kryuk.94@mail.ru

Процесс формирования клейковинного каркаса в тесте пшеничном и его упруго-эластичные свойства оказывают важнейшее влияние на протекание последующих технологических процессов: тестотделения, формования, расстойки и выпечки. Структурообразование в испечённом хлебе напрямую зависит от того, как сформирована структура заготовки. Качество замеса влияет не только на качество хлеба, но и на процессы его черствения. Совершенствование процесса тестоприготовления позволяет получать продукцию высокого качества и повышать эффективность производства. В статье исследовалась зависимость времени и режима замешивания теста на качественные характеристики готовой хлебопекарной продукции. В частности, на процесс черствения. По результатам проведенных экспериментов видно, что тесто, со временем замешивания не соответствующее оптимальному, отрицательно влияет на реологические свойства хлебобулочных готовых изделий. Согласно проведенным исследованиям рекомендованы режимы замеса теста для машины периодического действия. Хлеб, выпеченный из теста при рациональных параметрах, обладает глубокой деформацией и быстро восстанавливает свою первоначальную форму. Таким образом, хлеб, выпеченный из теста длительного замеса, демонстрирует менее выраженную деформацию и хуже восстанавливает свою исходную форму. Разнообразие эмпирических формул и неоднозначность физико-химических свойств эмпирических коэффициентов приводят к поиску обобщенной модели упрочнения и ее связи с производственным процессом и оборудованием исследуемого объекта.

Ключевые слова: процесс смесеобразования; термодинамический метод; поверхностное взаимодействие в дисперсных системах; энергетический барьер при смачивании; качество продукции; релаксация деформаций; сохраняемость хлеба

Введение

Производство хлеба в России имеет важнейшее значение в обеспечении населения продуктами питания (Prosekov, 2016, p. 201-211). Ассортимент хлебобулочных изделий очень широк. Непрерывно разрабатываются новые виды хлебопекарных изделий. В то же время сохраняется производство традиционных видов хлеба, без которых питание в России трудно представить. Сохранение традиций производства, технологии и состава хлебобулочных

изделий можно считать одной из национальных основ и базой для продовольственной безопасности страны. ричем ведущая роль как сырья для хлеба теперь принадлежит дешевым низкокачественным сортам пшеницы (Просеков, 2018, с. 200-202).

Процесс формирования структуры теста имеет основное значение в хлебопекарном производстве (Романов, 2015, с. 8-10), так как он предшествует целому ряду последующих операций (формование, отделка, выпечка и т.д.), специфических при получении готовых изделий. Качество выпеченных

изделий формируется, главным образом, на стадии тестообразования. Достигаемая при этом однородность структуры теста, степень ее упорядоченности и, следовательно, качество теста и готовых изделий зависят от качества системы, полученной в процессе образования структуры теста.

Литературный обзор

Технология приготовления хлеба очень разнообразна с научной позиции процессов и аппаратов пищевых производств, но особое место в ней занимает процесс структурообразования в дисперсной системе, называемой тестом, когда в результате механического соединения тонкодисперсного сыпучего материала – муки и жидких компонентов в виде эмульсий или истинного водного раствора образуется упруго-эластично-пластичное капиллярно-пористое реологическое тело, обладающее пространственным клейковинным (белковым) каркасом. До настоящего времени к совершенствованию процесса замеса подходили с позиции интенсификации механической обработки теста, что позволяет улучшать контакт поверхностей частиц сыпучей среды с жидкой фазой. Отмечалось, что механическое воздействие на тесто во время замеса интенсифицирует протекание коллоидных и биохимических процессов, которыми обусловлены газообразующая способность теста и его физические свойства, определяющие газодерживающую способность. В то же время многими исследователями и практиками отмечается, что излишнее механическое воздействие на тесто значительно снижает его свойства и, в конечном итоге, качество готовой продукции.

Для интенсификации структурообразования в тесте кроме повышенного механического воздействия применяли улучшители – поверхностно-активные вещества, добавление которых к полуфабрикатам изменяет их физические свойства, смачиваемость и растворение составных частей муки (Диденко, 2012, с. 23-28). Благодаря этому белковые вещества лучше набухают и приобретают большую подвижность, позволяющую им равномерно распределяться во всей массе теста. Поэтому тесто с эмульгаторами имеет большую пластичность и растяжимость и лучше удерживает выделяемый при брожении углекислый газ. Практиковалось добавление ферментных препаратов (Невский, 2012, с. 22-24), что значительно улучшает

качество хлеба из пшеничной сортовой и из ржанопшеничной муки. Улучшаются физические свойства теста, повышается его пластичность, мякиш хлеба становится более эластичным, повышается пористость, увеличивается объем хлеба, замедляется его черствение. Известно, что вода способна изменять свои физико-химические свойства под влиянием внешних воздействий (Гончарук, 2001, с. 345-353). Для замеса теста использовалась электроактивированная вода с резонансной микрокластерной структурой (Корчагин, 2000, с. 16-17). Но все эти способы либо изменяют традиционный состав хлеба, либо усложняют технологию его приготовления.

Анализ процесса структурообразования дисперсной системы показал (Попов, 2011, с. 92-96), что наиболее важной стадией является получение однородной смеси муки и жидких компонентов. Сыпучие среды, содержащие частицы размером менее 10^{-4} м всегда сложно взаимодействуют с жидкостями в силу их высокоразвитой удельной поверхности, которая может составлять от десятков до тысяч $\text{м}^2/\text{м}^3$ (Урьев, 2004, с. 39-62). Силы поверхностного натяжения жидкости препятствуют смачиванию, образуются трудноразрушаемые конгломераты. По некоторым сведениям исходный объем смеси может превышать получаемый впоследствии на 20% за счет менисков, образующихся вокруг частиц. Процесс значительно затрудняется присутствием белков и углеводов, так как они создают влагонепроницаемые оболочки конгломератов, препятствующие дальнейшему структурообразованию. Энергетический барьер, возникающий при контакте фаз, бывает весьма высоким (Попов, 2002, с. 16-22). Перемешивание системы высокой концентрации «твердая фаза – вода» представляет собой сложное фазовое течение неоднородной жидкости (Ходаков, 2003, с. 22-44). Сдвиговое течение в образующейся смеси может быть адекватно описано с позиции реодинамики неоднородной жидкости с изменяющейся вязкостью жидкой фазы (Лойцянский, 2003, с. 368-370). Если поверхностное натяжение преодолено, то далее возникают коллоидные процессы, сопровождающиеся диффундированием влаги в частицы. Происходят физико-химические превращения, формируются устойчивые связи молекул воды и молекул биополимеров. И последним этапом следует формирование структуры совершенно новой дисперсной системы, по своим физико-механическим свойствам резко отличающейся от исходных компонентов, что обусловлено сначала высокоразвитой когезией, а затем сдвиговой деформацией при перемешивании

среды. Формируется макроструктура дисперсной системы, как правило, в виде каркасных образований, в которых молекулы воды участвуют в поперечных связях между крупными молекулами, появляется эластичность и упругость системы.

