

УДК 664.683.61

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕКСОВ ПОНИЖЕННОЙ КАЛОРИЙНОСТИ

*З.В. Василенко, Н.Н. Курилович, Т.И. Пискун,
П.А. Ромашихин, Т.Н. Болашенко*

Исследованы реологические характеристики кексов пониженной калорийности. Изучено деформационное поведение, охарактеризована их относительная деформация, время релаксации и ползучесть в зависимости от рецептурного состава.

Введение

Большую озабоченность в обществе вызывают проблемы здоровья, непосредственно связанные с неправильным питанием. Снижение физической активности и превышение суммарной калорийности потребляемой пищи над энергетическими затратами организма являются главными причинами появления избыточного веса и, как следствие, ожирения, что в свою очередь приводит к артериальной гипертензии, нарушению обмена веществ и другим более сложным заболеваниям [1–2]. Расчеты показывают, что 100 г мучных кондитерских изделий, в частности, кексов обеспечивает около 20% суточной потребности организма в энергии [3]. Учитывая, что данные виды изделий пользуются повышенным спросом у населения и являются продуктом регулярного потребления в пищу, снижение их калорийности, приведение рецептур в соответствие с требованиями правильного питания является важной задачей. Однако потребитель весьма консервативен в выборе продуктов питания, поэтому снижение калорийности необходимо осуществлять при условии сохранения традиционных потребительских характеристик. Поэтому целью нашей работы явилось исследование реологических характеристик выпеченных кексов пониженной калорийности, определение параметров основных свойств, необходимых для оценки качества изделий в сравнении с традиционными. Кроме того, исследование структурно-механических характеристик выпеченных изделий имеет важное значение для управления процессом тестоведения, получения готового продукта высокого качества, а также прогнозирования изменения показателей качества в процессе хранения. [4].

Результаты исследований и их обсуждение

Поскольку всякое изменение рецептуры неизбежно влияет на консистенцию полуфабриката и готового продукта, считали целесообразным исследовать реологические свойства выпеченных кексов с целью характеристики их деформационного поведения, что позволяет прогнозировать и контролировать качество готовой продукции в процессе производства, транспортирования, реализации и хранения.

В качестве исследуемого материала в работе использовали: образец 1 – кекс «Экстра», приготовленный по традиционной рецептуре (контрольный образец); образец 2 – кекс, приготовленный с заменой (50%) рецептурного количества сливочного масла на эмульсию 65%-й жирности; образец 3 – кекс, приготовленный с заменой (50%) рецептурного количества сливочного масла на эмульсию 40%-й жирности; образец 4 – кекс, приготовленный со 100% заменой сливочного масла на эмульсию 65%-й жирности.

Для проведения испытаний образцы кексов выпекали диаметром 60 мм, высотой 30 мм. На подготовленные образцы помещали легкую пластину из алюминиевого сплава незначительного веса, с впаянной вертикально тонкой иглой. Пластинку нагружали последовательно грузами, получая при этом кривые деформирования. Величину деформаций измеряли с помощью оптического катетромметра В-630, точность измерения которого составляла 0,001 мм. О деформациях судили по величине опускания или подъема кончика иглы. При этом был исключен любой контакт образцов и захватных устройств измерения деформаций, что позволило получить точные экспериментальные данные при построении кривых деформирования.

Нагружение выпеченных образцов проводили путем последовательного нагружения пластин, при этом уровень напряжений изменялся в пределах 0,001 МПа.

Для аналитического описания течения материалов (вязкопластической и пластической деформации) главными физическими величинами являются модули упругости E_δ и G , которые позволяют характеризовать сопротивления материала воздействию внешних нагрузок. Поэтому, в данной работе были определены значения этих величин, которые могут быть использованы в дальнейших исследованиях по данной тематике.

Относительные деформации ϵ определяли как отношение $\Delta L/L_0$,

где Δl – удлинение, определяемое по катетометру, мм;

l_0 – первоначальная длина образца, мм.

