

УДК 664.292:664.6

UDC 664.292:664.6

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИОПРОТЕКТОРОВ В ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ОТРАСЛИ****USE OF CRIOPROTECTORS IN THE BAKING SECTOR**

Кенийз Надежда Викторовна  
канд техн. наук. старший преподаватель  
РИНЦ SPIN 6140-4114

Keniyz Nadezhda Viktorovna  
Cand.Tech.Sci., senior lecturer  
SPIN 6140-4114

Шледевиц Виктория Петровна  
студентка факультета перерабатывающих  
технологий  
*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия*

Shledevits Viktoria Petrovna  
student of the Faculty of processing technologies  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

Важным компонентом пищевой пирамиды всегда остаются хлебобулочные изделия. Потребители хлебобулочных изделий предпочитают свежее испеченные изделия, в любое время суток, в широком ассортименте, произведенные традиционным способом, обладающие полезными свойствами, гипоаллергенные, а самое главное – вкусные. В России интенсивно развиваются новые технологии, в основе которых лежит замораживание полуфабрикатов хлебобулочного производства. В статье рассмотрена возможность использования пектина по новому назначению, в качестве криопротектора. На первом этапе исследований, проводили работу по изучению влияния различных криопротекторов на реологию теста, водопоглотительную способность теста, изменение времени образования и устойчивости теста при добавлении криопротекторов, изменение валориметрической оценки теста при добавлении криопротекторов. Проведен анализ показателя «сила муки». По результатам исследования рассчитана оптимальная доза внесения пектина. Изучено влияние различных криопротекторов на структуру замороженных полуфабрикатов. Приведены микрофотографии замороженного дрожжевого теста. Выявлено, что наилучшие показатели качества готового хлеба достигаются при использовании ЭМП СВЧ способа размораживания тестовых полуфабрикатов, учитывая энергозатраты, был выбран рациональный способ выпечки. Разработана технологическая схема производства хлеба из замороженных полуфабрикатов с пектином в качестве криопротектора

The main component of food pyramid is bakery products. Consumers of bakery products offer fresh bakery in any time of day, in wide assortment, produced by traditional way and possessing the beneficial properties, hypoallergenic and mainly tasty. In Russia, there is an intensive development of the new technologies, which are based on the freezing of semi-finished bakery. There was considered a possibility of pectin use with a new purpose as a crioprotector in the article. On the first stage of the researches there was a work on study of the influence of different crioprotectors on rheology of dough, dough water-absorbing ability, change of formation time and dough stability at addition of crioprotectors, change of valometric assessment of dough at addition of crioprotectors. There was an analysis of the index of "flour power". On the results of the research, there was calculated the optimal dose of pectin introduction. There was studied the influence of different crioprotectors on structure of frozen by-products. There were cited the microphotos of frozen yeast dough. There was revealed that the best indexes of a quality of ready bread was reached at use of EMP microwave frequency of defrosting dough by-products taking into account energy expenses there was chosen the rational way of baking. There was worked out the technological scheme of bread production from frozen by-products with pectin as a crioprotector

Ключевые слова: КРИОПРОТЕКТОР, ПЕКТИН, ДРОЖЖИ, ТЕСТОВЫЕ ПОЛУФАБРИКАТЫ, ХЛЕБ

Keywords: CRIOPROTECTOR, PECTIN, YEAST, DOUGH BY-PRODUCTS, BREAD

В целях обеспечения населения высококачественной хлебопекарной продукцией возникает необходимость разработки конкурентоспособных, высокоэффективных технологий производства хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов. Технология замораживания полуфабрикатов позволяет иметь их пополняемый запас в широком ассортименте, обеспечить качество и безопасность готовых изделий; сократить долю ручного труда, использовать для мини-пекарен небольшие помещения и минимальный набор оборудования. Из всех технологий наибольшее распространение получила технология замораживания тестовых полуфабрикатов после формования, в которой после холодильного хранения тестовые полуфабрикаты размораживают, расстаивают и выпекают. Однако стадии замораживания, размораживания и расстойки снижают газообразование и выживаемость дрожжевых клеток, ухудшают реологические свойства теста и качество изделий. Поэтому актуально совершенствование данной технологии для производства хлебобулочных изделий из быстрозамороженных тестовых полуфабрикатов [1,2].

Принятие такого решения, обусловлено современным ритмом жизни, в связи с чем у потребителей хлебобулочных изделий возникает, потребность в полуфабрикатах, которые можно приготовить без больших затрат во времени. В экономически развитых странах, использование таких полуфабрикатов, находит все более широкое распространение, об этом свидетельствуют работы зарубежных ученых А. Basaran, Е. А. Elhady, Pablo D. Ribotta, S. M. Van der Sluis [3].

В России интенсивно развиваются новые технологии, в основе которых лежит замораживание полуфабрикатов хлебобулочного производства, быстрее всего они находят применение на малых предприятиях и сегменте HoReCa (отели, рестораны, кафе), так как эти

технологии более гибкие в сравнении с традиционными, что очень удобно для предприятий малой мощности [4].

Производство замороженных полуфабрикатов, позволяет контролировать безопасность и качество продуктов, быстро реагировать на изменения рынка, затраты на транспортировку готовой продукции значительно сокращаются, возможно увеличение сети пекарен, в местах реализации, из-за возможности использования минимального количества оборудования [5].

Однако есть ряд причин, которые препятствуют быстрому внедрению новой прогрессивной технологии в отрасль. Во время замораживания тестовых полуфабрикатов происходит денатурация и агрегация белков, вызывающих потерю функциональных свойств, гибнут дрожжевые клетки вследствие образования кристаллов льда. Так же следует отметить, что при замораживании опары, теста, тестовых заготовок, происходит потеря влаги. Поэтому замораживание опары, теста, тестовых заготовок в технологии хлеба и хлебобулочных изделий, на производстве осуществляться с добавлением различных криопротекторов [6, 7].

Известно использование различных криопротекторов, например как, ферментных препаратов с глюкоамилазой (ФП-ГА) и с гемицеллюлазой (ФП-ГЦ), энзимомодифицированного лецитин «Солек-К-ЕМЛ» или использовании сбивных замороженных полуфабрикатов.

Добавление криопротекторов при замораживании позволяет снизить или предотвратить денатурацию белков. Подтверждением механизма криопротекции низкомолекулярными углеводами, служат исследования J. Park и T. C Lanier. Ими доказано, что добавление сахаров (лактоза и глюкоза) к водному раствору протеинов, приводило к нежелательному самопроизвольному изменению – стабилизации раствора в изоляции от поверхности гидратированного белка. Среди веществ обладающих

свойством влагоудерживающей способности, представляет интерес пектин, который в пищевой промышленности используют в кондитерском производстве, как студнеобразователь. Учитывая комплекс положительных свойств пектина, было принято решение об использовании его по новому назначению, в качестве криопротектора при производстве замороженных полуфабрикатов хлебопекарного производства [8].

**Влияние различных криопротекторов на реологию теста для полуфабрикатов.** Для теста подверженного замораживанию, важными являются три основополагающих фактора: газообразование, газодерживание, реологические свойства теста, т. к. при воздействии низких температур, происходит уменьшение газообразования, снижение газодерживающей способности и уменьшение реологических свойств теста. Для корректировки и сохранения оптимальных данных, перечисленных факторов, используют криопротекторы – вещества одним из свойств которых, является способность удерживать влагу [9, 10, 11].

