

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 25.01.2021 18:54:16  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d088

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров



**РЕОЛОГИЯ СЫРЬЯ, ПОЛУФАБРИКАТОВ И ЗАГОТОВОК ИЗДЕЛИЙ ХЛЕБОБУЛОЧНОГО, КОНДИТЕРСКОГО И МАКОРОНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Методические указания по выполнению практических работ для студентов направления 19.03.02 «Технология продуктов питания из растительного сырья»

Курск 2017

УДК: 664

Составители: А.Г. Беляев.

Рецензент

Кандидат фармакологических наук, доцент *Л.А. Горбачева*

**Реология сырья, полуфабрикатов и заготовок изделий хлебобулочного, кондитерского и макаронного производства: методические указания по выполнению практических работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.Г. Беляев. Курск, 2017. 106 с.: Библиогр.: с.106**

Приводится перечень практических работ, цель их выполнения, материальное обеспечение, вопросы для подготовки, краткие теоретические сведения, задания.

Предназначены для студентов направления подготовки 19.03.02 «Технология продуктов питания из растительного сырья» очной, заочной и сокращенной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 5.04.2017. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 5,9. Уч.-изд. л. 5,6. Тираж 50 экз. Заказ 534. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>6 семестр</b>	
Введение	4
Практическое занятие №1. Основные понятия реологии	7
Практическое занятие №2. Реология сыпучих пищевых масс.	9
Практическое занятие №3. Реология структурированных пищевых масс.	10
Практическое занятие №4. Реология пищевых гелей.	13
Практическое занятие №5. Реометрия пищевого сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Реометрия сыпучих и структурированных пищевых масс.	16
<b>7 семестр</b>	
Практическое занятие №1. Реологические свойства мучных кондитерских полуфабрикатов и изделий	20
Практическое занятие №2. Реологические свойства конфетных масс, помадных начинок, кондитерских изделий	31
Практическое занятие №3. Реологические свойства фруктовых конфет и мармеладной массы и полученных студней	40
Практическое занятие №4. Реологические свойства шоколадных полуфабрикатов	47
Практическое занятие №5. Реологические свойства хлебопекарного теста. Измерение свойств муки и теста на различных приборах, моделирующих технологические процессы	61
Практическое занятие №6. Реологические свойства хлебопекарного теста при приготовлении.	66
Практическое занятие №7. Реологические процессы тестообразования, макаронных изделий	78
Практическое занятие №8. Реологические процессы, формования макаронных изделий.	87
Практическое занятие №9. Реологические свойства макаронных изделий и их изменение в процессе сушки	92
<b>Приложение 1 Задачи</b>	<b>98</b>
<b>Список рекомендуемой литературы</b>	<b>106</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания к выполнению практических работ предназначены для студентов направления для студентов направления подготовки 19.03.02 «Технология продуктов питания из растительного сырья» с целью закрепления и углубления ими знаний, полученных на лекциях и при самостоятельном изучении учебной литературы.

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта. Перечень практических работ, их объем соответствуют учебному плану и рабочей программе дисциплины. При подготовке к занятиям студенты должны изучить соответствующий теоретический материал по учебной литературе, конспекту лекций, выполнить задания для самостоятельной работы.

При выполнении практических работ основным методом обучения является самостоятельная работа студентов с высоким уровнем индивидуализации заданий под руководством преподавателя. Результаты выполненных каждым студентом заданий обсуждаются в конце занятий. Оценка преподавателем практических работы студента осуществляется комплексно: по результатам выполненного задания, устному сообщению и качеству оформления работы, что может быть учтено в рейтинговой оценке знаний студента.

## ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, ИХ ОБЪЕМ

Наименование работ	Объем, часов		
	оч- ная	заоч- ная	Сокра- щенная (по ин- дивиду- альному плану)
<b>6 семестр</b>			
Практическое занятие №1. Основные понятия реологии	2	2	2
Практическое занятие №2. Реология сыпучих пищевых масс	4		
Практическое занятие №3. Реология структурированных пищевых масс	4		
Практическое занятие №4. Реология пищевых гелей.	4		
Практическое занятие №5 Реометрия пищевого сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Реометрия сыпучих и структурированных пищевых масс. (2 часа занятия проводится в интерактивной форме)	4 (2+ 2*)	2	2
Итого, час.	18	4	4
<b>7 семестр</b>			
Практическое занятие №1. Реологические свойства мучных кондитерских полуфабрикатов и изделий	4		
Практическое занятие №2. Реологические свойства конфетных масс, помадных начинок, кондитерских изделий	4		
Практическое занятие №3. Реологические свойства фруктовых конфет и мармеладной массы и полученных студней	4		
Практическое занятие №4. Реологиче-	4	4	4

ские свойства шоколадных полуфабрикатов*			
Практическое занятие №5. Реологические свойства хлебопекарного теста. Измерение свойств муки и теста на различных приборах, моделирующих технологические процессы	4		
Практическое занятие №6. Реологические свойства хлебопекарного теста при приготовлении и разделке	4		
Практическое занятие №7. Реологические процессы тестообразования, макаронных изделий	4		
Практическое занятие №8. Реологические процессы, формования макаронных изделий.	4		
Практическое занятие №9. Реологические свойства макаронных изделий и их изменение в процессе сушки	4		
Итого, час.	36	4	4

Примечание: \* - практические работы, проводятся с использованием интерактивных форм ведения занятий.

## 6 семестр

### Практическое занятие №1 Основные понятия реологии

#### Теоретическая часть

Термины и определения

Реология — это наука о деформации и течении тел. Слово «реология» от греческого «рео», что означает течение.

Свободнодисперсные системы — системы, в которых частицы дисперсной фазы в состоянии свободно перемещаться по всему объему системы.

Связнодисперсные системы — системы, в которых частицы дисперсной фазы связаны между собой и не способны перемещаться относительно друг друга.

Тиксотропия — способность структурированных систем восстанавливаться после разрушения.

Адгезия — связь разнородных по форме тел (поверхность - частицы) при молекулярном контакте.

Аутогезия — связь однородных по форме тел (частицы - частицы) при их молекулярном контакте.

Трение — взаимодействие, которое возникает в местах контакта поверхностей и препятствует их относительному перемещению.

Течение — сдвиг слоя частиц относительно твердой поверхности или другого слоя частиц.

#### Задание1

Используя материал лекции ответит на вопросы

1. Понятие о реологии и деформации.
2. Виды связей между частицами.
3. Явление тиксотропии в какао тертом.
4. Силы сцепления при нагнетании макаронного теста в шнековой камере.

#### Задание2

Выбрать правильные ответы

1. Выберите, что относится к связнодисперсной системе:

- А. сахарная пудра;
- Б. сахар-песок
- В. рис
- Г. пшено;
- Д. кофе молотый;
- Е. мука.

2. Тиксотропия - это..

- А. связь разнородных по форме тел при молекулярном контакте;
- Б. связь однородных по форме тел при молекулярном контакте;
- В. способность структурированных систем восстанавливаться после разрушения;
- Г. взаимодействие, которое возникает в местах контакта поверхностей и препятствует их относительному перемещению.

3. Сила взаимодействия двух частиц радиусом 1 мкм для конденсационно-кристаллизационных контактов составляет:

- А.  $10^{-2}$ -  $10^{-1}$  Н;
- Б.  $10^{-3}$  Н;
- В.  $10^{-6}$ -  $10^{-5}$  Н;
- Г.  $10^{-9}$ -  $10^{-7}$  Н;

4. Связнодисперсные системы характеризуются:

- А. прочностью;
- Б. отсутствием прочности;
- В. течением подобно жидкостям;
- Г. отсутствием связи между частицами дисперсной фазы.

5. По реологическим свойствам все пищевые массы можно разделить на:

- А. свободнодисперсные;
- Б. связнодисперсные;
- В. сыпучие и упруго-вязко-пластические;
- Г. твердые.

6. К свободнодисперсным системам относятся:

- А. зерно;
- Б. мука;
- В. кофе в зернах;
- Г. кофе молотый;
- Д. сок с мякотью.