На основании полученных экспериментальных данных были построены реологические кривые (диаграммы деформирования), которые представлены на рисунке 1.

Нагружение исследуемых образцов проводили до получения их деформации 25–35%, доводя максимальное сжимающее напряжение до уровня 0,006 МПа. Довести образцы до разрушения не удалось, ибо даже при уровне напряжений около 1 МПа образцы не разрушались, пластическое течение проходило вплоть до этого уровня напряжений, а относительная деформация составляла 120–130%.

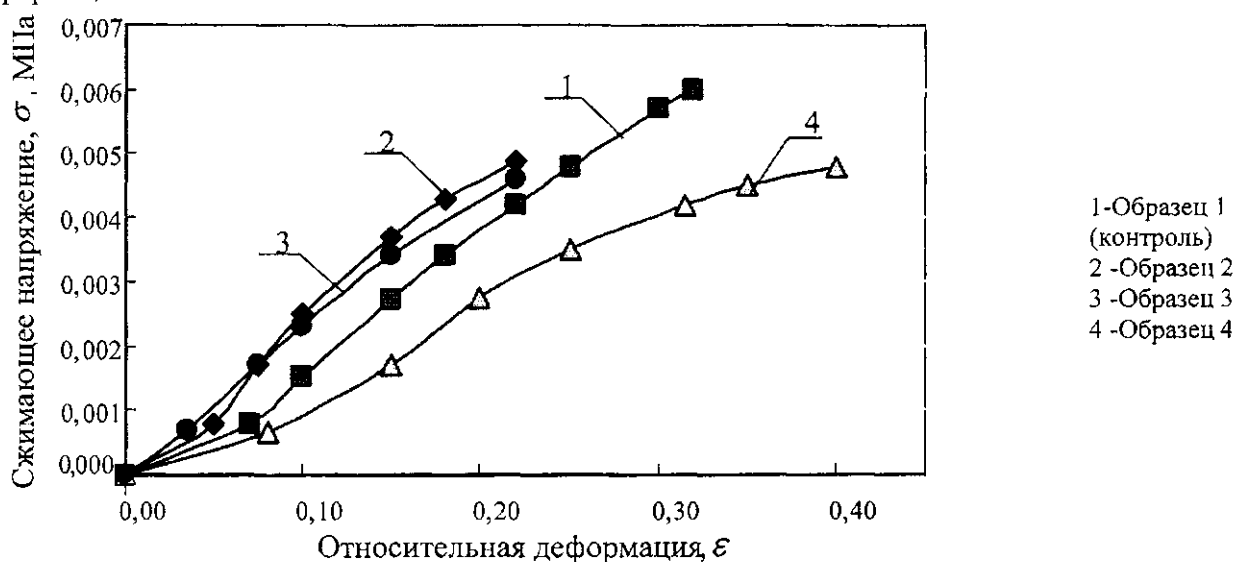


Рисунок 1 – Кривые деформирования выпеченных кексов

На кривых деформирования можно выделить три участка для каждого исследуемого образца. На первом участке наблюдается заметный рост деформаций даже при небольшом уровне напряжений. Затем материал упрочняется и наблюдается почти линейная зависимость деформирования. На третьем участке кривые имеют более пологий характер. На участке с относительно небольшими пластическими деформациями формально можно написать, что полная деформация на диаграмме равна:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E_\delta}, \tag{1}$$

где E_δ – секущий модуль, МПа,

σ – напряжение, МПа.

На начальном участке нагружения для контрольного образца (кривая 1), $E_\delta = 0,015$ МПа, а на участке стабилизации $E_\delta = 0,018$ МПа. С физической точки зрения соотношение (1) не является законным, так как упругая и пластическая деформации имеют различную природу.