На первом этапе исследований, проводили работу по изучению влияния различных криопротекторов на реологию теста. Реологические свойства теста с применением криопротекторов, изучали на приборах фаринограф и альвеограф. В эксперименте по влиянию криопротекторов (пектин, сорбит, фруктоза) на физические свойства теста, были включены варианты с внесением криопротекторов в дозировках 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 % к массе муки. Контролем служил образец без внесения добавок. Полученные экспериментальные данные представлены на рисунках 1, 2, 3.

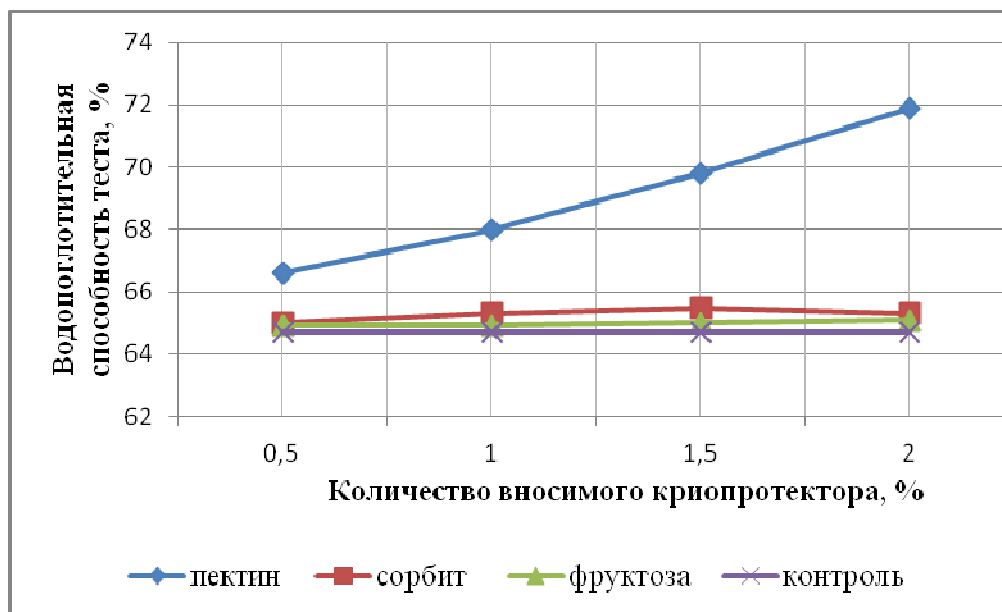


Рисунок 1 - Изменение водопоглощительной способности теста при добавлении криопротекторов

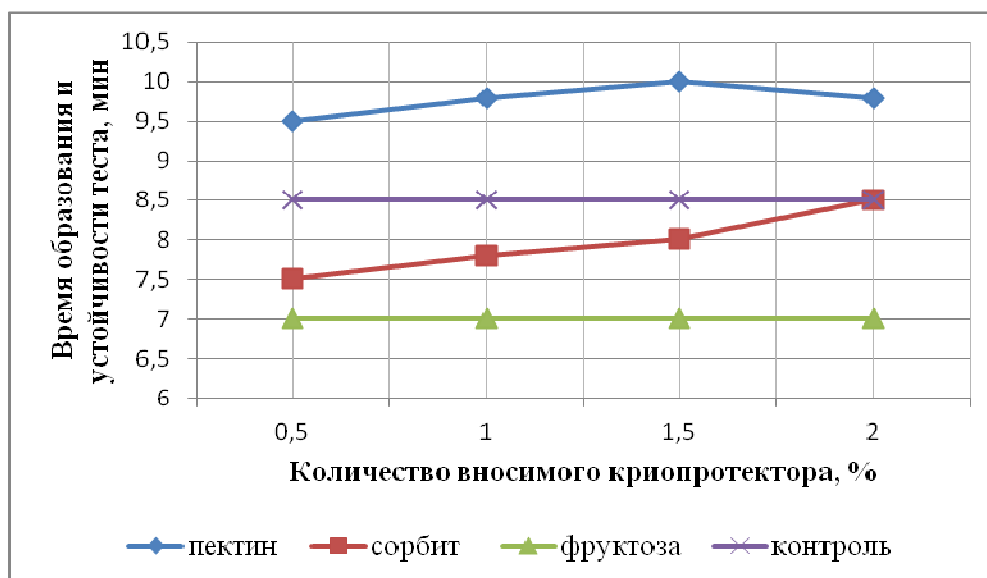


Рисунок 2 - Изменение времени образования и устойчивости теста при добавлении криопротекторов

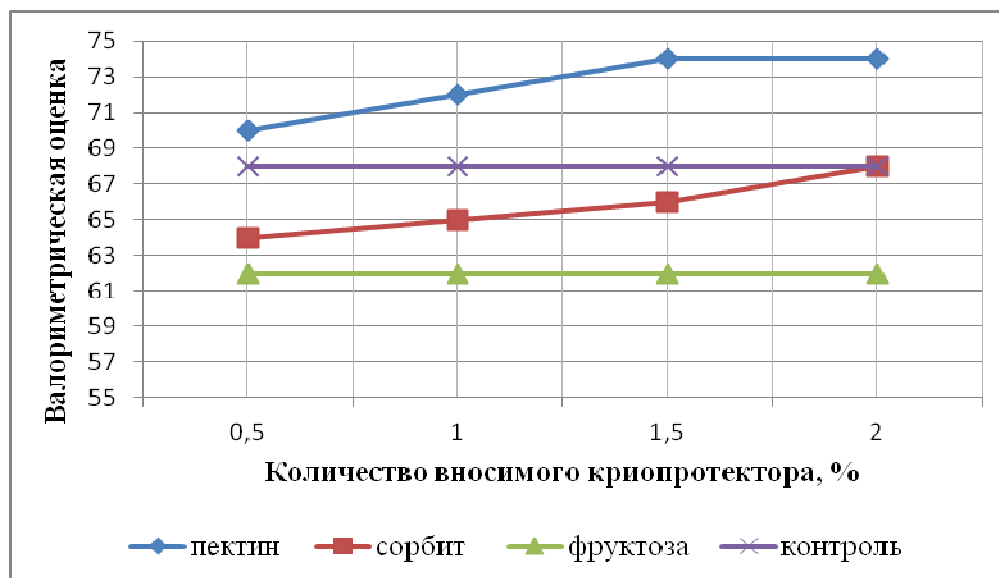


Рисунок 3 - Изменение валориметрической оценки теста при добавлении криопротекторов

Анализ данных показал, что использование пектина при замесе теста, приводит к повышению ВПС (водопоглотительная способность) теста во всех вариантах опытов в сравнении с контролем. Следует отметить, что добавление пектина приводит к увеличению времени замеса теста. Время образования и устойчивость теста, при этом увеличились с 8,5 мин у контроля, до 10 мин при внесении в тесто пектина в дозировке 1,5 %. Валориметрическая оценка во всех вариантах с пектином, была выше в сравнении с контролем на 8 е. в. При внесении сорбита и фруктозы, в таких же дозировках, показатели реологических свойств теста, были ниже в сравнении с вариантом, где вносили пектин во время замеса теста на 8 и 14 е. в. соответственно. Анализ результатов полученных на приборе фаринограф, позволил сделать вывод, что ВПС в вариантах с добавлением пектина увеличивается, благодаря способности карбоксильных групп пектина удерживать воду, что является положительным фактором при замораживании тестовых заготовок. Улучшение структурно-механических свойств теста, связано с укреплением клейковинных каркасов, за счет взаимодействия гидроксильных и свободных карбоксильных групп с аминогруппами клейковинных белков, за счет конформационных

изменений в молекуле белка, приводящих к более «плотной упаковке», а также за счет способности сближения метоксилированных карбоксильных групп в водной среде, с образованием полимерных цепей пектина, что имеет немаловажное значение в технологии замороженных полуфабрикатов.

