УДК 637.52

Масалова Валерия Валерьевна, Оботурова Наталья Павловна, Лодыгина Светлана Валентиновна, Гежина Анна Николаевна

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО СЫРЬЯ В МОДЕЛЬНЫХ ТЕСТОВЫХ СИСТЕМАХ

На сегодняшний день серьезной проблемой отрасли производства специализированной пищевой продукции остается повышение качества безглютеновых пищевых изделий. Применение различного рода пищевых микроингредиентов не обеспечивает в полной мере необходимых структурно-механических свойств безклейковинного теста. Применение творожной сыворотки в рецептурах модельных систем из аглютенового растительного сырья позволит решить проблему рационального использования вторичного молочного сырья и обеспечить оптимальные реологические свойства безглютенового пельменного теста.

Ключевые слова: *безглютеновое сырьё, безглютеновое тесто, адгезия, вторичное молочное сырье, релаксация напряжений, упруго-пластические деформации.*

Valeriya Masalova, Natal'ya Oboturova, Svetlana Lodygina, Anna Gezhina

PROSPECTS OF WHEY APPLICATION FOR GLUTEN-FREE RAW MATERIALS RHEOLOGICAL PROPERTIES OPTIMIZATION IN MODEL TEST SYSTEMS

Nowadays a serious problem of specialized food production industry is to improve the quality of gluten-free food products. The use of different kinds of food micro-ingredients does not provide fully the necessary structural and mechanical properties of gluten-free dough. Application of cheese whey in the formulation of gluten-free plant raw materials model systems allows solving the problem of secondary dairy raw materials rational utilisation to ensure gluten-free dumpling dough optimal rheological properties.

Key words: *gluten-free raw materials, gluten-free dough, adhesion, the secondary dairy raw materials, stress relaxation, elastoplastic deformation.*

В настоящее время разработка новых видов специализированной пищевой продукции требует модернизированных технологических решений, позволяющих создавать изделия с заданными качественными параметрами. Стабильность технологического процесса производства безглютеновых продуктов питания обеспечивается за счет применения пластификаторов различной природы и пищевых микроингредиентов, в значительной степени влияющих на улучшение структурно-механических свойств тестовых систем [3].

Общеизвестным остается тот факт, что при разработке безглютеновых пищевых изделий замена пшеничной на аглютеновые виды муки сопровождается рядом технологических и реологических сложностей, поскольку решающее значение имеет имитация вязкоупругих свойств клейковины пшеничного теста. Причиной отсутствия оптимальных структурно-механических свойств безглютенового теста является способ соединения полипептидных цепей в белках, отличающийся от трехмерной разветвленной структуры клейковины. Реологические свойства тестовой системы из пшеничной муки, в свою очередь, зависят от присутствия высокомолекулярных субъединиц глютенина, полиморфизма низкомолекулярного глютенина, глиадина, количества белка, крахмала и активности α-амилазы. Глютенин придает клейковине упругие свойства, а глиадин обусловливает растяжимость и связность. Взаимодействие этих фракций в едином комплексе создает белок клейковины со всеми присущими ему реологическими особенностями [2, 4].

Содержание в муке белковых веществ, их состав, свойства, состояние крахмальных зерен и наличие водорастворимых пентозанов имеют первостепенное значение, в значительной мере определяющее технологические свойства муки. Иными словами, от состояния белково-протеиназного и углеводно-амилазного комплексов зависят такие свойства теста, как эластичность, пластичность, вязкость, упругость (рис. 1).

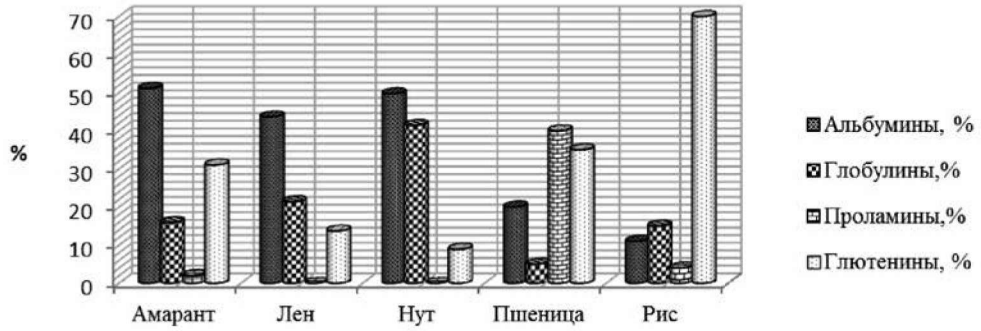

Рис. 1. Фракционный состав белков растительных видов сырья и зерна пшеницы, % к общему содержанию белка