С ростом пластической деформации коэффициент поперечной деформации должен постепенно приближаться к 0,5, так как именно эта величина отвечает условию постоянства объема. Поэтому секущий модуль сдвига G можно определить по формуле [5]:

$$G = \frac{E\delta}{3} \quad (2)$$

Для контрольного образца на первом участке деформирования $G=0,005$ МПа, на втором участке $G=0,006$ МПа.

Наибольшей прочностью обладают образцы кексов 2 и 3, приготовленных с частичной заменой сливочного масла на эмульсию (позиция 2 и 3 на рисунке 1). Эти образцы для одного и того же уровня напряжений, равного 0,006 МПа, обладают наименьшей текучестью по сравнению с другими опытными образцами, достигая значение ε равно 0,22, а контрольный образец достигает уровня деформации 0,32.

Наибольшей текучестью обладает образец 4 (кривая 4 на рисунке 1), достигая уровня деформации $\varepsilon=0,45-0,5$ при $G=0,006$ МПа.

В соответствии с литературными данными в исследуемых материалах предполагалось наличие всех четырех видов деформации [6,7,8] – мгновенноупругой $\varepsilon^{i\delta}$, мгновеннопластической $\varepsilon^{i\prime}$, вязкоупругой ε^{ob} , вязкопластической ε^{st} .

Для определения мгновенноупругой и вязкоупругой деформаций нагружали образцы до различных уровней нагружения, измерив при этом полную деформацию, затем быстро снимали нагрузку, определяя при этом мгновенноупругую и вязкоупругую деформации и время восстановления (релаксации). Установить заметное наличие мгновенноупругой деформации не удалось. Поэтому определялась только вязкоупругая деформация. Время релаксации составляло 20–22 с у образцов 1, 2 и 10–12 с у образца 4.

Кривые обратного последействия представлены на рисунках 2, 3, 4, где σ_0 – фиксированное напряжение.

Из данных, представленных на рисунках 2–4, следует, что доля вязкоупругой деформации от полной накопленной для данного уровня напряжений деформации составляла 30% для образца 1 (рисунок 2), 40% для образца 2 (рисунок 3), 28% для образца 4 (рисунок 4).

Одновременно в работе представляло интерес исследовать изменение деформации во времени при фиксированных напряжениях (ползучесть материала).

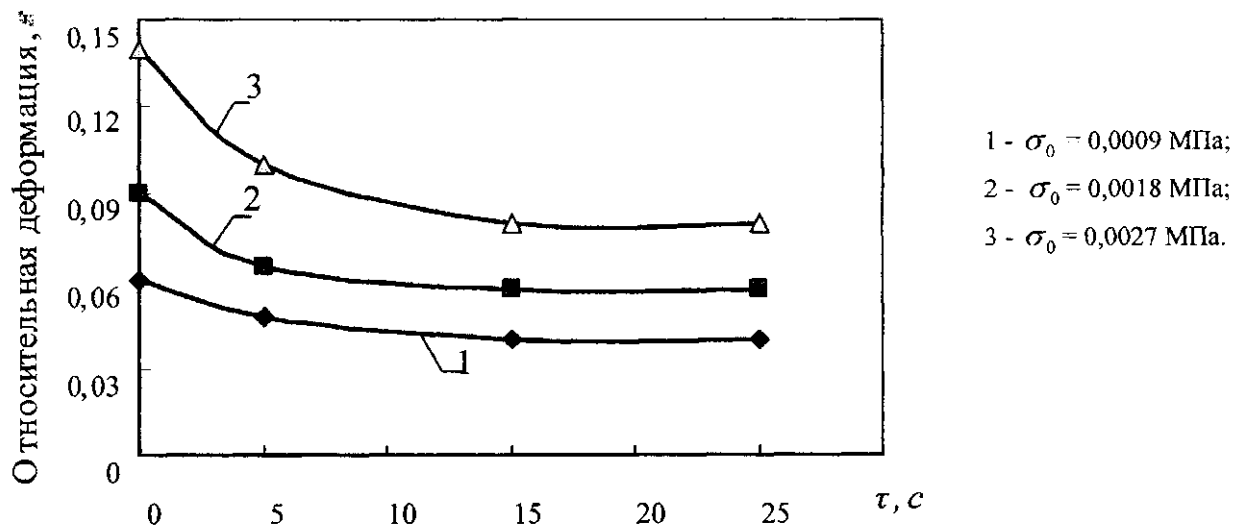


Рисунок 2 – Кривые обратного последействия для кекса, приготовленного по традиционной рецептуре