Основным показателем хлебопекарных свойств муки, является показатель «сила муки», которую определяли на приборе альвеограф. В эксперименте использовались ранее принятые дозировки криопротекторов. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение реологических показателей теста при внесении криопротекторов

Показатель	Значение показателей теста при внесении криопротекторов в дозировке, %				
	Контроль (0)	0,5	1,0	1,5	2,0
<b>Пектин</b>					
Сила муки, е. а.	227	235	245	247	258
Максимальное избыточное давление, мм	71	70	83	95	103
Отношение упругости к растяжимости (P/L)	0,70	0,7	1,01	1,40	1,56
<b>Сорбит</b>					
Сила муки, е. а.	227	221	227	230	231
Максимальное избыточное давление, мм	71	67	67	67	64
Отношение упругости к растяжимости (P/L)	0,70	0,59	0,62	0,62	0,56
<b>Фруктоза</b>					
Сила муки, е. а.	227	199	205	225	207
Максимальное избыточное давление, мм	71	64	64	65	59
Отношение упругости к растяжимости (P/L)	0,70	0,65	0,61	0,57	0,53

Проведенные исследования по изучению пектина, как криопротектора показывают, что он превосходит используемые в настоящее время криопротекторы, такие как фруктоза, сорбит по показателю время образования и устойчивости теста. В случае добавления пектина, разжижение теста наступало на 1,5 мин позже, по сравнению с сорбитом в дозировках 1,0; 1,5 %, а при добавлении фруктозы, в тех же дозировках на 2 и 3 мин. Показатель сила муки был также выше, при добавлении пектина на 18 и 17 е. а. в сравнении с сорбитом и 20, 22 е. а. при добавлении фруктозы. Улучшение реологии теста при добавлении пектина во время замеса, происходит потому, что пектины образуют прочный каркас, благодаря сближению гидрофобных метоксильных групп в водной среде, а свободные карбоксильные группы диссоциируют на ионы, которые на поверхности белка взаимодействуют с группами  $-\text{NH}^{3+}$ , так как пектины представляют собой поверхностно-активные соединения и тем самым улучшают структурно-механические свойства теста.

Так как для теста подверженного замораживанию, важными факторами являются реологические свойства, полученные данные дают основание для дальнейших исследований по изучению его влияния на качество замороженных полуфабрикатов.

**Влияние криопротекторов на структуру замороженных полуфабрикатов.** Методом микроскопирования было установлено, что криопротектор влияет на связывающую способность воды в клетке, в связи, с чем тесто без добавления пектина и с пектином имеет различные физические свойства рисунок 5.



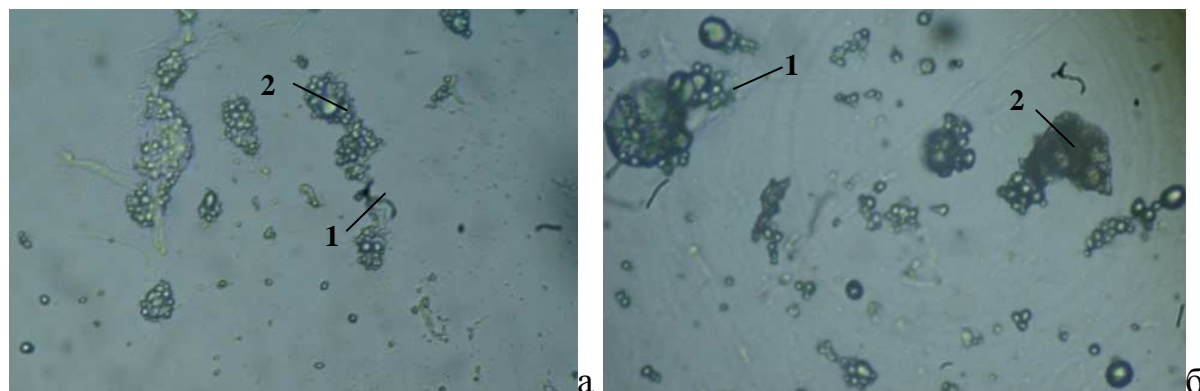


Рисунок 5 - Микрофотографии замороженного дрожжевого теста: а) без внесения криопротектора, б) с добавлением пектина (1 – белок, 2 – крахмальные зерна)

В образце без добавления криопротектора полимерные цепи крахмала и белка представляют собой сжатую уплотненную структуру. При добавлении пектина во время замеса теста, на срезе образца явно видно увеличение полимерных цепей за счет образования белково-полисахаридных комплексов. В работах Р. К. Хосни отмечается, что на стеклование полимерной цепи влияют количество и размер замещающих групп (т. е. боковых цепей). В случае присоединения пектина к полимерным цепям белка и крахмала, его боковые цепи выступают в роли пластификатора и понижают температуру стеклования. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что добавление пектина приводит к образованию белково-полисахаридных комплексов, позволяющих снизить температуру стеклования.

Из литературных источников известно, что увеличение молекулярной массы полимера также снижает температуру стеклования. В наших исследованиях, добавление пектина увеличивает молекулярную массу полимеров и это тоже является положительным фактором при замораживании тестовых полуфабрикатов.

Таким образом, можно сделать заключение, что добавление пектина при замесе теста предназначенного для замораживания позволяет снизить

температуру стеклования, за счет увеличения молекулярной массы полимера, образуя белково-полисахаридные комплексы, кроме того боковые цепи пектина в разветвленной структуре полимера выступают в роли пластификатора и дополнительно понижают температуру стеклования.

**Влияние скорости замораживания на структуру кристаллов льда.** В работе L. J. Naues скорость замораживания, определяется относительно скорости движения фронта замораживания. Этот подход также принят в «Красной книге» Международного института холода.

Скорость замораживания определяет тип, размер и распределение образовавшегося льда, который может быть представлен вне- и внутриклеточным льдом, древовидным или сфералитным льдом (в быстрозамороженных водных растворах), иногда частично ограниченного пищевым матриксом. При использовании очень высоких скоростей охлаждения, можно полностью избежать образования льда, и вместо этого добиться витрификации, до стеклообразного состояния.

Обзорная информация по процессам кристаллизации льда в пищевых продуктах, представлена в работах авторов C. A. Angell, J. M. V. Blanshard, F. Franks, J. Garside. Вследствие трудностей интерпретации результатов измерений доли образовавшегося льда, в сложных пищевых матриксах, большинство исследований проводилось на модельных системах, представлявших собой водные растворы [12, 13].