Рядом отечественных и зарубежных ученых установлено, что максимальное нахождение проламинов и глютенинов наблюдается в пшеничной муке. Глиадин (проламины) и глютелин, определяющие структурный потенциал белка злаковых, при замесе теста набухают, адсорбционно связывая влагу. Наличие большого количества водорастворимых белков в безглютеновом сырье не позволяет сформировать реологическое тело с оптимальными структурно-механическими характеристиками.

С целью оптимизации структурно-механических свойств получаемого теста из сырья со слабой клейковиной в пищевой промышленности широко применяются различные виды вспомогательных ингредиентов (масла, яйца, меланж и т. д.), солевые растворы, используют молочные белки и их концентраты, аскорбиновые кислоты, сахара, комплексные тестовые улучшители[5].

Применение вторичного молочного сырья, на наш взгляд, является одним из наиболее перспективных способов повышения пищевой, биологической ценности, уменьшения количества сухих веществ, переходящих в воду при варке, замедления процесса ретроградации крахмала, улучшения органолептических и реологических характеристик безглютенового теста.

Молочная сыворотка представляет собой гетерогенную систему коллоидного раствора белковых веществ, эмульсии молочного жира, истинного раствора солей и лактозы в дисперсионной среде [7].

В настоящее время существует более 15 000 видов молочной сыворотки, учитывая весь ассортимент сыров, творога и казеина. Усредненные показатели химического состава основных компонентов сухих веществ творожной, подсырной и казеиновой сыворотки представлены в таблице 1.

Таблица

Химический состав молочной сыворотки, полученной при производстве различных молочных продуктов [7]

Наименование показателя	Виды молочной сыворотки		
	Подсырная	Казеиновая	Творожная
Сухое вещество, %	6,5	6,8	6,0
В том числе: Молочный жир	0,4	0,5	0,3
Белок	0,7	1,0	0,8
Лактоза	4,5	4,5	4,2
Минеральные соли	0,5	0,7	0,6
Кислотность, Т	10–15	50–85	50–120

Согласно исходным литературным данным, белки молочной сыворотки на 90 % состоят из альбуминовой и глобулиновой фракций, 10 % составляют казеины. Сывороточные белки, содержащиеся в ней, состоят из β-лактоглобулина (50–54 % всех белков), α-лактальбумина (20–25 %), альбумина сыворотки крови, иммуноглобулинов и других минорных белков.

Нативные сывороточные белки обладают высокой гелеобразующей, водосвязывающей и эмульгирующей способностью, могут улучшать структурные характеристики пищевых продуктов. Кроме этого, молочные белки имеют свойства, аналогичные клейковине, поскольку образовывают трехмерные сети за счет полярных групп, находящихся на поверхности казеиновых мицелл [1, 4].

Лактоза – трудногидролизуемый углевод молочной сыворотки, характеризуется высокими функционально-технологическими свойствами: сорбционной способностью, диспергирующими и эмульгирующими свойствами, способностью стабилизировать белки, изменять кристализационные характеристики других углеводов.

Рядом отечественных ученых при разработке рецептур хлебобулочных и кондитерских изделий при использовании творожной сыворотки отмечено улучшение реологических и качественных параметров получаемых изделий, что позволяет сделать вывод о практической целесообразности применения творожной сыворотки при производстве пельменного аглютенового теста.

Использование молочной сыворотки в тестовых системах позволяет удерживать активные группы крахмала, снизить активность ферментов, отбелить муку (за счет торможения активности фермента полифенолоксидазы), улучшить сохранность изделий, и главным образом, замедлить явление процесса черствения, поскольку цепи сывороточных белков, не связанные ионами кальция, располагаются между цепями крахмала, замедляя его ретроградацию [1].

Безглютеновое пельменное тесто представляет собой оводненный коллоидный комплекс с определенной внутренней структурой, где основными регулируемыми реологическими параметрами являются упруго-пластические свойства (деформации), адгезионное напряжение и релаксация напряжений во времени.