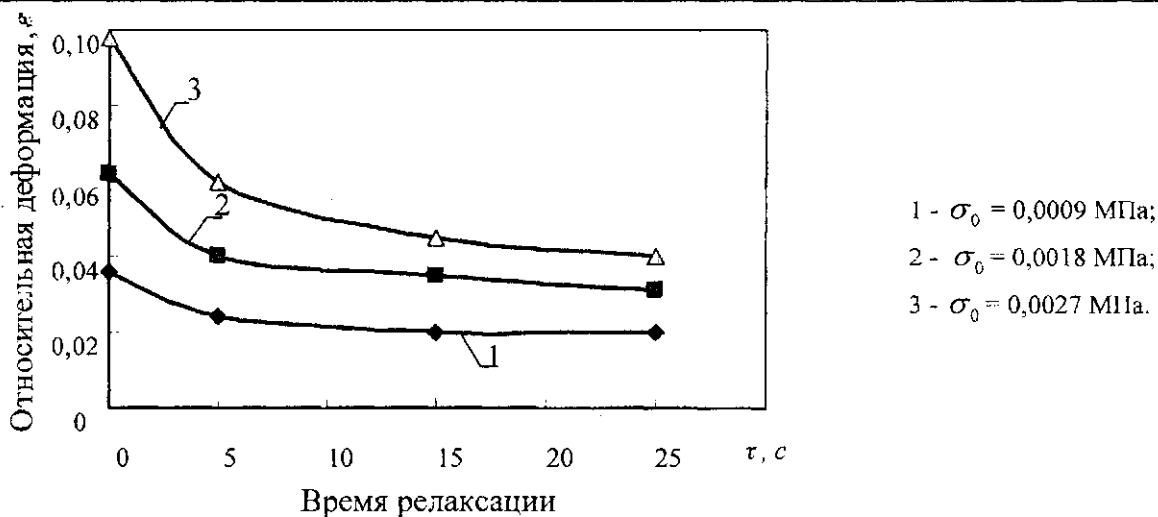


Рисунок 3 – Кривые обратного последействия для кекса, приготовленного с замной (50%) рецептурного количества сливочного масла на эмульсию 65%-й жирности