Интенсификация процесса смесеобразования на первой стадии замеса возможна на основе механоактивации компонентов, которая достаточно давно известна как результат воздействия на материалы и вещества внешними силами (Амирханов, 2018, с. 257-262). Она проявляется при образовании новой поверхности в твердых телах, при упругих и пластических деформациях частиц среды, при воздействии на поверхности сухим трением (Аввакумов, 2009, с. 8-16). И все эти виды механических воздействий приводят к разрыву внутренних межмолекулярных связей, либо же тех же связей, но на поверхности тел. Механоактивация воды повышает ее активность при взаимодействии с поверхностями твердых тел, то есть, улучшает смачиваемость (Васюкова, 2010, с. 24-33).

При замесе выделяют: физико-механические процессы, заключающиеся в образовании однородной смеси под воздействием месильного органа; коллоидные процессы, выраженные в смачивании, растворении, диффузии воды в частицы муки; структурные изменения в дисперсной системе, протекающие в результате осмотического и адсорбционного связывания воды белками муки, вызывающее набухание белковых образований, вытягивание белковых глобул в нити, возникновение поперечных связей между ними и, в итоге, образование в тесте губчато-сетчатой структурной основы – клейковинного каркаса, который и обуславливает специфические реологические свойства пшеничного теста – его растяжимость и упругость (Анисимова, 2017, с. 9-13).

Теоретическое обоснование

Проанализируем исследуемый процесс с позиций термодинамического метода исследований (Мечковский, 2010, с. 5-7). Первая стадия замеса по физико-химической сущности является процессом преодоления сил поверхностного натяжения воды (жидких компонентов) теста и формирования когезионного взаимодействия поверхностей частиц через прослойки жидкости. В термодинамике для описания такого процесса используется равенство Юнга:

$$\sigma_{\Gamma} = \sigma_{ТЖ} + \sigma_{Ж} \cdot \cos\varphi, \quad (1)$$

где σ_{Γ} – равновесное поверхностное натяжение твердого тела; $\sigma_{Ж}$ – равновесное поверхностное натяжение жидкости; $\sigma_{ТЖ}$ – межфазное поверхностное натяжение на границе твердое тело – жидкость; $\cos\varphi$ – кажущийся краевой угол.

Адгезия жидких компонентов к поверхности частиц муки аналитически выражается уравнением Дюпре:

$$W_A = \sigma_{\Gamma} + \sigma_{Ж} - \sigma_{ТЖ}, \quad (2)$$

где W_A – обратимая работа адгезии.

Сочетание (1) и (2) дает выражение:

$$W_A = \sigma_{Ж}(1 + \cos\varphi), \quad (3)$$

На основе выражения (3) удельная обратимая работа когезии W_K :

$$W_K = 2 \cdot \sigma_{Ж} \quad (4)$$

При условии самопроизвольного растекания жидкости по поверхности твердого тела:

$$\sigma_{Ж}(\cos\varphi - 1) > 0, \quad (5)$$

Разница W_A и W_K дает коэффициент растекания S :

$$S = W_A - W_K = \sigma_{Ж}(\cos\varphi - 1) \quad (6)$$

Представленная феноменологическая модель идеализирована и применима для случая взаимодействия капли жидкости и чистой ровной поверхности (Рисунок 1а). Тем не менее, на уплотненной поверхности муки капля воды образует отчетливый мениск, показывающий значимость сил поверхностного натяжения в данном контакте (Сумм, 1976, с. 26-47). Если же капля воды находится на разрыхленной поверхности (Рисунок 1б), то картина ее взаимодействия практически идентична.

Из уравнения (2) следует, что поверхностная энергия и жидкости, и твердого тела для образования прочного контакта между ними должны быть высокими, но поверхностную энергию их взаимодействия необходимо снижать каким либо способом и при этом:

$$\sigma_{\Gamma} > \sigma_{Ж} \quad (7)$$

Если же силы на поверхности взаимодействия «субстрат – адгезив» высоки, то простейшим способом может быть повышение механической



(а)



(б)

Рисунок 1. Капля воды на поверхности муки: а – на уплотненной поверхности; б – на разрыхленной поверхности.

энергии перемешивания компонентов для преодоления этих сил (Shehzad, 2012, с. 60-70).

Когда поверхностное натяжение преодолено, начинаются коллоидные процессы, сопровождающиеся диффундированием влаги в частицы муки. Один из основных законов термодинамики – выражение Гельмгольца для свободной энергии системы с постоянным числом частиц:

$$\Delta F = \sigma \Delta S = \Delta U - T \Delta \bar{S}, \text{ Дж} \quad (8)$$

где ΔF – свободная энергия, Дж; σ – удельная поверхностная энергия вещества, Дж/м²; ΔS – приращение поверхности взаимодействия фаз, м²; ΔU – изменение полной энергии системы, Дж; T – абсолютная температура, К; \bar{S} – энтропия системы, Дж/К.

В начале процесса взаимодействия фаз поверхность контакта очень большая. Энтропия системы при этом максимальна. Но в системе еще присутствуют прослойки свободной жидкости, позволяющие движение частиц относительно друг друга. По мере преодоления сил поверхностного натяжения внешней механической энергией энтропия системы снижается, когезионное взаимодействие частиц преобразуется во внутреннюю энергию:

$$U_0 = \tau^2 / (2G), \quad (9)$$

где τ – напряжения сдвига, зависящие от скорости деформации и мгновенного состояния среды, Па; G – модуль упругости при сдвиге, изменяющийся во времени.

Повышающаяся внутренняя энергия обуславливает растущую упругость среды (теста), ее адгезионную и когезионную прочность (Сумм, 2007, с. 104-110). Следовательно, когда термодинамическая система достигает максимальной упругости, ее внутренняя

энергия также максимальна. Если же происходит снижение упругости и, следовательно, внутренней энергии, то среда теряет свою связность, структура ее разрушается.

Цель исследований – изучение влияния параметров замеса теста, в первую очередь – времени замеса, на вязкоупругие свойства теста и качество хлебобулочных изделий.

Материалы и методы

Исследовался процесс замеса теста для хлеба «Кемеровский» из пшеничного первого сорта, произведенного безопасным способом, а также качество хлеба. Изучалось влияние технологических параметров на реологические свойства теста – его предельное напряжение сдвига и хлеба – на обратную деформацию (Колодязная, 2011, с. 110-115). Процесс осуществлялся при комнатной температуре.