Для определения, сравнения и контроля вышеуказанных реологических параметров тестовых систем использовали электронный структурометр СТ-1 (рис. 2). Модель структурометра представляет собой информативно-измерительную систему для комплексного измерения реологических свойств пищевых продуктов. Принцип работы структурометра основан на измерении воздействия неподвижного инструмента на образец, перемещаемый столиком (v = 0,5 м/с) по заданному закону [5, 6].

Путем сравнительного измерения перемещения (Н, мм), усилия касания (F, г), и периода релаксации (τ, с) модельных тестовых систем из пшеничной муки и исследуемых видов безглютенового растительного сырья установлено, что оптимальные структурно-механические свойства тестовых систем наблюдались в нутовой муке при внесении 45 % воды, в льняной – 120 %, амарантовой – 55 %, рисовой – 60 %, пшеничной – 40 %.

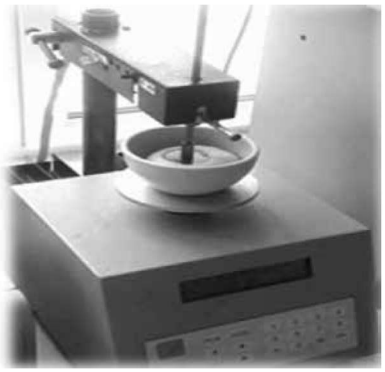

Рис. 2. Модель структурометра СТ-1

В ходе экспериментальных исследований изменения реологического поведения модельных тестовых систем нами использовалась творожная сыворотка с титруемой (67 °Т) и активной (pH 4,4) кислотностью. Безглютеновые модельные тестовые системы производили с полной или частичной заменой дистиллированной воды на молочную творожную сыворотку в следующих соотношениях – 100 / 0, 80 / 20, 70 / 30, 50 / 50, 30 / 70, 20 / 80, 0 / 100. В качестве контроля выбрана тестовая система из пшеничной муки на дистиллированной воде.

Реодинамичность структур определяется кинетикой упругих и пластических деформаций. Изучение деформационного поведения модельных тестовых систем позволяет установить количественное соотношение между упругой и пластической деформациями. Для измерения реологического поведения модельных тестовых систем заданными параметрами системы являлись: усилие касания $F_к$ = 5 г; скорость движения столика $V_д$ = 0,5 мм / с; усилие нагружения $F_н$ = 300 г. В результате испытаний получены кривые сжатия, т. е. зависимости прилагаемого усилия от глубины погружения индентора в тесто [2, 6]. Полученные данные об изменении соотношения упругих и пластических деформаций в модельных тестовых системах представлены на диаграммах (рис. 3–7).

Рис. 3. Диаграмма нагружения модельных тестовых систем пшеничной муки с разным уровнем замены воды на творожную сыворотку

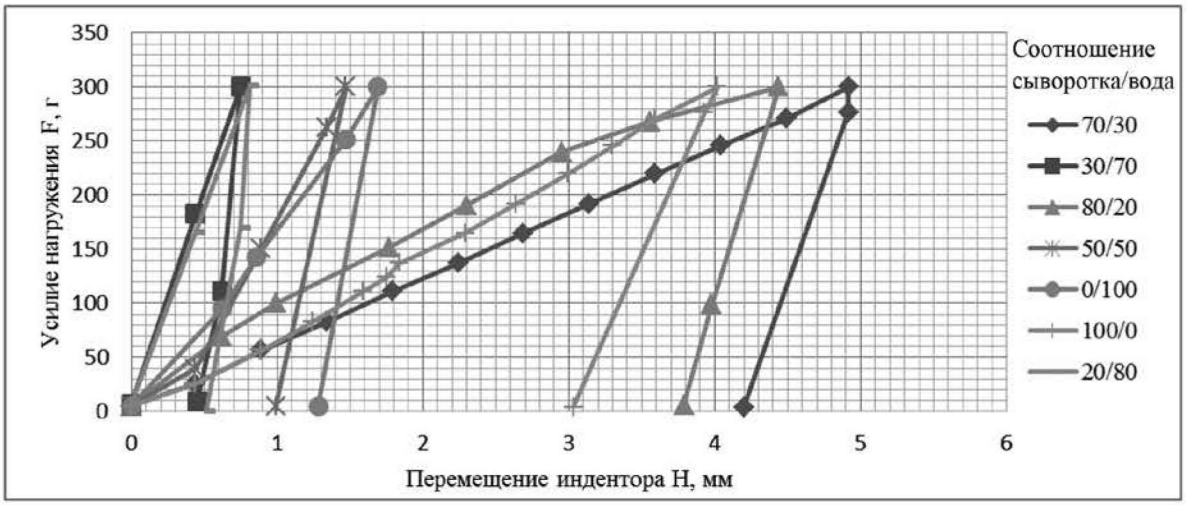

Рис. 4. Диаграмма нагружения модельных тестовых систем амарантовой муки с разным уровнем замены воды на творожную сыворотку