7. Пищевые массы с каким видом контактов между частицами обладают тиксотропными свойствами:

- А. коагуляционный;
- Б. конденсационно-кристаллизационный

**Задание3** Решить задачи приложение 1 указанные преподавателем

## **Практическое занятие №2. Реология сыпучих пищевых масс.**

### **Теоретическая часть**

Сцепление — характеризует прочность сыпучего материала на сдвиг, которая обусловлена адгезией и аутогезией.

Пневмотранспорт — транспортирование сыпучих пищевых масс по материалопроводам под давлением.

Слеживание — нахождение сыпучих пищевых масс в неподвижном состоянии.

Активный способ борьбы со слеживанием — предотвращение слеживания в результате воздействия на сыпучую пищевую массу до начала слеживания.

Пассивный способ борьбы со слеживанием — возвращение слежавшемуся продукту исходной текучести или снижение отрицательного влияния слеживания.

### **Задание1**

Используя материал лекции ответит на вопросы

1. Слеживание. Причины и следствие.
2. Способы интенсификации течения сыпучего материала.
3. Образование прилипшего слоя сыпучего материала и мероприятия по его предотвращению.

### **Задание2**

Выбрать правильные ответы

1. Какой способ борьбы со слеживанием сыпучих пищевых масс является активным:

- А. вибрация и встряхивание;

- Б. применение скребков;
- В. аэрирование;
- Г. введение добавок (ПАВ).

2. Адгезионное сцепление равно произведению величины ..... на силу адгезии слоя частиц.

3. При каких условиях возможно адгезионно-аутогезионное перемещение сыпучего материала:

- А. аутогезия и адгезия соизмеримы между собой;
- Б. адгезия больше аутогезии;
- В. аутогезия больше адгезии;
- Г. адгезия больше силы трения.

4. Трение препятствует перемещению частиц относительно.....

5. Согласно закону Амонтона сила трения .....

- А. пропорциональна силе нормального давления;
- Б. величине внешнего давления;
- В. силе адгезии;
- Г. силе аутогезии;

### **Задание 3**

Решить задачи приложение 1 указанные преподавателем

## **Практическое занятие №3. Реология структурированных пищевых масс**

### **Теоретическая часть**

Деформация — изменение формы и размера тела под действием внешней силы.

Вязкость — свойство газов, жидкостей и структурированных тел оказывать сопротивление необратимому перемещению одной их части относительно другой при сдвиге, растяжении и других видах деформации.

Упругость — свойство тела восстанавливать форму и размеры после снятия нагрузки.

Пластичность — свойство тела сохранять форму и размеры после снятия деформирующей нагрузки.

Эластичность — способность тел через определенное время восстанавливать свою форму после деформации.

Ньютоновская жидкость — вязкая жидкость, подчиняющаяся в своём течении закону вязкого трения Ньютона, то есть касательное напряжение и градиент скорости линейно зависимы.

Неньютоновская жидкость — жидкость, обнаруживающая зависимость вязкости от скорости сдвига.

Ползучесть — перемещение, при котором структура пищевой массы не разрушается, а наблюдается смещение частиц относительно друг друга.

Релаксация — переход системы (пищевой массы) из неравновесного состояния, вызванного внешним воздействием, в состояние термодинамического равновесия.

Жесткость — произведение модуля упругости на площадь поперечного сечения пробы при ее сжатии или растяжении.

Кривая течения — график зависимости скорости деформации от напряжения.

Модуль упругости — коэффициент пропорциональности, связывающий напряжение и деформацию в уравнении закона Гука.

Напряжение — мера интенсивности внутренних сил, возникающих как сопротивление внешнему воздействию.

Реологическое тело — реальное тело, механическое поведение которого отличается от тел Гука и Ньютона.

**Задание 1.** Используя материал лекции ответит на вопросы

1. Внутренне напряжение сдвига при сушке макаронных изделий.
2. Реологические свойства кондитерского теста.
3. Идеально вязкое тело Ньютона.
4. Явление релаксации в макаронном тесте.
5. Течение шоколада и предел текучести.

**Задание 2.** Выбрать правильные ответы

1. Величина обратная вязкости:

- А. эластичность;
- Б. текучесть;
- В. пластичность;
- Г. модуль упругости.