Более крупные кристаллы льда, образуются при медленном замораживании. Более мелкие кристаллы - при быстром. Какие кристаллы (крупные или мелкие) более предпочтительны, зависит от цели замораживания – при производстве мороженого, кристаллы льда должны быть по возможности, как можно мельче, так как готовый продукт получается более гомогенным, а текстура - более гладкой. Тем не менее, при концентрировании жидких продуктов вымораживанием, крупные

кристаллы льда удобнее отделять от концентрата. Для сублимационной сушки пищевого продукта, желательнее образование небольшого числа крупных кристаллов, это позволяет ускорить последующий процесс сублимации.

На начальном этапе процесса замораживания вода, присутствующая в пищевом продукте, мигрирует и присоединяется к растущим кристаллам льда. При быстром замораживании, растительных или животных тканей, вода сквозь клеточную мембрану не проникает, и внутри клетки образуются мелкие равномерно распределенные кристаллы льда.

Скорость замораживания пищевых продуктов в промышленных условиях, как правило, слишком мала для образования внутриклеточного льда. При медленном замораживании пищевых продуктов, образуются крупные кристаллы льда, которые заполняют межклеточное пространство и вызывают дегидратацию клеток. Кристаллы льда разделяют клетки или тканевые волокна, несмотря на то, что в быстро замороженных пищевых продуктах образуются мелкие кристаллы льда, в результате процесса, называемого рекристаллизацией или созреванием Оствальда, со временем они могут становиться крупнее. При хранении замороженных пищевых продуктов, рекристаллизация происходит вследствие того, что более крупные кристаллы термодинамически более стабильны, благодаря относительно небольшой поверхностной энергии. Температурные градиенты усиливают рекристаллизацию во время замораживания или размораживания продуктов. Температурные колебания, в течении продолжительного холодильного хранения, при транспортировке и хранении в бытовых холодильниках (температура режима размораживания в домашнем холодильнике с опцией «frost-free» может повышаться почти до 0 °С), рекристаллизация также усиливается.

**Влияние криопротекторов на активность дрожжевых клеток при замораживании.** Диапазон температур, которые используются при

замораживании, определяется ингредиентами. Основной компонент, на который можно воздействовать посредством изменения температур – это дрожжи, которые делают тесто и тестовые заготовки воздушными. Также немаловажное значение имеют энзимы, которые играют роль катализатора в биохимических реакциях, они решающим образом способствуют формированию вкуса, цвета и аромата готового изделия. Поэтому помимо выбора подходящего криопротектора, важную роль играют различные температурные режимы замораживания [3, 4].

С целью подбора оптимального температурного режима замораживания, было подвержено замораживанию 16 образцов. Первые 8 образцов (контроль, с добавлением пектина, сорбита, фруктозы) были заморожены при температуре (-18) °С, вторые 8 образцов (контроль, с добавлением пектина, сорбита, фруктозы), были заморожены при температуре (-4) °С, срок хранения их составлял 30 суток. Далее образцы были разморожены в ЭМП СВЧ (выходная мощность: 800 Вт, мощность: 1150 Вт) и в условиях цеха (при температуре 20 оС и относительной влажности воздуха 40 %), после чего методом подсчета микроорганизмов в счетной камере Тома Цейсса, было посчитано количество живых и мертвых дрожжевых клеток.

Поэтому проводились исследования по изучению активности дрожжевых клеток, с различными криопротекторами при различных режимах замораживания (-4); (-18) °С и размораживания в условиях ЭМП СВЧ и в обычных условиях цеха. Подсчитывали количество дрожжевых клеток микроскопированием в камере Тома Цейсса.

Данные экспериментов по подсчету дрожжевых клеток при различных условиях замораживания и размораживания в ЭМП СВЧ и условиях цеха представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Количество дрожжевых клеток в тесте, с различными криопротекторами, приготовленного при различных условиях замораживания и размораживания

Вносимый криопротектор	Содержание в тесте		
	КОЕ (кл/см <sup>3</sup> )	живые дрожжевые клетки, %	мертвые дрожжевые клетки, %
Тесто без замораживания			
Контроль	3,1•10 <sup>9</sup>	95,5	4,5
Пектин	2,98•10 <sup>9</sup>	97,0	3,0
Сорбит	2,28•10 <sup>9</sup>	95,5	4,5
Фруктоза	2,0•10 <sup>9</sup>	86,5	13,5
Замораживание при (-18) °С			
Размораживание в ЭМП СВЧ			
Контроль	1,1•10 <sup>9</sup>	97,5	2,5
Пектин	1,94•10 <sup>9</sup>	98,0	2,0
Сорбит	1,91•10 <sup>9</sup>	96,0	4,0
Фруктоза	1,74•10 <sup>9</sup>	97,0	3,0
Размораживание в условиях цеха			
Контроль	0,78•10 <sup>9</sup>	80,0	20,0
Пектин	2,0•10 <sup>9</sup>	96,0	4,0
Сорбит	1,56•10 <sup>9</sup>	84,0	16,0
Фруктоза	1,4•10 <sup>9</sup>	97,0	3,0
Замораживание при (-4) °С			
Размораживание в ЭМП СВЧ			
Контроль	0,13•10 <sup>9</sup>	95,0	5,0
Пектин	1,68•10 <sup>9</sup>	96,0	4,0
Сорбит	1,32•10 <sup>9</sup>	95,5	4,5
Фруктоза	1,62•10 <sup>9</sup>	98,5	1,5
Размораживание в условиях цеха			
Контроль	0,96•10 <sup>9</sup>	87,0	13,0
Пектин	2,18•10 <sup>9</sup>	97,0	3,0
Сорбит	1,4•10 <sup>9</sup>	94,0	6,0
Фруктоза	0,74•10 <sup>9</sup>	93,0	7,0

Из приведенной таблицы видно, что количество дрожжевых клеток, подверженных замораживанию при различных температурах больше в образце с добавлением пектина, в отличие от образцов с сорбитом, фруктозой и контрольным образцом. При температуре (-4) °С активность дрожжей является максимально низкой, но без вымораживания клеточной воды содержащейся в тесте, так как при температуре до (-7) °С не

происходит энергоинтенсивного перехода из одного агрегатного состояния в другое, активность энзимов сохраняется. При температуре (-18) °С брожение дрожжей полностью прекращается, активность энзимов сильно замедляется, но не прекращается полностью. Температурный режим стоит выбирать в зависимости от срока хранения изделий. Данный опыт был заложен на 30 суток, поэтому количество дрожжевых клеток преобладает в первом опыте, с замораживанием при (-18) °С. В выборе условий для размораживания видно, что размораживание в условиях цеха, является более щадящей для дрожжевых клеток, чем размораживание в ЭМП СВЧ, рисунок 6.