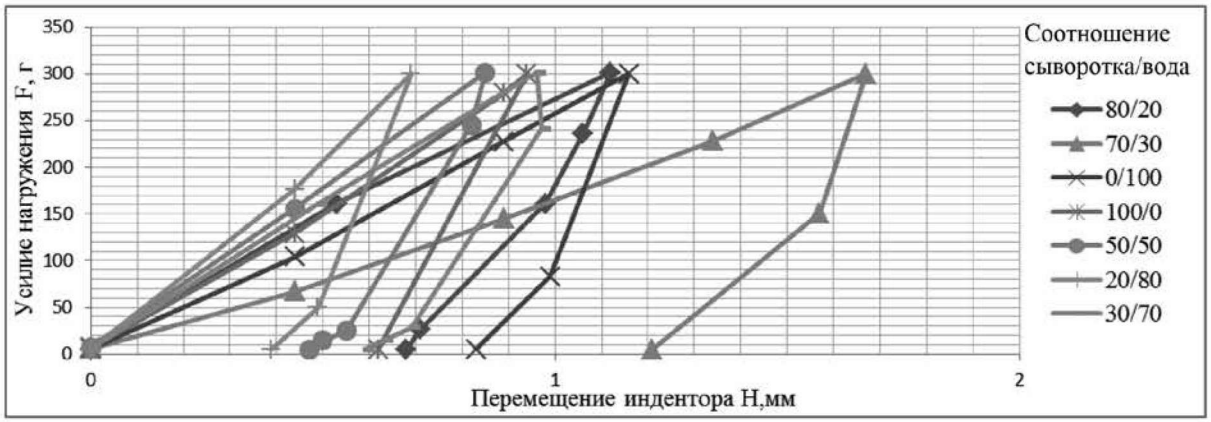

Рис. 5. Диаграмма нагружения модельных тестовых систем рисовой муки с разным уровнем замены воды на творожную сыворотку

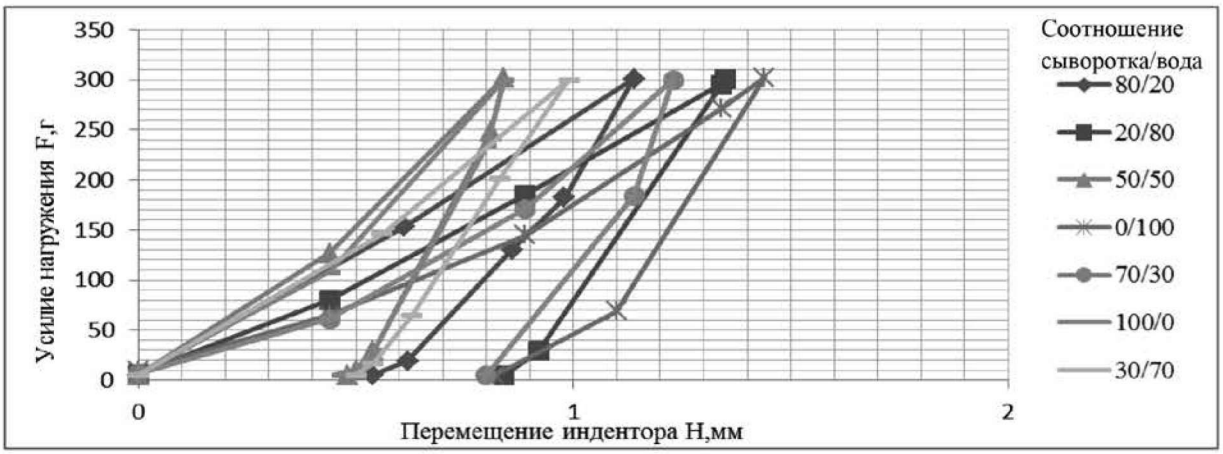

Рис. 6. Диаграмма нагружения модельных тестовых систем льняной муки с разным уровнем замены воды на творожную сыворотку