В качестве объектов исследований были выбраны девять хлебобулочных изделий, выпеченных из теста с разным времени замешивания: недомес – 80 с; оптимальный замес – 200 с и перемес – 600 с. Начальная масса тестовых заготовок 40 г. Выпеченным изделиям были присвоены: далее объекты №1(1.1), №2(1.2), №3(1.3), №4(2.1), №5(2.2), №6(2.3), №7(3.1), №8(3.2) и №9(3.3) соответственно.

- 1.1. срок хранения менее 3 часа (недомес теста);
- 1.2. срок хранения менее 3 часа (оптимальный замес теста);
- 1.3. срок хранения менее 3 часа (перемес теста);
- 1.4. срок хранения 20 часов, холодильная камера 4–6°С (недомес теста);

- 1.5. срок хранения 20 часов, холодильная камера 4-6°C (оптимальный замес теста);
- 1.6. срок хранения 20 часов, холодильная камера 4-6°C (перемес теста);
- 1.7. срок хранения 20 часов, комнатная температура 20-22°C (недомес теста);
- 1.8. срок хранения 20 часов, 20-22°C (оптимальный замес теста);
- 1.9. срок хранения 20 часов, комнатная температура 20-22°C (перемес теста).

На момент начала исследований срок хранения объектов был менее 1 часа. Масса объектов уменьшилась до 38 г (для объектов с недомесом и оптимальным замесом теста) и до 36 г (для объектов с перемесом теста). Объекты №1(1.1), №2(1.2), №3(1.3) были измерены сразу. Образцы нагружались гирькой массой 1 кг на специально разработанном оригинальном устройстве. Деформация объекта №1(1.1), №2(1.2), №3(1.3) фиксировалась на видеоустройство смартфона Samsung Galaxy A30 в режиме реального времени по перемещению луча лазерного устройства вдоль шкалы за определенный промежуток времени.

Затем груз был удален, и фиксировалась релаксация деформаций объек-тов. Объекты №4(2.1), №5(2.2), №6(2.3) были помещены в холодильную каме-ру. Объекты №7(3.1), №8(3.2) №9(3.3) были оставлены при комнатной темпера-туре. На следующий день объекты №4, №5, №6, №7, №8 и №9 так же были подвергнуты исследованию на обратную деформацию, по результатам исследо-ваний были составлены графики.

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования проводили замеры мощности, потребляемой при замесе теста машиной Г4-МТМ-330-01 Шебекинского машиностроительного завода на одном из хлебозаводов ОАО «Кузбассхлеб». Графики изменения мощности во времени представлены на Рисунке 2.

И контрольный, и экспериментальный образец имели одинаковый состав ингредиентов, соответствующий рецептуре производства хлеба «Кемеровский» из муки пшеничной первого сорта. Потехнологическим рекомендациям, действующим на предприятии, был установлен следующий режим замеса: первая скорость (пониженная) – 4 минуты, вторая скорость (повышенная) 6 минут – линия 1 на графике. Кривая замеса хорошо

иллюстрирует все стадии структурообразования: начальная стадия, когда происходит механическое смешивание компонентов, она длится 50-60 секунд; вторая стадия – гидrolитическое взаимодействие жидких компонентов и частиц муки, резкое повышение энергопотребления при перемешивании, достижение максимума расхода мощности через 300 секунд; снижение энергозатрат при последующем перемешивании, что характеризует разрушение клейковинного каркаса теста. Анализ процесса позволил сделать вывод, что режим замеса необходимо изменить. Было задано: 1 минута на пониженной скорости и 5 минут – на повышенной. Получено следующее: в течение одной минуты смесь муки и жидких компонентов стала равномерной. Повышение скорости позволило значительно быстрее сформировать структуру теста, мощность достигла максимума через 130150 секунд. Продолжение замеса не только нецелесообразно, но и вредно для структуры теста (Ауэрман, 2005, с. 121-123).

На Рисунке 3 представлены результаты анализа графиков замеса в течение 230 секунд. Вычисления показали, что энергоемкость процесса повысилась на 22%.

Как же изменились реологические свойства теста? Исследования проводились на основе современных методов реометрии (Pirogov, 2014, p. 72-81). На Рисунке 4 показаны сравнительные данные предельного напряжения сдвига (ПНС). ПНС вычисляли с применением коэффициента при угле конуса, определенным и рассчитанным профессором В.А. Аретом (Арет, 2014, с. 91-95). Измерения проводили сразу после замеса и через 10 минут. По результатам исследований представлен Рисунок 4.

Анализ данных позволяет сделать вывод, что после длительного замеса тесто пытается восстановить свою структуру. ПНС за 10 минут повысилось на 18-20%. Тесто же, замешенное в ускоренном режиме, проявляет высокое ПНС сразу после замеса, более чем в два раза превышающее контрольный, а со временем происходит релаксация остаточных напряжений в его структуре.

Дальнейшие исследования проводились на оригинальной установке и по методике, описанной В.А. Аретом (Арет, 2017, с. 15-21).

Была проведена выпечка изделий – булочки круглой. Рецепт на 1 кг: мука 100%, дрожжи прессованные 4,0%, соль поваренная пищевая 1,5%, сахар 2,0%, маргарин 2,0%, вода 58,0%.

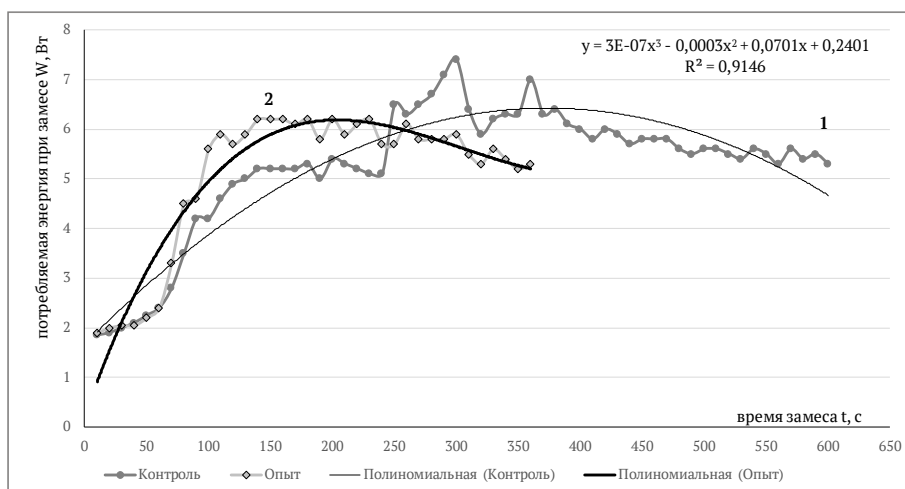


Рисунок 2. Зависимость мощности, потребляемой тестомесильной машиной от времени замеса: 1 – контрольный замес; 2 – экспериментальный замес.