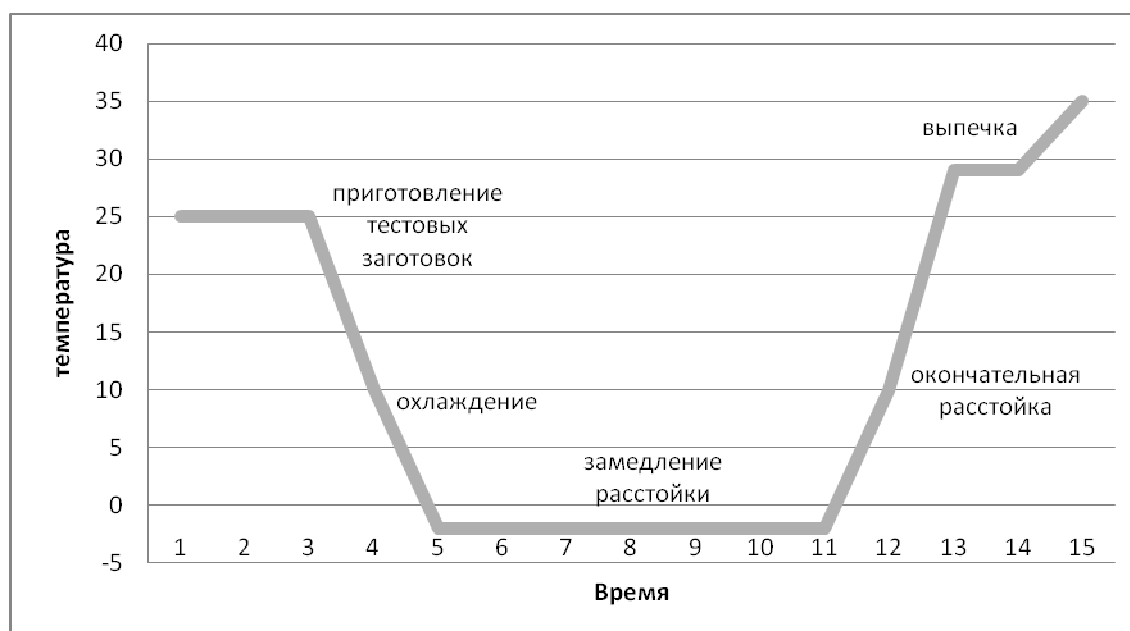


Рисунок 6 - Замедление расстойки тестовых заготовок

Процесс замедления расстойки, позволяет продлить время расстойки, при температуре хранения до (-6) °С. При этом активность дрожжей снижается до минимума, однако не превышает значения энергоинтенсивного порога замораживания. Активность энзимов лишь замедляется, но не прекращается полностью, при таком ведении процесса становится возможным производить хлебобулочные изделия, обладающие

высокими вкусовыми качествами, при сравнительно низких энергозатратах.

Как видно из рисунка 7, прерывание расстойки при температуре до (-18) °С приводит к полной остановке активности дрожжей, в то время как активность энзимов продолжается, но на более низком уровне. Данная технология позволяет хранить изделия более длительное время, что экономически выгодно при производстве маленьких партий выпечки и достаточно широкого ассортимента.

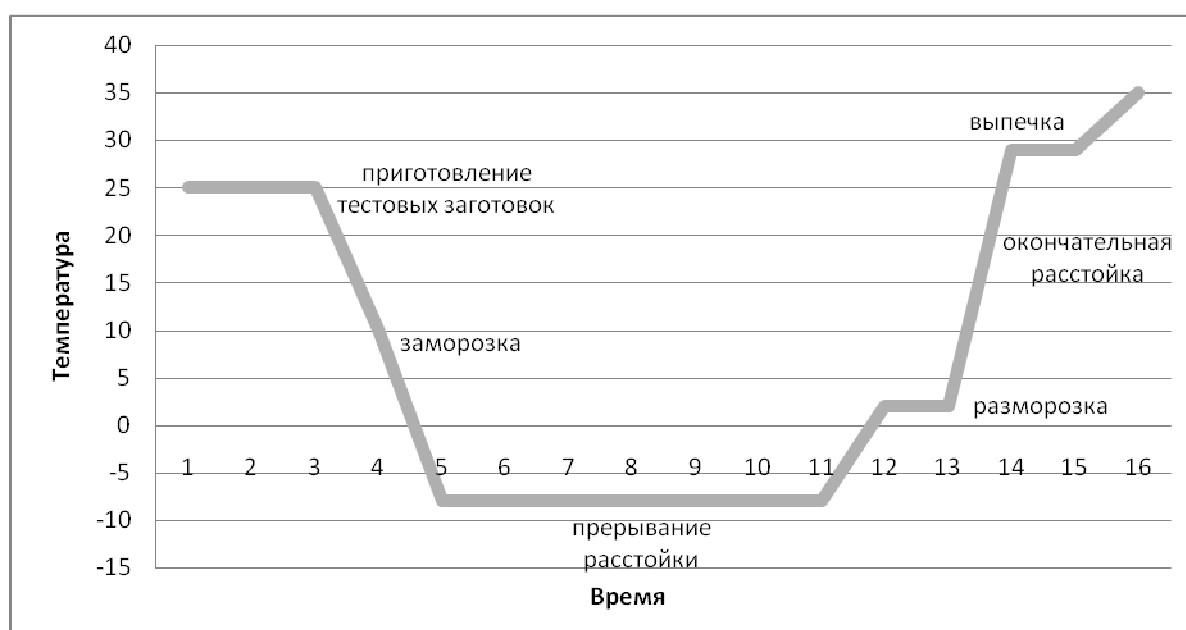


Рисунок 7 - Прерывание расстойки

**Изучение состояния влаги в тесте с криопротекторами, методом ядерно-магнитного резонанса (ЯМР).** Состояние влаги, ее формы и прочность связи со структурными элементами теста, определяли методом ядерного магнитного резонанса (метод спинового эха).

В основе метода ЯМР-спектроскопии лежит определение величины времени протонной магнитной релаксации. Релаксация - это переход между энергетическими состояниями, восстанавливающий обычное больцмановское распределение. Такой переход, как правило, не

сопровождается радиочастотным излучением. Существуют различные типы и механизмы релаксации.

На исследуемое вещество, находящееся в магнитном поле, через определенные промежутки времени накладывают кратковременные электромагнитные импульсы в области резонансного поглощения, а в приемной катушке появляется сигнал спинового эха, максимальная амплитуда которого связана со временем перехода ядра водорода из возбужденного состояния, в нормальное. Время протонной магнитной релаксации позволяет судить о подвижности молекул воды в исследуемом образце.

При поглощении ядром кванта электромагнитного излучения оно переходит на более высокий энергетический уровень - т.е. имеет место поглощение излучения, которое регистрируется ЯМР-спектрометром. Поглощение электромагнитного излучения происходит не точно при определенной частоте, а в пределах некоторого интервала частот – т.е. реальные линии поглощения в спектрах ЯМР являются уширенными.

Выявление лучшего криопротектора проводили на ЯМР-анализаторе, по характеристикам водосвязывающей и водоудерживающей способности вещества. Исследования по изучению водопоглотительной способности теста, были спланированы в различных вариантах: после замеса, через 15 мин и через 30 мин после замеса. В каждом варианте исследовались по четыре образца: контроль, с добавлением пектина, сорбита и фруктозы в количестве 1,5 % к массе муки. Графическая интерпретация данных водопоглотительной и водосвязывающей способности теста после замеса, представлена на рисунке 8.