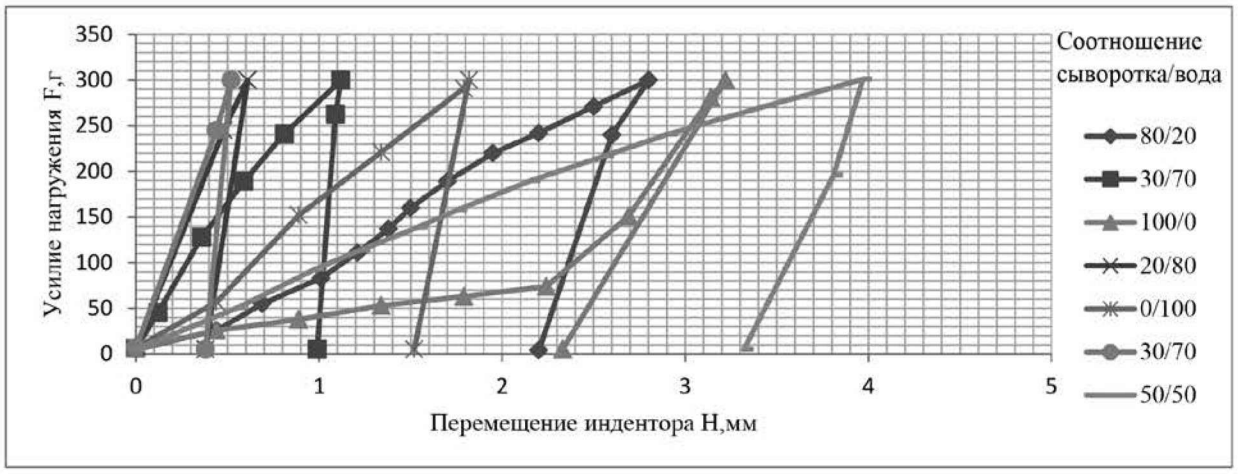

Рис. 7. Диаграмма нагружения модельных тестовых систем нутовой муки с разным уровнем замены воды на творожную сыворотку

Исходя из полученных экспериментальных данных, представленных на рисунках, сделан вывод о том, что применение молочной сыворотки при замене на дистиллированную воду в соотношении 70 / 30 в модельных тестовых системах из рисовой и амарантовой муки положительно сказывается на улучшении упруго-пластичных свойств тестовой системы. Этот факт обусловлен повышенной автолитической активностью сырья и содержанием крахмала, поскольку повышение кислотности теста ограничивает процесс образования декстринов и улучшает процесс пептизации белков. Однако полная замена воды сывороткой в указанных видах сырья ведет к снижению упругости и нарастанию излишней пластичности, что вероятнее всего обосновывается усилением кислотонакопления и начала процесса кислотного гидролиза крахмалов. В модельных тестовых системах с нутовой мукой предпочтительный уровень замены воды на вторичное молочное сырье составил 50 / 50, а для пшеничной муки – 80 / 20 (вода / сыворотка). Такое соотношение оказывает наилучшее влияние на оптимизацию реологических свойств полученных образцов, поскольку в нутовой муке до 95 % от общего фракционного состава составляют растворимые белки, коллоидные растворы которых (при введении сыворотки) характеризуются повышением поверхностной активности и стабилизации с другими соединениями системы эластичной структуры теста, а пшеничная мука из-за высокого содержания белков клейковины при большем кислотонакоплении характеризуется процессами неограниченного набухания клейковины [1, 4].

Главной отрицательной характеристикой при формовании и замесе многих безглютеновых тестовых изделий является повышенное адгезионное напряжение. Адгезия – это взаимодействие (прилипание) различных по структуре материалов при их взаимном контакте [3, 4]. Данное явление возникает в результате сил межмолекулярного сцепления на контактной поверхности тел или за счет проникновения инородного материала (адгезива) в поры субстрата. Методика измерения заданной величины на приборе СТ-1 основана на нагружении диска индентора тестовой системы в течение $\tau_н$ = 60 с, при значении деформации, не превышающей (глубины внедрения индентора) $h_д$ = 1 мм, установлении силы отрыва Fотр. диска Ø 36 мм от исследуемой массы с последующим математическим расчётом адгезионного напряжения (рис. 8).