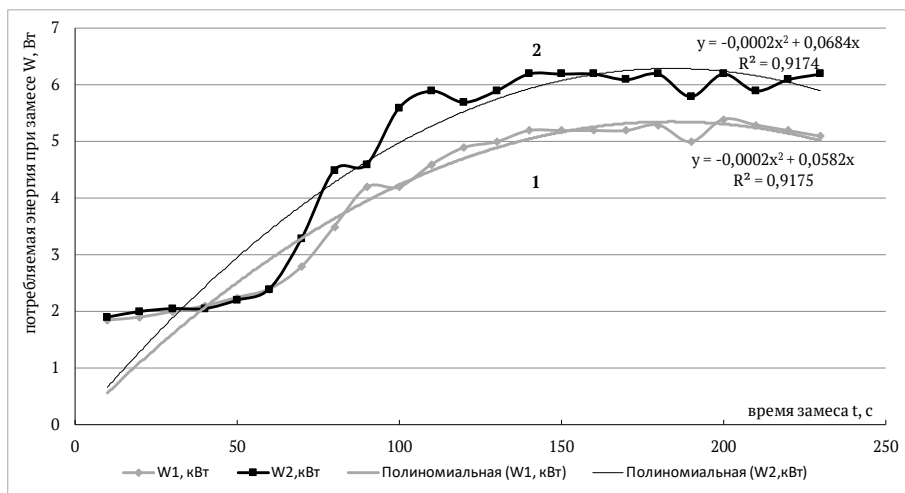


Рисунок 3. Начальные участки графиков замеса теста пшеничного 1 сорта: 1 – контрольный замес; 2 – экспериментальный замес.

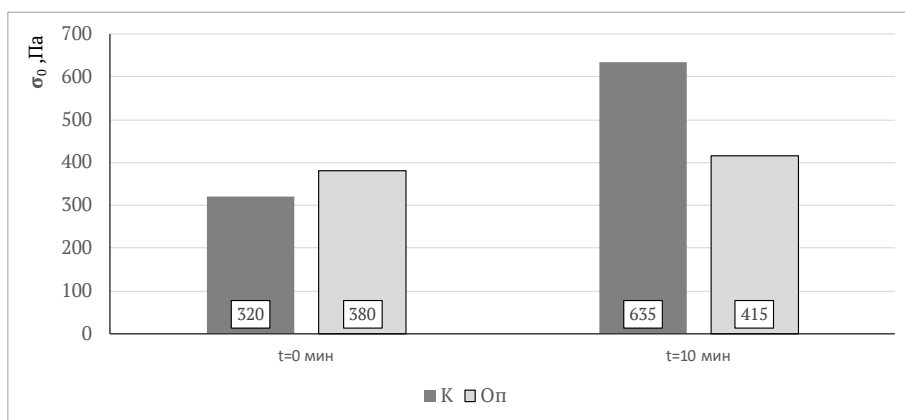


Рисунок 4. Результаты измерений предельного напряжения сдвига теста сразу после замеса и через 10 минут после замеса (К – контроль; Оп – опытный замес).

Общие технологические параметры для всех объектов:

- отлежка (при температуре $t^{\circ} = 22^{\circ}\text{C}$) в течении 20 мин.
- формование (деление, округление) изделия массой $m = 50$ г.
- расстойка в течение 80 мин при температуре $t^{\circ} = 35^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $\varphi = 75\%$.
- выпечка при температуре $t^{\circ} = 210^{\circ}\text{C}$ в течении $\tau = 21-22$ мин с пароувлажнением, масса изделия после выпечки $m = 38-40$ г.

По результатам исследований деформации образцов были составлены графики зависимости перемещения (H) от времени (t) для девяти объектов.

Как видно на графике, объект №1(1.1) обладал значительной деформацией по отношению с другими образцами. Срок хранения объекта №1(1.1) на момент исследования был менее 1 часа, следовательно, объект №1(1.1) обладал яркой релаксацией и практически полностью восстановил свою первоначальную форму. Деформация объекта №2(1.2) практически идентична деформации объекта №1(1.1). За исключением того, что начальная точка деформации объекта №2(1.2) выше, чем у объекта №1(1.1). Релаксация деформаций объекта №3 (1.3) так же плавная – объект восстанавливает большую часть своей первоначальной формы.

Релаксация деформаций, то есть, восстановление прежней формы объекта №4 (2.1) плавная – объект восстанавливает часть своей первоначальной формы. Объекту №4(2.1) на момент эксперимента было 20 часов, и его масса уменьшилась до 36 г. Поскольку объект №4(2.1) хранился в холодильной камере, он не утратил своих вязкоупругих свойств. Релаксация деформаций объекта №5(2.2) так же плавная. Начальная точка деформации выше, чем у объекта №4(2.1). Объекту №5(2.2) на момент эксперимента было 20 часов, и его масса уменьшилась до 36 г. Релаксация деформаций объекта №6(2.3) так же равномерная. Начальная точка деформации выше, чем у объекта №4(2.1), но несколько ниже, чем у объекта №5(2.2). Объекту №6(2.3) на момент эксперимента было 20 часов, и его масса уменьшилась до 34 г.

Деформация у объекта №7 (3.1) практически отсутствовала. На момент эксперимента объекту №7 (3.1) было 20 часов. За это время масса объекта №7(3.1) уменьшилась до 36 г. Хранение при комнатной температуре усилило очерствение таким образом, что объект №7(3.1) практически утратил способность к релаксации деформации. Деформация объекта №8(3.2) так же практически нулевая. График деформации объекта №9(3.3) практически идентичен графикам объектов №7(3.1) и №8 (3.2.). Деформация минимальна.