2. При каких условиях идеальные жидкости способны течь (деформироваться):

- А. под действием самых малых внешних нагрузок;
- Б. под действием самых больших внешних нагрузок;
- В. под действием самой высокой температуры;
- Г. под действием самой низкой температуры.

3. Согласно первой аксиоме реологии при равномерном изотропном сжатии все тела ведут себя одинаково, как..... тела.

4. В каком состоянии находится тело по модели Максвелла, если время релаксации значительно больше времени действия напряжения:

- А. аморфном;
- Б. жидком;
- В. газообразном;
- Г. твердом.

5. Текучесть - ....:

А. структура не разрушается, а наблюдается перемещение частиц относительно друг друга;

Б. структура разрушается и наблюдается перемещение частиц относительно друг друга;

В. структура не разрушается, и частицы находятся в неподвижном состоянии;

Г. вязкость системы наиболее максимальная.

6. Соответствие моделей реологическим свойствам:

Гука пластичность

Ньютона упругость

Сен-Венана-Кулона вязкость

7. При каких условиях релаксация в системе происходит медленнее:

- А. чем меньше
- Б. =0
- В. = 1
- Г. чем больше

8. Соответствие структурированных тел реологическим моделям:

Упруго-вязко-пластическое тело модель Максвелла

Вязко-упругое тело модель Кельвина-Фойгта

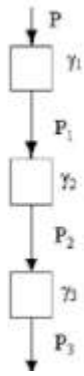
Упруго-вязкое тело модель Кельвина

9. Напряжение сдвига при ..... течении тела вязкостью пропорционально скорости деформации.

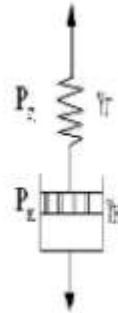
10. Выберите определения, соответствующие рисункам:



А



Б



В

А. последовательное соединение элементов реологических моделей;

Б. модель упруго-вязкого тела Максвелла в зависимости от его деформации;

В. модель идеально пластического тела Сен - Венана — Кулона.

**Задание 3** Решить задачи приложение 1 указанные преподавателем

## Практическое занятие №4. Реология пищевых гелей

### Теоретическая часть

Гели – дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой, в которой частицы дисперсной фазы образуют пространственную структурную сетку.

Желатинирование – процесс образования гелей из коллоидных растворов.

Застудневание – процесс образования студней из растворов высокомолекулярных соединений.

Холодное отверждение – гелеобразование, вызываемое охлаждением.

Характерно для биополимерных гелей, которые встречаются в природе и формируют структуры в биологических системах.

Горячее отверждение – гелеобразование, происходящее при нагревании за счет денатурации биополимеров.

Гидрогели – гели, дисперсионной средой которых является вода.

Органогели – гели с углеводородной дисперсионной средой.

Ксерогель – пористое тело, частично сохраняющее трёхмерную структуру сети геля в сжатом или частично разрушенном виде (печенье, сухари);

Аэрогель – пористое тело, которое в основном сохраняет структуру сети (маленькая плотность, прозрачный).

Химические гели – гели, образованные ковалентными (полярные (ионные), неполярные – прочные, перманентные) связями.

Физические гели – гели, образованные водородными связями.

Энергия связей сравнима с энергией теплового движения молекул – лабильные, подвижные связи.

**Задание 1.** Используя материал лекции ответит на вопросы

1. Охарактеризовать процесс образования геля на примере желеино - фруктовых масс.
2. Описать свойства студней.
3. Привести значение солей - модификаторов при производстве желеино - фруктовых масс.
4. Дать характеристику студнеобразователюагару.

**Задание2** Выбрать правильные ответы

1. Какой из перечисленных студнеобразователей не относится к полисахаридам морских растений:

- А. агар;
- Б. пектин;
- В. агароид;
- Г. фулцелларан.

2. Ксерогель – пористое тело, частично сохраняющее трёхмерную структуру сети геля в сжатом или частично.....