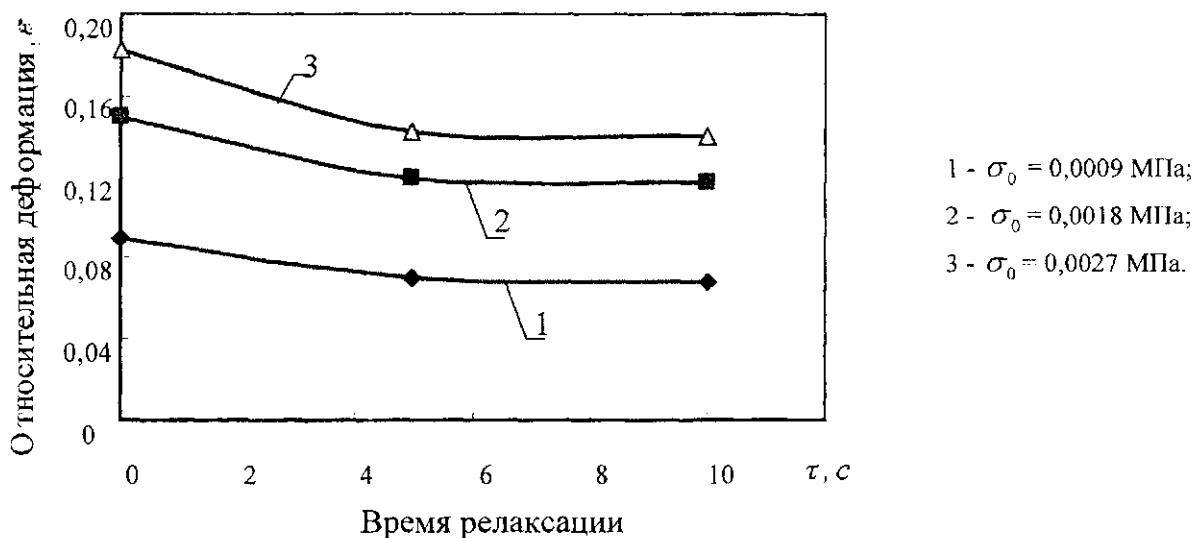
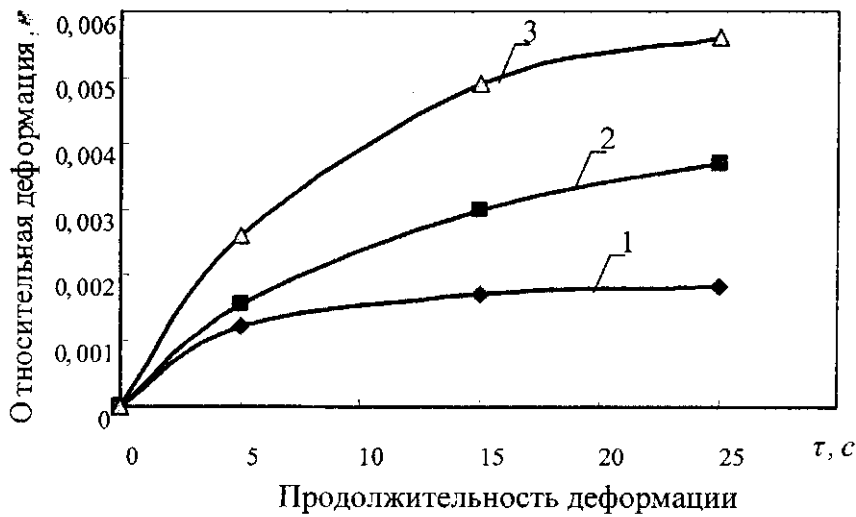


Рисунок 4 – Кривые обратного последействия для образца кекса, приготовленного с замной (100%) рецептурного количества сливочного масла на эмульсию 65%-й жирности

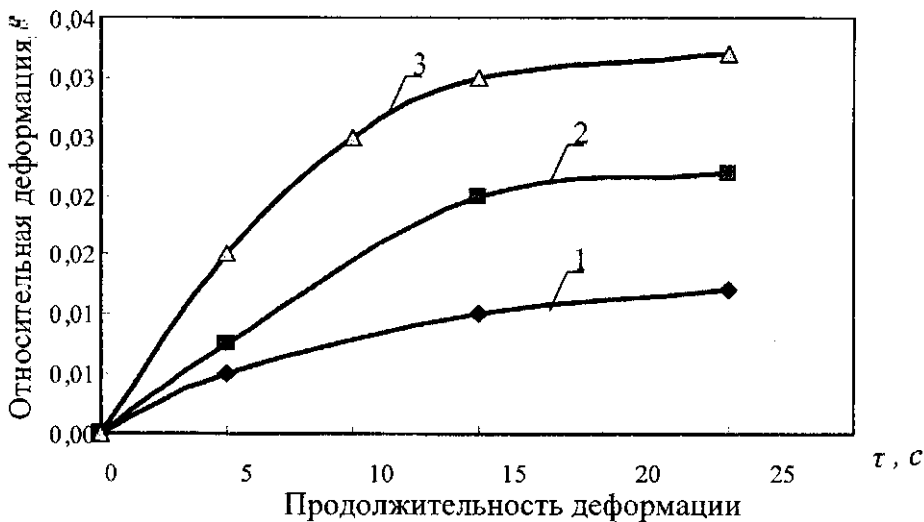
Опыты на ползучесть проводили на образцах такой же формы и консистенции, как и при получении кривых деформирования при фиксированных напряжениях. Образцы нагружали до некоторого уровня напряжений, выдерживали материалы при этом уровне напряжений, измеряя величины вязкопластических деформаций. На основании полученных экспериментальных данных построены кривые ползучести, которые представлены на рисунках 5,6,7 для исследуемых образцов.