Таблица 1

Изменение массы объектов исследования в процессе хранения при различных условиях

№ объекта	Время хранения, время (t) замеса теста	Потеря массы в процессе хранения (г)
№1(1.1)	Время хранения меньше 1 ч с момента выпекания Время (t) замеса теста: 4 мин на \mathcal{U}_1 и 0,5 мин на \mathcal{U}_2	2
№2(1.2)	Время хранения меньше 1 ч с момента выпекания Время (t) замеса теста: 4 мин на \mathcal{U}_1 и 4 мин на \mathcal{U}_2	2
№3(1.3)	Время хранения меньше 1 ч с момента выпекания Время (t) замеса теста: 4 мин на \mathcal{U}_1 и 14 мин на \mathcal{U}_2	4
№4(2.1)	Время хранения 20 ч с момента выпекания, хранение в холодильной камере Время (t) замеса теста: 4 мин на \mathcal{U}_1 и 0,5 мин на \mathcal{U}_2	4
№5(2.2)	Время хранения 20 ч с момента выпекания, хранение в холодильной камере Время (t) замеса теста: 4 мин на \mathcal{U}_1 и 4 мин на \mathcal{U}_2	4
№6(2.3)	Время хранения 20 ч с момента выпекания, хранение в холодильной камере Время (t) замеса теста: 4 мин на \mathcal{U}_1 и 14 мин на \mathcal{U}_2	6
№7(3.1)	Время хранения 20 ч с момента выпекания, хранение при комнатной температуре Время (t) замеса теста: 4 мин на \mathcal{U}_1 и 0,5 мин на \mathcal{U}_2	4
№8(3.2)	Время хранения 20 ч с момента выпекания, хранение при комнатной температуре Время (t) замеса теста: 4 мин на \mathcal{U}_1 и 4 мин на \mathcal{U}_2	4
№9(3.3)	Время хранения 20 ч с момента выпекания, хранение при комнатной температуре Время (t) замеса теста: 4 мин на \mathcal{U}_1 и 14 мин на \mathcal{U}_2	6

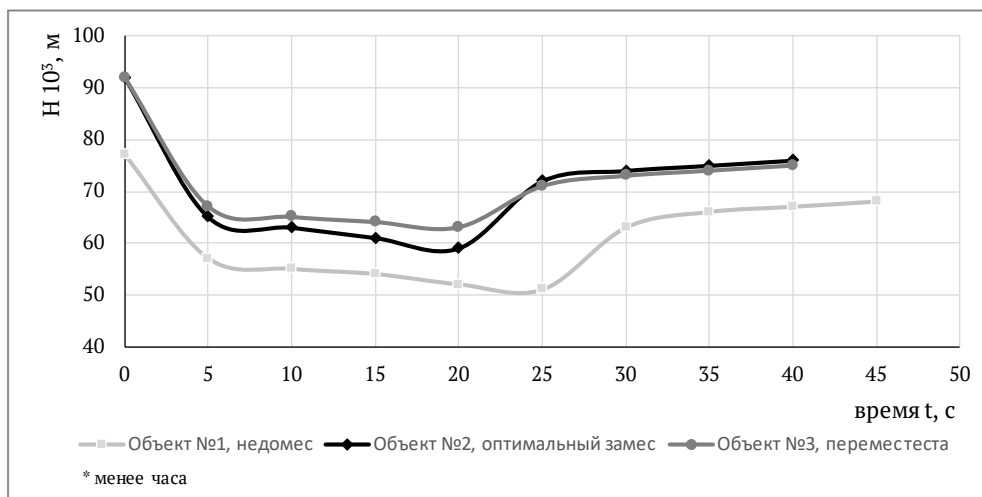


Рисунок 5. Релаксация деформаций Н объектов №1, №2 и №3 во времени.

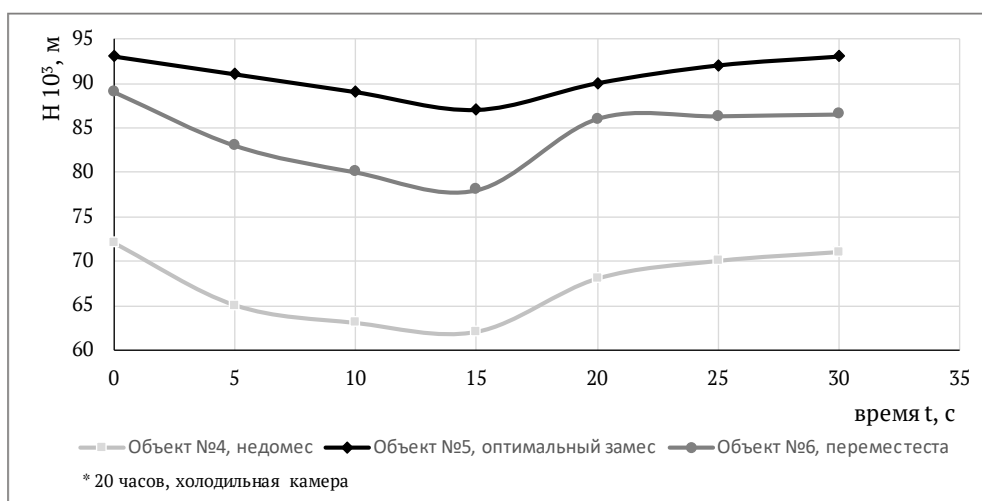


Рисунок 6. Релаксация деформаций Н объектов №4, №5 и №6 во времени

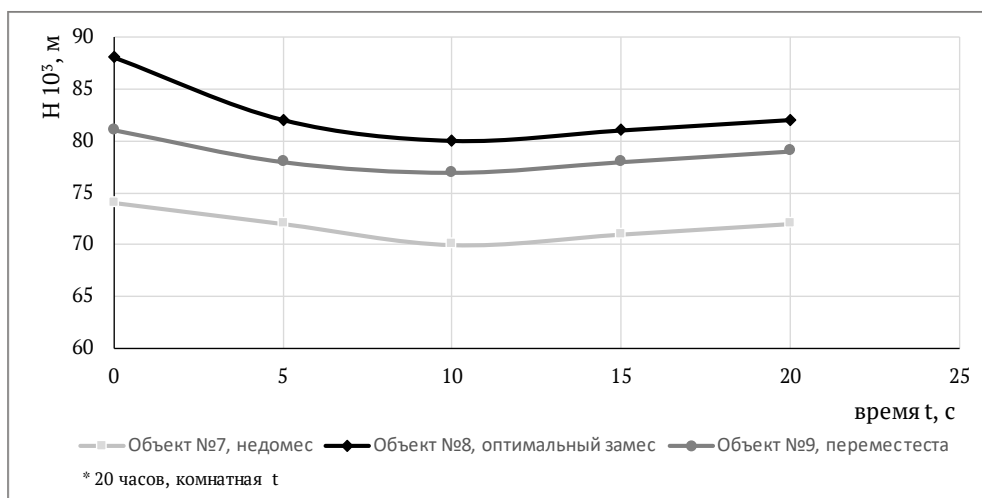


Рисунок 7. Релаксация деформаций Н объектов №7, №8 и №9 во времени

Эмпирическая формула для всех графиков имеет следующий вид:

$$H = a + bt + ct^2 + dt^3 + \dots,$$

где эмпирические коэффициенты a, b, c, d, e , коэффициент корреляции r и среднее квадратичное отклонение H . Данные для всех девяти графиков были занесены в Таблицу 2.

Полученные экспериментальные данные с подробным описанием объектов были занесены в таблицы.