3. Расположите в правильной последовательности стадии производства формового мармелада на агаре:

- А. формование и студнеобразование;
- Б. уваривание агаро-сахаро-паточного сиропа;
- В. высушивание и охлаждение мармелада;
- Г. замачивание агара;
- Д. приготовление мармеладной массы;
- Е. упаковывание и хранение;
- Ж. выборка из форм и обсыпка сахаром-песком.

4. Водные растворы студнеобразователей относятся к:

- А. лиофильным дисперсным системам;
- Б. пористым телам;
- В. аэрозолям;
- Г. эмульсиям.

5. Гели – дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой, в которой частицы ... образуют пространственную структурную сетку.

6. При каких условиях получается прочный пектиновый студень:

- А. пектин, сахар, кислота;
- Б. пектин, соль-модификатор, сахар;
- В. пектин, вода;
- Г. пектин, сахар, вода.

7. До достижения точки гелеобразования связанность мономерных молекул незначительна, и обычно ... системы происходит довольно быстро.

8. При какой температуре уваривают желеино-фруктовые массы, которые при охлаждении переходят в структурированные системы:

- А. 80-900С;
- Б. 115-1200С;
- В. 90-950С;
- Г. 100-1100С.

9. Свойства гелей:

- А. предел текучести равен 0;
- Б. отсутствие текучести;
- В. предел текучести не равен 0;
- Г. отсутствие тиксотропии.

10. Источник получения желеобразователя желлановой камеди:

- А. бурые водоросли;
- Б. соединительная ткань крупного рогатого скота;
- В. микроорганизмы *Sphingomonas elodia*;
- Г. картофель.

**Задание 3** Решить задачи приложение 1 указанные преподавателем

**Практическое занятие №5. Реометрия пищевого сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Реометрия сыпучих и структурированных пищевых масс.**

### **Теоретическая часть**

Реометрия – (экспериментальная реология) определение различных параметров реологических свойств веществ с помощью специальных приборов.

Пенетрометр – прибор, основанный на внедрении тела (чаще конуса) в структурированную систему.

Вискозиметрия – совокупность методов измерения вязкости жидкости, а также структурированных систем, к которым относятся пищевые массы.

Вискозиметр – прибор, используемый в вискозиметрии.

Сдвигометры и пластометры – приборы, основанные на тангенциальном смещении пластинки относительно структурированной системы (пищевой массы).

Нагружение – процесс изменения нагрузки во времени при исследовании структурно-механических свойств различных материалов.

Нагрузка – совокупность сосредоточенных или распределенных (по площади или объему) сил и моментов, приложенных к телу в процессе его переработки или при измерении его структурно-механических характеристик.

Фаринограф – прибор, предназначенный для контроля динамики реологического поведения пшеничного теста в процессе замеса по характеру изменения величины крутящего момента (фаринограмме) на приводе месильных органов тестомесильной емкости и



определения параметров муки, теста и процесса его замеса: водопоглотительной способности муки, времени образования теста, устойчивости (стабильности) теста при замесе, сопротивляемости (стойкости) теста при замесе, эластичности, разжижения теста, комплексного показателя «силы» пшеничной муки.

Альвеограф - прибор, предназначенный для контроля динамики реологического поведения пшеничного теста при объемном растяжении определенной пробы его с помощью воздуха и определения: предельного давления воздуха, соответствующего упругой деформации теста; общей деформации теста; количества энергии, затрачиваемой на надувание шара до момента его разрыва; эластичности теста.

Амилограф – прибор, предназначенный для контроля кинетики реологического поведения клейстеризованной водно-мучной суспензии и определения: начальной температуры клейстеризации крахмала, максимальной вязкости крахмального геля и температуры клейстера. Контролируемые параметры позволяют определять автолитическую активность хлебопекарной муки и оценивать качество крахмалсодержащего сырья.

Экстенсограф – прибор, предназначенный для контроля динамики реологического поведения пшеничного теста при растяжении сформованного из него жгута и определения параметров: деформации растяжения, максимального усилия растяжения; количества энергии, затрачиваемой на растяжение жгута теста до его разрыва и др.

Структурометр – прибор, предназначенный для определения показателей качества рецептурных ингредиентов, полуфабрикатов и готовых изделий по их классическим и условным реологическим характеристикам.