Из данных, представленных на рисунках 5–7, следует, что продолжительность деформации у исследуемых образцов кексов примерно одинаковая, однако значения относительной деформации у образца кекса, приготовленного со 100% заменой сливочного масла на эмульсию 65%-й жирности значительно выше, нежели для контрольного образца и образца с частичной заменой сливочного масла. Кроме того, кривые ползучести для всех исследуемых образцов имеют две стадии. На участке неустановившейся ползучести (время деформирования 5–10 с), зависимость накопившейся вязкопластической деформации при постоянном уровне напряжений имеет нелинейную зависимость. Участок установившейся ползучести (время деформирования 20–25 с).



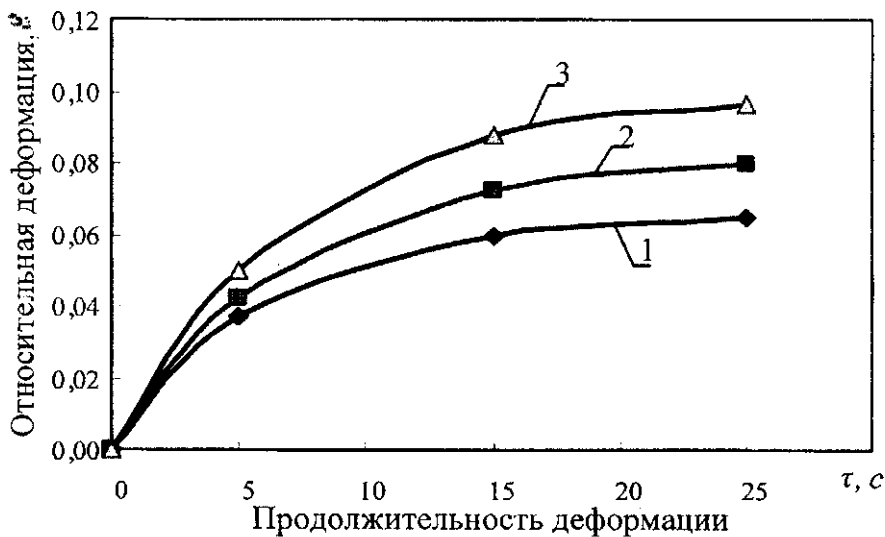
- 1 - $\sigma_0 = 0,0009$ МПа;
- 2 - $\sigma_0 = 0,0018$ МПа;
- 3 - $\sigma_0 = 0,0027$ МПа.

Рисунок 5 – Кривые ползучести для образца кекса, приготовленного по традиционной рецептуре



- 1 - $\sigma_0 = 0,0009$ МПа;
- 2 - $\sigma_0 = 0,0018$ МПа;
- 3 - $\sigma_0 = 0,0027$ МПа.

Рисунок 6 – Кривые ползучести для кекса, приготовленного с заменой (50%) рецептурного количества сливочного масла на эмульсию 65%-й жирности



- 1 - $\sigma_0 = 0,0009$ МПа;
- 2 - $\sigma_0 = 0,0018$ МПа;
- 3 - $\sigma_0 = 0,0027$ МПа.