Согласно полученным данным, при использовании молочной сыворотки липкость в модельных тестовых системах у нутовой муки снижается на 24 %, у амарантовой – на 22 %, у рисовой муки – на 38 % из-за более полного связывания белкового и углеводного комплекса мучного сырья, что обусловлено формированием непрерывной структуры теста из нерастворимых и растворимых компонентов, увеличения количества адсорбционной связанной влаги, усилением сил межмолекулярного сцепления, уменьшением поверхностного натяжения.

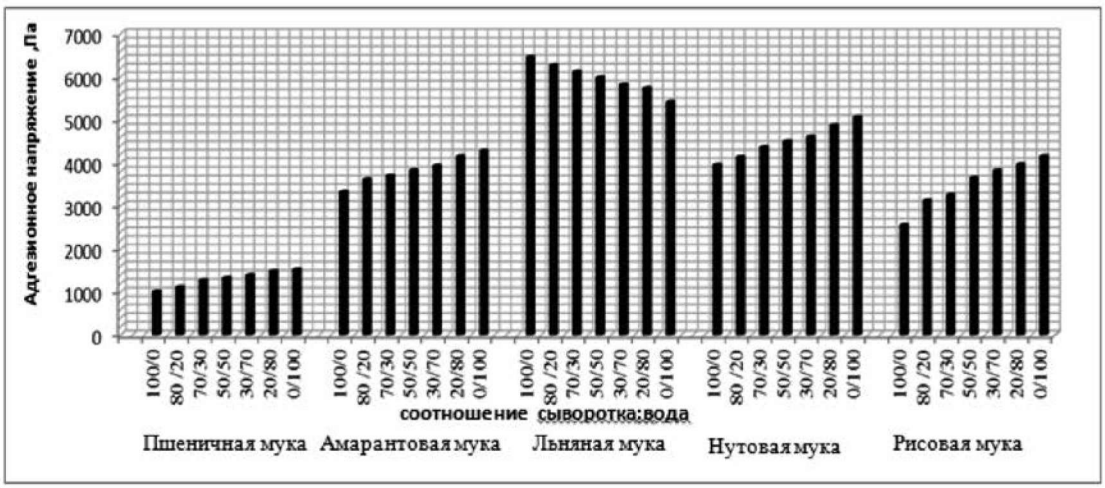

Рис. 8. Адгезионное напряжение модельных тестовых систем

Для безглютеновой модельной тестовой системы из льняной муки наблюдается противоположное явление. Этот факт, по-видимому, связан с отсутствием крахмала, повышенным содержанием жира, водорастворимых пентозанов, способных в тестовой модельной системе без наличия пластифицирующих агентов (в виде молочной сыворотки) образовывать сетчатые структуры с минимальными значениями адгезионного напряжения.

При раскатке пельменного теста и формовании полуфабрикатов большое значение преобретает явление релаксации. Релаксация – свойство систем твердо-жидкой структуры, характеризующее время перехода упругих деформаций в пластические [2, 6]. Для определения релаксации механических напряжений, возникающих на цилиндрическом инденторе при его внедрении в тесто, контролировали изменение продолжительности периода длительной релаксации. При проведении экспериментальных исследований был установлен следующий режим нагружения: усилие касания ($F_к$ = 5 г); скорость внедрения (деформации) ($V_д$ = 0,5 мм/с); усилие нагружения ($F_н$ = 300 г); продолжительность стабилизации положения индентора, после его внедрения в тесто на глубину 5мм (τ = 90 с). Полученные данные представлены на рис. 9.