Глютограф – прибор, предназначенный для контроля качества сырой (упругость, эластичность) и сухой клейковины.

**Задание 1.** Используя материал лекции ответит на вопросы

1. Определение реологических параметров сыпучих пищевых масс по времени истечения.
2. Определение аутогезии сыпучих пищевых масс по величине силы отрыва.

3. Описать устройство вискозиметра «Реотест».
4. Охарактеризовать принцип работы прибора «Амилограф».
5. Параметры упруго-вязко-пластических масс, определяемые на приборе «Фаринограф».

### Задание 2. Выбрать правильные ответы

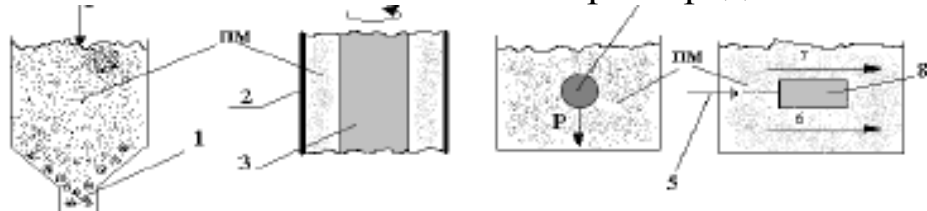
1. Основные реологические параметры, характеризующие сыпучие пищевые массы:

- А. коэффициент внутреннего и внешнего трения;
- Б. угол наклона поверхности;
- В. аутогезия и адгезия;
- Г. прочность на сдвиг и на разрыв.

2. Какой прибор основан на внедрении тела в структурированную систему:

- А. вискозиметр;
- Б. ареометр;
- В. пенетрометр;
- Г. структурометр.

3. Соответствие вискозиметров представленным схемам:



а б в г

- А. ротационный;
- Б. вибрационный;
- В. капиллярный;
- Г. с падающим шариком.

4. Вискозиметрия – это совокупность методов измерения вязкости жидкости, а также....., к которым относятся пищевые массы.

5. Пластомер позволяет определить:

- А. растяжение образца;
- Б. эластическую и пластическую деформацию;
- В. модуль упругости;
- Г. вязкость, которая зависит от скорости движения пластины.

6. Предельное напряжение сдвига  $\tau$ , характеризующее прочность структуры определяется по ..... $P_{max}$ ..

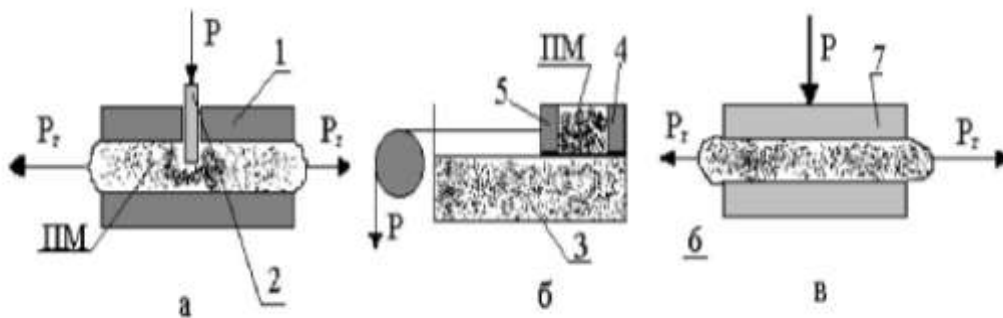
7. За счет какой силы происходит разрыв сыпучего материала по сечению:

- А. силы отрыва  $F_{отр.}$ ;
- Б. силы адгезии  $F_{ад.}$ ;
- В. силы аутогезии  $F_{аут.}$ ;
- Г. силы трения  $F_{тр.}$ .

8. Сколько режимов работы имеет структурометр СТ-1М:

- А. 8;
- Б. 7;
- В. 6;
- Г. 9.