Для определения вязкоупругих свойств всех объектов была проведена органолептическая оценка. В опыте приняли участие 7 экспертов, которым было предложено определить качество и степень свежести объектов по пятибалльной шкале, что относит результаты к метареологии (психореологии) (Арет, 2017, с. 15-21). Пять, как мягкий и свежий, обладающий яркой обратной деформацией объект. у которого релаксация деформаций практически отсутствует

По результатам опыта, дегустаторы частично

Таблица 2
Эмпирические данные

№ опыта (объекты)	Эмпирические коэффициенты					Коэффициент корреляции r	Среднее квадратичное отклонение H
	a	b	c	d	e		
№1(1.1)	7.6	-3.67	1.6	-1.8		0.95	0.05
№2(1.2)	9.1	-6.5	4.3	-1	8.4	0.97	0.03
№3(1.3)	9.2	-6.2	4.1	-1	9	0.97	0.02
№4(2.1)	7.2	-1.7	5.8	2.3	-7.9	0.97	0.01
№5(2.2)	9.3	-7.9	-1	7.5	-1.3	0.97	0.007
№6(2.3)	8.8	-2.1	1.4	-2.5		0.9	0.02
№7(3.1)	7.4	-6.1	2.5			0.97	0
№8(3.2)	8.8	-1.8	1.3	-2.6		0.99	0
№9(3.3)	8.1	-9.4	6.8	-1.3		0.99	0

Таблица 3
Результаты измерений

№ опыта (объекты)	t (с)	H (мм)	Описание состояния объекта (№ объекта, свойства и время хранения)
№1(1.1)	0-25 (деформация)	0.26 (деформация)	Объект №1(1.1) (вес 38 г, время хранения меньше 1 ч)
	25-45 (релаксация деформаций)	0.16 (релаксация деформаций)	
№2(1.2)	0-20 (деформация)	0.32 (деформация)	Объект №2(1.2) (вес 38 г, время хранения меньше 1 ч)
	20-40 (релаксация деформаций)	0.16 (релаксация деформаций)	
№3(1.3)	0-20 (деформация)	0.31 (деформация)	Объект №3(1.3) (вес 36 г, время хранения меньше 1 ч)
	20-40 (релаксация деформаций)	0.13 (релаксация деформаций)	
№4(2.1)	0-15 (деформация)	0.1 (деформация)	Объект №4(2.1) (вес 36 г, время хранения 20 ч в холодильной камере)
	15-30 (релаксация деформаций)	0.09 (релаксация деформаций)	
№5(2.2)	0-15 (деформация)	0.06 (деформация)	Объект №5(2.2) (вес 36 г, время хранения 20 ч в холодильной камере)
	15-30 (релаксация деформаций)	0.06 (релаксация деформаций)	
№6(2.3)	0-15 (деформация)	0.1 (деформация)	Объект №6(2.3) (вес 34 г, время хранения 20 ч в холодильной камере)
	15-30 (релаксация деформаций)	0.083 (релаксация деформаций)	
№7(3.1)	0-10 (деформация)	0.04 (деформация)	Объект №7(3.1) (вес 36 г, время хранения 20 ч при комнатной t)
	10-20 (релаксация деформаций)	0.02 (релаксация деформаций)	
№8(3.2)	0-10 (деформация)	0.08 (деформация)	Объект №8(3.2) (вес 36 г, время хранения 20 ч при комнатной t)
	10-20 (релаксация деформаций)	0.02 (релаксация деформаций)	
№9(3.3)	0-10 (деформация)	0.04 (деформация)	Объект №9(3.3) (вес 34 г, время хранения 20 ч при комнатной t)
	10-20 (релаксация деформаций)	0.02 (релаксация деформаций)	

разошлись во мнениях относительно состояния объектов № 1, 2, 3, 4, 5 и 6, но единогласно сошлись, относительно объектов №7, 8 и 9, признав их наиболее черствыми, несвежими и утратившими способность к обратной деформации. Кроме черствости, дегустаторы оценивали еще два органолептических параметра, которые в этой статье не обсуждаются. В результате органолептической оценки дегустаторами образцов хлеба было получены три матрицы оценок следующего вида, приведенные в Таблице 4.

Мнения экспертов выражались критериями: вкусно – 1, почти вкусно – 0.8, не очень вкусно – 0.3, невкусно – 0, а свежий – 1, довольно свежий – 0.8, черствоватый – 0.3, черствый – 0. Поскольку экспертов 7 человек, то их оценки отличаются, и в таблице уже приведены математические ожидания оценок экспертов. Для матрицы оценок μ_1 применили функцию принадлежности в виде нормального закона распределения и программу Matcad 14.

В обозначениях программы:

$\mu g(g, A1, B1) = \exp[-A1 \cdot (B1 - g)^2]$,
 где g – содержание ингредиента 1 в таблице,
 $A1$ – статистическая дисперсия строки g в таблице,
 $B1$ – среднее арифметическое строки g в таблице.

Расчет дал величины $B1 = 25.029$, $A1 = 0.083$.

Выводы

Экспериментальные исследования подтвердили важность правильного подбора технологических режимов замеса теста и влияние процессов структурообразования теста на качество готовых изделий. Согласно проведенным исследованиям можно рекомендовать следующий режим

замеса теста: v_1 (пониженная) – 1 минута, v_2 (повышенная) – 4 минуты. Хлеб, выпеченный из теста при данном скоростном режиме, обладал глубокой деформацией и быстро восстанавливал свою первоначальную форму. Продолжение замеса на v_1 – 4 минуты, v_2 – 10 минут, не только нецелесообразно, но и вредно для структуры теста.

Анализ данных показал, что после длительного замеса происходит разрушение клейковинного каркаса теста. Таким образом, хлеб, выпеченный из теста длительного замеса, хуже восстанавливает свою исходную форму.

Разнообразие эмпирических формул и неоднозначность физико-химических свойств эмпирических коэффициентов приводят к поиску обобщенной модели упрочнения и ее связи с производственным процессом и оборудованием исследуемого объекта.

Литература

- Аввакумов Е.Г., Гусев А.А. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья. Новосибирск: Академическое изд-во Гео, 2009. 155 с.
- Амирханов К.Ж., Руднев С.Д. Интенсификация процесса получения однородных высококонцентрированных дисперсных смесей с применением механоакти-вированной воды // Инновации в пищевой биотехнологии: сборник трудов Меж-дународного симпозиума. Кемерово: КГУ, 2018. С. 257-262.
- Анисимова Л.В., Солтан Осама Исмаэил Ахмед Реологические свойства теста из смеси пшеничной и цельно смолотой овсяной муки // Ползуновский вестник. 2017. № 3. С. 9-13.
- Арет В.А., Руднев С.Д. Реология и физико-механические свойства материалов пищевой промышленности. СПб.: ИЦ Интермедия, 2014.