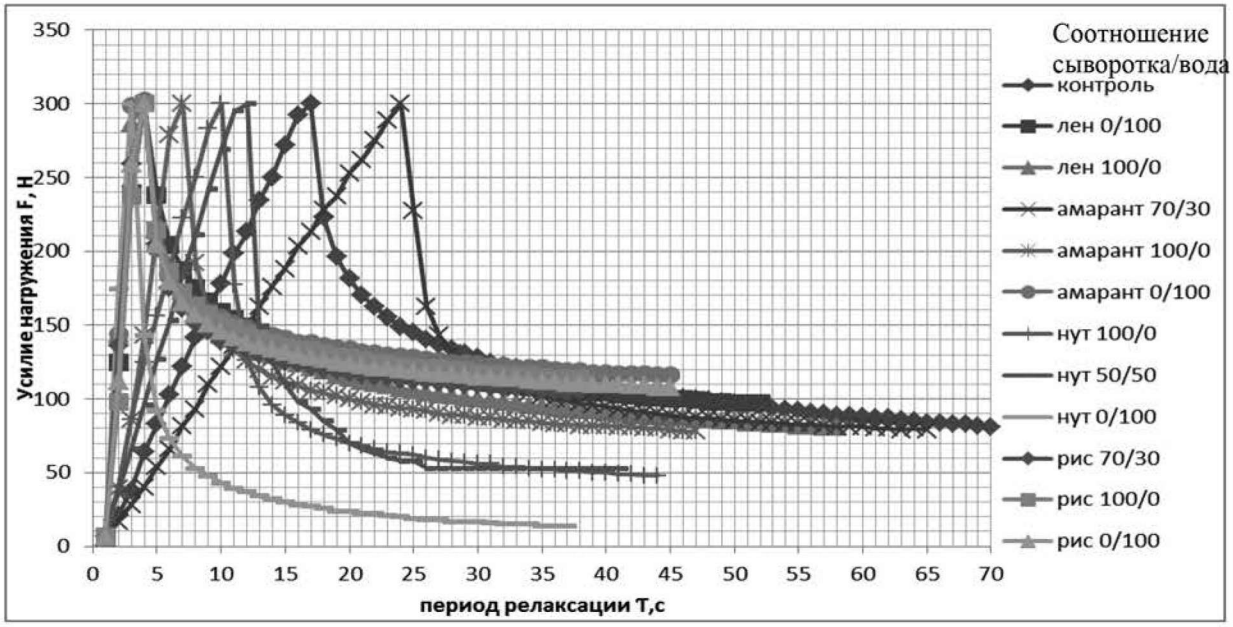

Рис. 9. Диаграмма нагружения модельных тестовых систем в процессе релаксации напряжений

Полученные экспериментальные графические данные можно обосновать тем, что при полной замене воды на сыворотку практически во всех образцах наблюдалось снижение периода релаксации (в частности периода длительной релаксации), быстрым переходом упругих в пластические деформации, снижением модуля упругости. Этот факт, очевидно, связан с изменением числа падения муки и снижением активности амилолитических ферментов. Так, при полной замене в тестовых системах воды на сыворотку наблюдалось увеличение пластических деформаций и одновременное снижение упругих. Замена воды на вторичное молочное сырье при оптимальных значениях, установленных при измерении упруго-пластичных свойств, прямым образом коррелируют с сокращением периода релаксации тестовых структур. Применение молочной сыворотки интенсифицирует процессы созревания теста, в связи с чем сокращаются время и механические затраты на его замес и раскатку с сохранением оптимальных структурно-механических свойств систем [1, 3, 7].

Таким образом, обобщая теоретические и экспериментальные данные, полученные в ходе проведенной работы, выявлена целесообразность применения творожной сыворотки (67 °Т) при производстве безглютенового пельменного теста из муки нетрадиционных видов. Снижение активности амилолитических ферментов и количества продуктов, образованных в процессе гидролиза модельных тестовых систем, уменьшение количества водорастворимых веществ, связывание свободной влаги, интенсификация процессов созревания теста позволяют рекомендовать вторичное молочное сырье при производстве замороженных видов безглютенового теста.

Литература

1. Ауэрман, Л. Я. Технология хлебопекарного производства [Текст] : учебник; под общ. ред. Л. И. Пучковой. 9-е изд., перераб. и доп. СПб.: Профессия, 2002. 416 с.
2. Болтенко Ю. А. Разработка реологических критериев управления свойствами пшеничного теста и качеством хлебобулочных изделий: дис. … канд. техн. наук: 05.18.01 / Юрий Алексеевич Болтенко. М., 2010. С. 40–58.
3. Васюкова А. Т., Пучкова В. Ф. Современные технологии хлебопечения: учебно-практическое пособие. М.: Дашков и Ко, 2008. 224 с.
4. Корячкина С. Я. Новые виды мучных и кондитерских изделий. Научные основы, технологии, рецептуры. 3-е изд., перераб. и доп. Орел: Труд, 2006. 480 с.
5. Кузнецов О. А., Волошин Е. В., Сагитов Р. Ф. Реология пищевых масс: учебное пособие. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. 106 с.
6. Максимов А. С., Черных В. Я. Лабораторный практикум по реологии сырья, полуфабрикатов и готовой продукции хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств. М.: ИК МГУПП, 2004. 163 с.
7. Храмцов А. Г. Феномен молочной сыворотки: монография. СПб.: Профессия, 2011. 804 с.