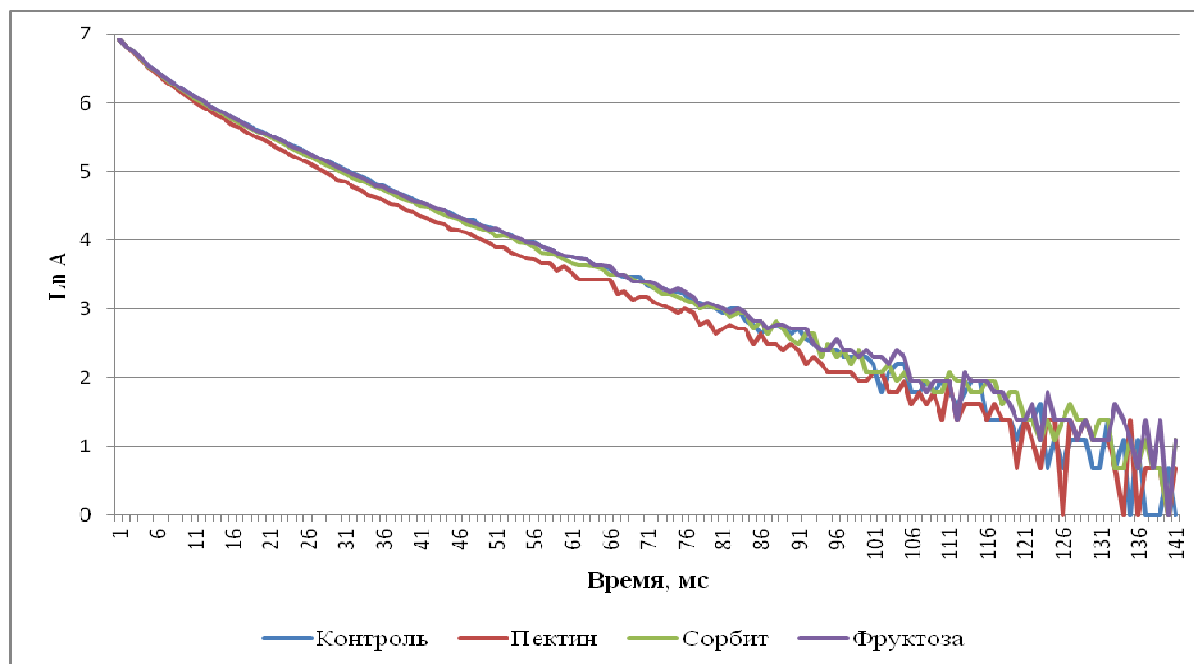


Рисунок 8 - Водопоглотительная и водосвязывающая способность теста после замеса с добавлением пектина, сорбита, фруктозы в количестве 1,5 % к массе муки

На основании анализа характера зависимостей спадов интегральной интенсивности протонов воды, в исследуемых образцах определяли группы протонов воды с различными значениями времени спин-спиновой релаксации:  $T_{21} = 0,1 - 10$  мс ( $W_1$ ),  $T_{22} = 10 - 125$  мс ( $W_2$ ),  $T_{23} = 125 - 500$  мс ( $W_3$ ), которые рассматривали как фракции влаги с различной прочностью связи. Выделенные формы связи влаги в исследуемых образцах были охарактеризованы как  $W_1$  – осмотически удерживаемая, связанная влага,  $W_2$  – влага слабосвязанная полезная (обеспечивает оптимальную консистенцию теста),  $W_3$  – влага слабосвязанная избыточная (которая при понижении температуры образует кристаллы).

Из рисунка 8 видно, что поглощение воды, в тесте с добавлением пектина, проходило интенсивнее в сравнении с контролем и другими криопротекторами.  $W_3$  – влага слабосвязанная избыточная (которая при понижении температуры образует кристаллы) в случае добавления пектина отсутствует.

Полученные результаты доказывают, что пектин, внесенный в тесто, в количестве 1,5 % к массе муки, обладает лучшей водоудерживающей и водосвязывающей способностью. Следовательно, по сравнению с другими криопротекторами, пектин имеет преимущества, так как влага в связанном состоянии препятствует образованию кристаллов льда, что предотвращает гибель дрожжевых клеток.

**Влияние условий размораживания на качество замороженных тестовых полуфабрикатов.** При проведении эксперимента, по влиянию условий размораживания полуфабрикатов из дрожжевого теста, были заморожены 8 образцов, без предварительной расстойки тестовых заготовок по 2 образца: контрольный, с добавлением пектина, с сорбитом и с фруктозой, с дозировкой 1,5 % к массе муки. Размораживание образцов проводили в условиях цеха и в условиях ЭМП СВЧ.

Следует отметить, что при размораживании в ЭМП СВЧ в тесте с добавлением пектина, процесс брожения начался быстрее и интенсивнее, о чем судили по увеличению объема тестовой заготовки, по сравнению с другими образцами, присутствующими в эксперименте. Процесс расстойки сократился в 2,5 раза, по сравнению с размораживанием таких же образцов, в условиях цеха, рисунок 9.

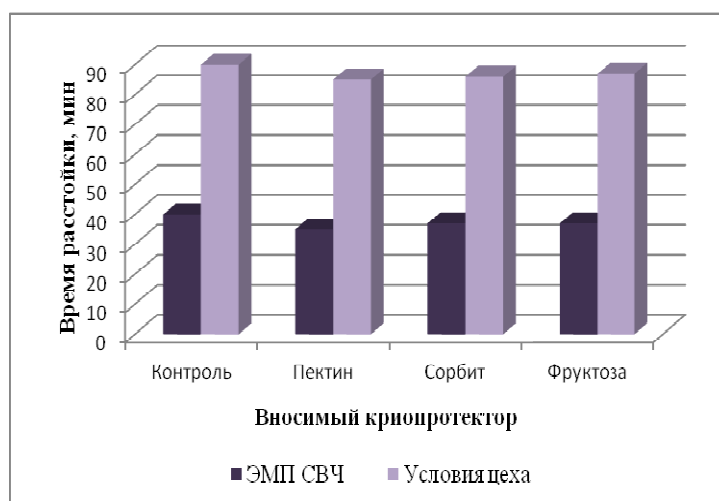


Рисунок 9 - Влияние размораживания тестовых полуфабрикатов на длительность расстойки

Полученный результат, можно объяснить изменениями в структуре крахмальных зерен под действием обработки ЭМП СВЧ. При постепенном нагревании тестовой заготовки за счет повышения его атакваемости ферментами происходит гидролиз крахмала, повышается сахаробразующая способность и как следствие повышение газообразующей способности теста.

Расстоявшиеся тестовые заготовки выпекали в печи «Муссон-ротор» модель 33. В готовых изделиях проводилась оценка физико-химических показателей качества, таблица 3.

Таблица 3 - Физико-химические показатели качества хлеба

Наименование показателя	Значение показателей при размораживании в							
	ЭМП СВЧ				условиях цеха			
	Контроль	Криопротектор			Контроль	Криопротектор		
пектин		сорбит	фруктоза	пектин		сорбит	фруктоза	
Влажность мякиша, %	42,4	43,0	43,5	42,3	41,6	40,0	40,5	41,5
Кислотность мякиша, град	1,4	1,6	1,4	1,6	1,4	1,6	1,4	1,4
Пористость мякиша, %	77,1	81,4	78,6	77,0	77,4	78,2	73,8	74,8

Образцы хлеба с добавлением пектина при замесе теста, замораживании при температуре (-18) °С и размораживании в ЭМП СВЧ, во всех вариантах эксперимента по физико-химическим показателям были в пределах норм ГОСТ Р 52462-2005. При размораживании в условиях цеха эти показатели отличались незначительно от требований стандарта.