Таблица 4
 Результаты органолептической оценки (тактильного опыта)

Обозначение матриц	Показатели	Средние арифметические величины показателей группы экспертов							
		20	21.4	23	25	27.2	28.6	30	
μ_1 - матрица ингредиента 1	Содержание мг/100 г, а	20	21.4	23	25	27.2	28.6	30	
	Средние оценки экспертов	0.12	0.32	0.68	0.88	0.82	0.38	0.06	
μ_2 - матрица ингредиента 2	Содержание мг/100 г, b	10	11.7	13.4	15	16.7	18.4	20	
	Средние оценки экспертов	0	0.33	0.65	1	0.63	0.32	0	
μ_3 - матрица тактильной оценки	Время хранения в часах, h	0,5	3	2	24	48	72	96	
	Средние оценки черствости экспертов	1	1	1	1	0.64	0.35	0	

- 252 с.
- Арет В.А., Мещанинов А.В., Руднев С.Д. Метареологическое исследование вязкоупругих свойств хлебобулочных изделий // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 8(62). С.15-21.
- Аузрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства. СПб.: Профессия, 2005. 416 с.
- Васюков А.Т., Пучков В.Ф. Современные технологии хлебопечения. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2010. 224 с.
- Гончарук В.В., Маляренко В.В. Изменение свойств воды под влиянием электро-химической обработки // Химия и технология воды. 2001. Т. 23. №4. С. 345-353.
- Диденко В.М. Особенности использования пищевых ПАВ в производстве мучных кондитерских изделий // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2012. № 3(127). С. 23-27.
- Колодязная В.С., Байченко Л.А. Исследование реологических свойств в процессе черствения хлебобулочных изделий с добавлением микронутриентов // Процессы и аппараты пищевых производств. 2011. №2. С. 110-115.
- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.
- Мечковский Л.А., Блохин А.В. Химическая термодинамика. В 2 ч. Ч. 1. Минск: БГУ, 2010. 141 с.
- Попов А.М. Физико-химические основы технологий полидисперсных гранулированных продуктов питания. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2002. 324 с.
- Корчагин В.И., Демченко В.И., Дерганосова Н.М., Столярова Л.И., Карпенко В.И. Применение в хлебопечении временно активированной воды // Хлебопечение России. 2000. № 5. С. 16-17.
- Невский А.А., Дремучева Г.Ф., Стрельникова М.В., Синицына О.А. Применение ферментных препаратов с фитазной активностью при производстве хлебобулочных изделий // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2016. № 11-12. С. 22-24.
- Просеков А.Ю. Проблемы продовольственных кризисов России и опыты их решения: монография. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), 2018. 240 с.
- Романов А.С., Кузнецова Л.И., Савкина О.А. Современные технологии приготвления теста на хлебопекарных предприятиях. Кемерово: КемТИПП, 2015. 270 с.
- Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М.: Химия, 1976. 232 с.
- Сумм Б.Д. Основы коллоидной химии. М.: Академия, 2007. 240 с.
- Попов А.М., Сорочкин А.М., Сарафанов А.А., Михайлова И.А., Шилова Е.И. Управление составом и свойствами влажных дисперсных систем // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 3. С. 92-96.
- Урьев Н.Б. Физико-химическая динамика дисперсных систем // Успехи химии. 2004. № 1(73). С. 39-62.
- Романов А.С., Ильина О.А., Иунихина В.С., Краус С.В. Хлеб и хлебобулочные изделия. Сырьё, технологии, ассортимент. М.: ДеЛи плюс, 2016. 635 с.
- Ходаков В.С. Реология суспензий. Теория фазового течения и ее экспериментальное обоснование // Российский химический журнал. 2003. Т. XLVII. №2 С. 33-44.
- Shehzad A., Chiron H., Della Valle G., Lamrini B., Lourdin D. Energetical and rheological approaches of wheat flour dough mixing with a spiral mixer // Journal of Food Engineering. 2012. V.110. Pp. 60-70.
- Pirogov A.N. Rheometric monitoring of the formation of milk-protein blobs // Foods and raw materials. 2014. V. 2. № 1. Pp. 72-81.
- Prosekov A.Yu., Ivanova S.A. Providing food security in the existing tendencies of population growth and political and economic instability in the world // Foods and raw materials. 2016. V. 4. № 2. Pp. 201-211.

How Dough Mixing Modes Affect its Structure and Bread Quality

Sergey D. Rudnev

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: sdrudnev@yandex.ru*

Anton V. Meschaninov

*Private Entrepreneur Meschaninov A.V.
E-mail: t8090@ya.ru*

Viktor V. Ivanov

*ОАО «Kuzbasshleб»
105 Kuznetsky ave., Kemerovo, 650055, Russian Federation
E-mail: v-ivanow2013@yandex.ru*

Roman V. Kryuk

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: roman.kryuk.94@mail.ru*

The processes of forming a gluten skeleton in the wheat dough and its elastic properties have the most important influence on the course of subsequent technological processes: dosing, molding, proofing and baking. The structure formation in baked bread directly depends on how the structure of the billet is formed. The quality of the kneading affects not only the quality of the bread, but also safety of bread. Improving the process of dough preparation allows to obtain high quality products and increase production efficiency. The article investigated the dependence of the time and mode of kneading dough on the quality characteristics of the finished bakery products. According to the results of the experiments, it can be seen that the dough, which over time is not optimally kneaded, adversely affects the rheological properties of the bakery finished products. According to the conducted research, the dough kneading modes for a dough mixer are recommended. Bread baked from dough with rational parameters has a deep deformation and quickly restores its initial form. Thus, bread baked from dough of a long kneading demonstrates less pronounced deformation and worse restores its original shape. A variety of empirical formulas and the ambiguity of the physicochemical properties of empirical coefficients lead to the search for a generalized model of hardening and its connection with the production process and equipment of the object under study.