Рисунок 7 – Кривые ползучести для кекса, приготовленного с заменой (100%) рецептурного количества сливочного масла на эмульсию 65%-й жирности

У всех кривых ползучести наблюдалась следующая закономерность. По истечении 25–30 с процесс накопления вязкопластических деформаций затухает. Накопление этих деформаций за время течения составляло у всех образцов 25–35% от общего уровня деформаций. Последняя определяется по кривой мгновенного деформирования. Следует понимать весьма четко: с уменьшением времени выдержки под нагрузкой доля вязкопластической деформации в общем объеме уменьшается весьма значительно. Так, при деформировании под нагрузкой в течении 5 с вязкопластическая деформация уменьшается в 2–2,5 раза, тем самым увеличивается доля мгновеннопластической деформации в общем объеме. Доля мгновеннопластической деформации может достигать 50–55%. С возрастанием уровня напряжений скорость течения вязкопластического процесса увеличивается, а также увеличивается величина накопленных деформаций ползучести. Полная деформация, показанная на рисунке 1, может быть определена так:

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}^{mn} + \dot{\epsilon}^{vy} + \dot{\epsilon}^{sp}, \quad (3)$$

где $\dot{\epsilon}^{vy}$ – мгновенноупругая деформация;
 $\dot{\epsilon}^{mn}$ – мгновеннопластическая деформация;
 $\dot{\epsilon}^{sp}$ – вязкоупругая деформация;
 $\dot{\epsilon}^{sp}$ – вязкопластическая деформация.

Следует учитывать, что при нарастании нагрузки даже при небольших уровнях напряжений возникают некоторые малые вязкоупругие и вязкопластические деформации, выделение которых из общей деформации является, как показано, не простой задачей.

Заключение

Представлены результаты исследований влияния замены рецептурного количества сливочного масла на эмульсию 65 и 40%-й жирности на реологические характеристики кексов. Дана характеристика полной, мгновеннопластической и вязкоупругой деформаций. Установлено, что образцы кексов с заменой (50%) сливочного масла жировой эмульсией обладают наименьшей текучестью, достигая значения $\epsilon=0,22$, тогда как контрольный образец достигает уровня деформации 0,32. Показано, что наибольшей текучестью обладает образец кекса с полной заменой сливочного масла, достигая уровня деформации $\epsilon=0,45–0,5$ при $G=0,006$ МПа. Установлено, что замена сливочного масла на эмульсию в рецептуре позволяет сохранить структуру и консистенцию выпеченных кексов на уровне традиционного продукта.

Литература

- 1 Тутельян, В.А. Реализация концепции государственной политики здорового питания населения России: научное обоснование / В.А. Тутельян, В.А. Княжев // Вопросы питания. – 2000. – №3. – С. 3–7.
- 2 Кочеткова, Л.А. Функциональные пищевые продукты: некоторые технологические подробности в общем вопросе / А.А. Кочеткова, В.И. Тужилкин // Пищевая промышленность. – 2003. – №5. – С. 8–10.
- 3 Шубина, О.Г. Низкокалорийные продукты как составляющие сбалансированного рациона питания современного человека / О.Г. Шубина, А.А. Кочеткова // Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки. – 2005. – №1. – С. 9–13.
- 4 Зубченко, А.В. Влияние физико-химических процессов на качество кондитерских изделий / А.В. Зубченко. – М: Агропромиздат, 1986. – 296с.
- 5 Мачихин, Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
- 6 Урьев, Н.Б. Физико-химическая механика и интенсификация образования пищевых масс / Н.Б. Урьев, М.А. Талейник. – М: Пищевая промышленность, 1976. – 236с.
- 7 Косой, В.Д. Инженерная реология биотехнологических сред / В.Д. Косой, Я.И. Виноградов, А.Д. Малышев. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 648 с.

Поступила в редакцию 5.11.2008