**Выбор рационального режима для выпечки хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов.** При выборе наиболее рационального температурного режима, для выпечки хлеба из замороженных полуфабрикатов, были спланированы два варианта: первый с постепенным повышением температуры до 220 °С при начальной

температуре 180 °С, второй с предварительной обжаркой при температурах 250 °С и дальнейшим снижением температуры до 220 °С, рисунок 10.

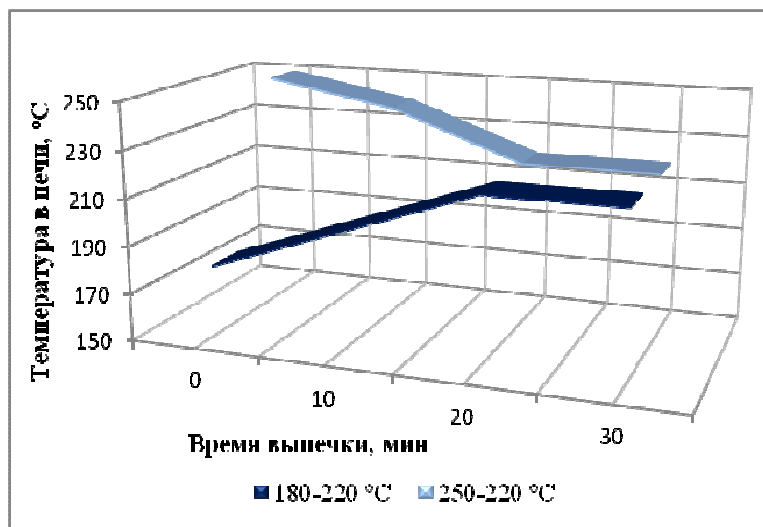


Рисунок 10 - Изменение температуры при различных вариантах выпечки

Во втором варианте выпечки, при температуре 250 °С, с последующим снижением температуры до 220 °С, органолептические показатели качества хлеба были выше на 1 балл, чем в первом варианте. Органолептическую оценку качества хлеба проводили по бальной шкале предложенной И. И. Василенко РАСХН. Общая хлебопекарная оценка была 28 баллов в первом варианте и 29 баллов во втором варианте. С учетом энергозатрат, был выбран вариант с температурой выпечки 180-220 °С. Таким образом, можно сделать заключение, что предлагаемая технология хлеба, приготовленного из замороженных полуфабрикатов с пектином, размороженных в условиях ЭМП СВЧ и выпеченных при температуре 180-220 °С, может быть рекомендована для сектора рынка NoReCa и для производства в сетях быстрого питания.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили, с использованием программ Statistika 6.0. В результате было получено уравнение регрессии, описывающее взаимосвязь пористости хлеба с дозировкой пектина и водопоглотительной способностью теста.

После исключения незначимых членов получили уравнения регрессии, адекватность которых проверяли по критерию Стьюдента, уровень значимости - 0,05.

Графическая интерпретация полученной зависимости представлена на рисунке 11.

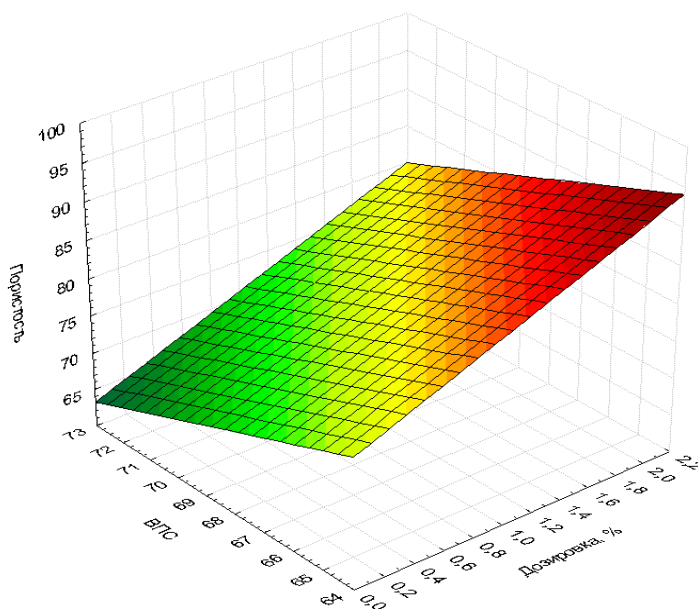


Рисунок 11 - Взаимосвязь показателя пористость хлеба от факторов:

а) дозировка пектина, б) ВПС

$$y_n = 177,76 + 7,58x_1 - 1,57x_2,$$

$Y_n$  – пористость;

$X_1$ , - дозировка пектина;

$X_2$  - водопоглотительная способность теста.

Коэффициент множественной детерминации  $R^2$  – 0,905.

На основании проведенных исследований разработана технология хлеба «Зимний», на основе замороженных полуфабрикатов с использованием пектина в качестве криопротектора, на который разработана техническая документация ТУ 9114-142-0493202-13, ТИ и РЦ.

### **Основные выводы и результаты работы**

Проведены комплексные исследования по изучению криопротекторных свойств пектина и его возможности использования в

технологии замороженных полуфабрикатов, на основе которых разработана технология хлеба с учетом способов замораживания, размораживания и выпечки хлеба. На основании проведенных исследований, сделаны следующие выводы:

1. Научно обоснованы и даны практические рекомендации по применению пектина в качестве криопротектора в технологии хлеба из замороженных полуфабрикатов.

2. Показано, что замораживание теста с пектином при температуре (-18) °С и при размораживании с использованием ЭМП СВЧ способа, являются более благоприятными условиями для активности и жизнедеятельности дрожжевых клеток, в этом случае отмечено 98 % живых клеток, против 80 % в полуфабрикате без пектина.

3. Установлено на приборе ЯМР-анализаторе, что при замесе теста с пектином в дозировке 1,5 % к массе муки происходит интенсивное связывание воды, после замеса теста, что подтверждается отсутствием в образце с пектином влаги  $W_3$  – (слабосвязанная, избыточная), которая при понижении температуры образует кристаллы.

4. Выявлено, что наилучшие показатели качества готового хлеба достигаются при использовании ЭМП СВЧ способа размораживания тестовых полуфабрикатов, учитывая энергозатраты, был выбран рациональный способ выпечки с начальной температурой 180 °С и допеканием при температуре 220 °С, пористость хлеба в этом случае была 78,2 %.

5. Методом математического моделирования определена оптимальная дозировка пектина, 1,5 % к массе муки, для замороженных полуфабрикатов, получены уравнения зависимости пористости хлеба от дозировки криопротектора и физических свойств теста (сила муки, показатель P/L, ВПС, валориметрическая оценка), позволяющие

прогнозировать и регулировать реологические свойства теста для замороженных полуфабрикатов.