Keywords: the process of mixing; Thermodynamic method; superficial interaction in dispersal systems; energy barrier when wetting; product quality; relaxation of deformations; safety of bread

References

- Avvakumov E. G., Gusev A. A. Mekhanicheskie metody aktivacii v pererabotke pri-rodnogo i tekhnogenogo syr'ya [Mechanical activation methods in processing of natural and technogenic rawmaterials] Rash.Acad.Sciences, Siberian branch, In-t chemical. Sol. bodies and Mechanochemistry. Novosibirsk: Academic publishing house geo, 2009. 155 p.
- Amirkhanov K. Zh., Rudnev S. D. Intensifikaciya processa polucheniya odnorodnyh vysokokoncentrirovannyh dispersnyh smesej s primeneniem mekhanoaktivirovannoj vody [Intensification of the process of obtaining homogeneous highly concentrated dispersed mixtures with the use of mechanoactivated water] // Innovacii v pishchevoj biotekhnologii: sbornik trudov Mezhdunarodnogo simpoziuma [Innovations in food biotechnology: proceedings of the International Symposium]. 2018. p. 257-262.
- Anisimova L. V., Soltan Usama Ismaeil Ahmed Reologicheskie svoystva testa iz sme-si pshenichnoj i cel'no smolotoj ovsyanoj muki [Rheological properties of dough from wheat flour and wholemeal oat flour] // Polzunovckij vestnik

- [Polzunovskii Herald]. 2017. № 3. p. 9-13.
- Aret V. A., Rudnev S. D. Reologiya i fiziko-mekhanicheskie svojstva materialov pishchevoj promyshlennosti [Rheology and physico-mechanical properties of food industry materials] / St. Petersburg.: IC InterMedia, 2014. 252 p.
- Aret V. A., Meshchaninov A.V., Rudnev S. D. Metareologicheskoe issledovanie vyazkouprugih svojstv hlebobulochnyh izdelij [Metareological study of viscoelastic properties of bakery products] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International scientific research journal]. 2017. issue № 8 (62). p. 15-21.
- Auerman L. ya. Tekhnologiya hlebopekarnogo proizvodstva [Technology of bakery production: Textbook]. SPb: Profession. 2005. 416 p.
- Vasyukov A. T., Puchkov V. F. Современные технологии хлебопечения: Учебно-практическое пособие [Modern technologies of baking: Educational and practical manual]. Moscow: Publishing and trading Corporation "Dashkov & Co.", 2010. 224 p.
- Goncharuk V. V., Maliarenko V. V. Изменение свойств воды под влиянием элек-трохимической обработки [Change of water properties under the influence of elec-trochemical treatment] // Himiya i tekhnologiya vody [Chemistry and technology of water]. 2001. t 23, №. 4. p. 345-353.
- Didenko V. M. Osobennosti ispol'zovaniya pishchevyh PAV v proizvodstve much-nyh konditerskih izdelij [Features of the use of food surfactants in the production of flour confectionery products]. Konditerskoe i hlebopekarnoe proizvodstvo [Confectionery and bakery production]. 2012. Issue № 3 (127). p. 23 – 27.
- Kolodyazna V. S., Baychenko L. A. Issledovanie reologicheskikh svojstv v processe cherstveniya hlebobulochnyh izdelij s dobavleniem mikronutrientov [Investigation of rheological properties in the course of staling of bakery products with added micro-nutrients] // Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv [Processes and devices of food manufactures]. 2011. № 2.
- Loitsyansky L. G. Mekhanika zhidkosti i gaza [Mechanics of liquid and gas: textbook for universities]. Moscow: Bustard. 2003. 840 p.
- Mechkovsky L. A. Blokhin A.V. Himicheskaya termodinamika [Chemical thermodynamics] In 2 hours Part 1. Minsk: BSU, 2010. 141 p.
- Popov A. M. Fiziko-himicheskie osnovy tekhnologii polidispersnyh granulirovannyh produktov pitaniya [Physico-chemical bases of technology of polydisperse granular food products]. Novosibirsk: Sib. Univ. ed. 2002. 324 p.
- Korchagin V.I., Demchenko V.I., Derganosova N.M., Stolyarova L.I., Karpenko V.I. Primenenie v hlebopechenii vremennno aktivirovannoj vody [Application in baking of temporarily activated water] // Hlebopechenie Rossii [Baking of Russia]. 2000. № 5. p. 16-17.
- Nevskij A.A., Dremucheva G.F., Strel'nikova M.V., Sinicyna O.A. Primenenie fermentnyh preparatov s fitaznoj aktivnost'yu pri proizvodstve hlebobulochnyh izdelij [The use of enzyme preparations with phytase activity in the production of bakery products] // Confectionery and bakery production. 2016. №-11-12. p. 22-24.
- Prosekov A.Yu. Problemy prodovol'stvennyh krizisov Rossii i opyt ih resheniya: monografiya. [Problems of food crises in Russia and experience of their solution: monograph]. Kemerovo: Kemerovskij tekhnologicheskij institut pishchevoj promyshlennosti (universitet) [Kemerovo Technological Institute of Food Industry (University)]. 2018. 240 p.
- Romanov A.S., Kuznecova L.I., Savkina O.A. Sovremennye tekhnologii prigotovleniya testa na hlebopekarnyh predpriyatiyah. [Modern technologies of dough preparation at bakery enterprises] // Kemerovo: Kemtipp. 2015. 270 p.
- Summ B. D. Goryunov J. V. Fiziko-himicheskie osnovy smachivaniya i rastekaniya. [Physico-chemical fundamentals of wetting and currents]. Moscow: Chemistry. 1976. 232 p.
- Summ B. D. Osnovy kolloidnoj himii. [Fundamentals of colloidal chemistry]. Moscow: Academy. 2007. 240 p.
- Popov A.M., Sorochkin A.M., Sarafanov A.A., Mihajlova I.A., Shilova E.I. Upravlenie sostavom i svojstvami vlazhnyh dispersnyh sistem [Control of the composition and wet properties of disperse systems] // Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv [Equipment and technology of food production]. 2011. № 3, p. 92-96.
- 62.
- Uriev N. B. Fiziko-himicheskaya dinamika dispersnyh sistem [Physicochemical dynamics of disperse systems]. Uspekhi himii [Chem. prog.], 73:1 (2004), p. 39-62;
- Romanov A.S., Il'ina O.A., Iunihina V.S., Kraus S.V. Hleb i hlebobulochnye izdeliya. Syr'yo, tekhnologii, assortiment [Bread and bakery products. Raw materials, technologies, assortment] / Moscow: De Li plus. 2016. 635 p.
- Khodakov V. S. Reologiya suspenzij. Teoriya fazovogo techeniya i ee eksperimental'noe obosnovanie [Rheology of suspensions. Phase flow theory and its experimental substantiation.] // Rossijskij himicheskij zhurnal [Russian chemical journal]. 2003. T. XLVII. № 2 p. 33-44.
- Shehzad A., Chiron H., Della Valle G., Lamrini B., Lourdin D. Energetical and rheological approaches of wheat flour dough mixing with a spiral mixer //

Journal of Food Engineering. 2012. V.110. p. 60-70.
Pirogov A.N. Rheometric monitoring of the formation
of milk-protein blobs // Foods and raw materials.
2014. V. 2. № 1. p. 72-81.
Prosekov A.Yu., Ivanova S.A. Providing food security in

the existing tendencies of population growth and
political and economic instability in the world //
Foods and raw materials. 2016. V. 4. № 2. p. 201-
211.