6. Разработана технологическая схема производства хлеба из замороженных полуфабрикатов с пектином в качестве криопротектора, пакет технической документации на хлеб «Зимний» (ТУ 9114-142-0493202-13) из замороженных полуфабрикатов. Ожидаемый экономический эффект от продажи 1 тыс. т хлеба произведенного из замороженных полуфабрикатов с использованием пектина в качестве криопротектора составит 2,5 млн р.

### Литература:

1. Кенийз, Н. В. Технология производства хлеба из замороженных полуфабрикатов с использованием пектина в качестве криопротектора / Н. В. Кенийз, Н. В. Сокол // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2011. – № 2-2. – С. 92-94.

2. Кенийз Н. В. Влияние технологических параметров на производство хлебобулочных полуфабрикатов [Текст] / Н. В. Кенийз // Молодой ученый. – 2014. – №10. – С. 150-153.

3. Кенийз Н. В. Технология замороженных полуфабрикатов с применением криопротекторов / Н. В. Кенийз, Н. В. Сокол. – Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. – 129 с.

4. Кенийз Н.В. Разработка технологии хлеба из замороженных полуфабрикатов с использованием пектина в качестве криопротектора: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Кенийз Надежда Викторовна. – Воронеж, 2013. – 163 с.

5. Кенийз, Н. В. Процесс замораживания хлебобулочных полуфабрикатов с добавлением криопротекторов и его влияние на структуру замороженных полуфабрикатов [Текст] / Н. В. Кенийз, Н. В. Сокол // Молодой ученый. – 2014. – №5. – С. 67-70.

6. Кенийз Н. В. Влияние различных криопротекторов на реологию теста для полуфабрикатов [Текст] / Н. В. Кенийз, Н. В. Сокол // Молодой ученый. – 2014. – №10. – С. 147-150.

7. Кенийз Н. В. Влияние криопротекторов на активность дрожжевых клеток при замораживании хлебобулочных полуфабрикатов / Н. В. Кенийз, А. А. Пархоменко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №07(101). С. 1172 – 1179. – IDA [article ID]: 1011407076. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/76.pdf>, 0,5 у.п.л.

8. Кенийз, Н. В. Разработка технологии хлебобулочных полуфабрикатов с применением криопротектора / Н. В. Кенийз, Н. В. Сокол // Новые технологии. – 2013. – № 1. – С. 19-24.

9. Кенийз, Н. В. Влияние пектина как криопротектора на водопоглотительную способность теста и дрожжевые клетки / Н. В. Кенийз // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 3. № 29. – С. 67-69.

10. Кенийз, Н. В. Изучение состояния влаги в тесте с криопротекторами, методом ядерно-магнитного резонанса / Н. В. Кенийз, Н. В. Сокол // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №04(098). С. 1254 – 1260. – IDA [article ID]: 0981404090. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/90.pdf>, 0,438 у.п.л.

11. Кенийз, Н. В. Определение содержание свободной и связанной влаги в тесте с добавлением криопротекторов [Текст] / Н. В. Кенийз // Молодой ученый. – 2014. – №4. – С. 187-189.

12. Кенийз, Н. В. Влияние дефростации в технологии хлеба из замороженных полуфабрикатов на качество готового продукта / Н. В. Кенийз, Н. В. Сокол // Вестник НГИЭИ. – 2011. – Т. 2. № 2 (3). – С. 92-101.

13. Kenijz, N. V. Pectic substances and their functional role in bread-making from frozen semi-finished products / N. V. Kenijz, N. V. Sokol // European Online Journal of Natural and Social Sciences. – 2013. – Т. 2. № 2. – С. 253- 261.

### References:

1. Kenijz, N. V. Tehnologija proizvodstva hleba iz zamorozhennyh polufabrikatov s ispol'zovaniem pektina v kachestve krioprotektora / N. V. Kenijz, N. V. Sokol // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – № 2-2. – S. 92-94.

2. Kenijz N. V. Vlijanie tehnologicheskikh parametrov na proizvodstvo hlebobulochnyh polufabrikatov [Tekst] / N. V. Kenijz // Molodoj uchenyj. – 2014. – №10. – S. 150-153.

3. Kenijz N. V. Tehnologija zamorozhennyh polufabrikatov s primeneniem krioprotektorov / N. V. Kenijz, N. V. Sokol. – Saarbrjukken: Palmarium Academic Pudlishing, 2014. – 129 s.

4. Kenijz N.V. Razrabotka tehnologii hleba iz zamorozhennyh polufabrikatov s ispol'zovaniem pektina v kachestve krioprotektora: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.18.01 / Kenijz Nadezhda Viktorovna. – Voronezh, 2013. – 163 s.

5. Kenijz, N. V. Process zamorazhivaniya hlebobulochnyh polufabrikatov s dobavleniem krioprotektorov i ego vlijanie na strukturu zamorozhennyh polufabrikatov [Tekst] / N. V. Kenijz, N. V. Sokol // Molodoj uchenyj. – 2014. – №5. – S. 67-70.

6. Kenijz N. V. Vlijanie razlichnyh krioprotektorov na reologiju testa dlja polufabrikatov [Tekst] / N. V. Kenijz, N. V. Sokol // Molodoj uchenyj. – 2014. – №10. – S. 147-150.

7. Kenijz N. V. Vlijanie krioprotektorov na aktivnost' drozhzhevyh kletok pri zamorazhivanii hlebobulochnyh polufabrikatov / N. V. Kenijz, A. A. Parhomenko // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №07(101). S. 1172 – 1179. – IDA [article ID]: 1011407076. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/76.pdf>, 0,5 u.p.l.

8. Kenijz, N. V. Razrabotka tehnologii hlebobulochnyh polufabrikatov s primeneniem krioprotektora / N. V. Kenijz, N. V. Sokol // Novye tehnologii. – 2013. – № 1. – S. 19-24.

9. Kenijz, N. V. Vlijanie pektina kak krioprotektora na vodopoglotitel'nuju sposobnost' testa i drozhzhevye kletki / N. V. Kenijz // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – Т. 3. № 29. – S. 67-69.

10. Kenijz, N. V. Izuchenie sostojaniya vlagi v teste s krioprotektorami, metodom jaderno-magnitnogo rezonansa / N. V. Kenijz, N. V. Sokol // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. –



№04(098). S. 1254 – 1260. – IDA [article ID]: 0981404090. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/90.pdf>, 0,438 u.p.l.

11. Kenijz, N. V. Opredelenie sodержanie svobodnoj i svjazannoj vlagi v teste s dobavleniem krioprotektorov [Tekst] / N. V. Kenijz // Molodoj uchenyj. – 2014. – №4. – S. 187-189.

12. Kenijz, N. V. Vlijanie defrostacii v tehnologii hleba iz zamorozhennyh polufabrikatov na kachestvo gotovogo produkta / N. V. Kenijz, N. V. Sokol // Vestnik NGIJeI. – 2011. – T. 2. № 2 (3). – S. 92-101.

13. Kenijz, N. V. Pectic substances and their functional role in bread-making from frozen semi-finished products / N. V. Kenijz, N. V. Sokol // European Online Journal of Natural and Social Sciences. – 2013. – T. 2. № 2. – C. 253- 261.