9. Какая схема работает по принципу растяжение-сжатие с использование раствора:



**Задание 3.** Решить задачи приложение 1 указанные преподавателем

## 7 семестр

### **Практическое занятие №1. Реологические свойства мучных кондитерских полуфабрикатов и изделий**

#### **Теоретическая часть**

*Физико-химические и коллоидные процессы при замесе теста и выпечке тестовых заготовок*

Кондитерское тесто, как и все тестообразные массы, является структурированной дисперсной системой и состоит из трех фаз: твердой, жидкой и газообразной. Твердую фазу представляют лиофильные коллоиды муки. Это водонерастворимые белковые комплексы и крахмал пшеничной муки.

Нерастворимые в воде белковые фракции-глиадиновая и глютеиновая ограничено набухают и образуют главную массу клейковины. Белковые вещества муки способны поглощать и связывать воду в 2-2.5 раза больше своей массы. Чем выше качество клейковины, тем лучше водопоглотительная способность муки. 1/4 часть воды связывается адсорбционно и 3/4 впитывается осмотически.

Этот процесс приводит к набуханию, сопровождающемуся резким увеличением объема молекул белков в тесте, а следовательно и увеличением объема теста. Набухшие белковые мицеллы являются лиофильными коллоидными системами, т.к. на их поверхности находятся полярные группы. Набухшие мицеллы термодинамически устойчивы.

Крахмал муки состоит из двух фракций, отличающихся по своему химическому строению: амилозы и амилопектина. Амилоза представляет собой неразветвленную нить, состоящую из связанных между собой остатков глюкозы. Молекулярная масса амилозы колеблется от  $3 \cdot 10^5$  до  $1 \cdot 10^6$

Молекула амилопектина сильно разветвлена, и молекулярная масса его достигает сотен миллионов. Крахмал муки количественно составляет основную массу теста. Целые зерна крахмала при замесе теста связывают воду в основном адсорбционно и объем их увеличивается незначительно. При повреждении крахмала при размоле зерна (около 1.5%) повышается их водопоглотительная способ-

ность. Такие зерна могут поглотить до 200% воды на сухое вещество. Набухание крахмальных зёрен зависит также от температуры. При температуре 50оС крахмал хорошо набухает в водной среде. При 65оС начинает клейстеризоваться.

Это показывает, что изменения крахмала протекают при более высокой температуре, чем изменения белковых веществ. Оптимальным для набухания белковых веществ является температурный интервал 20-30оС. При более высокой температуре набухание снижается. В рецептуры теста различных мучных кондитерских изделий входит жидкая фаза, в ее составе вода.

Жидкая фаза представляет собой многокомпонентный водный раствор веществ, предусмотренных рецептурой теста (инвертный сироп, вода, раствор сахара, патоки, соли, гидрокарбоната натрия, карбоната аммония, молоко и др.).

В состав жидкой фазы входят все растворимые в воде органические и минеральные вещества муки. Значительная часть жидкой фазы вместе со свободной водой осмотически поглощается белковыми веществами. Соотношение между твердой и жидкой фазами зависит от вида теста, его влажности, количества и качества клейковины. Газообразную фазу составляет воздух, который захватывается при замесе теста, диспергируется и удерживается в тесте. Кроме того, воздух входит с мукой, водой и другими видами сырья и полуфабрикатов. Газообразная фаза может достигать в тесте 10 %.

#### *Механизм образования кондитерского теста*

При смешивании пшеничной муки с водой и другими рецептурными ингредиентами, т.е. при замесе теста происходят сложные физические, коллоидные и биохимические процессы, определяющие коллоидные и биохимические процессы, определяющие определенные реологические и физико-химические свойства теста. Большое значение имеют коллоидные процессы, связанные с набуханием белков и крахмала. Ведущая роль в образовании теста принадлежит белковым веществам, нерастворимым в воде (глиадин и глютен), которые образуют белковый структурный каркас. Альбуминовая и глобулиновая фракции белка после набухания растворяются и переходят в раствор. При замесе теста в результате механических воздействий набухшие белковые вещества «вытягиваются» из частиц муки в виде пленок, жгутиков. Последние соеди-

няются как за счет слипания, так и за счет образования химических ковалентных и других связей с пленками и жгутиками набухшего белка смежных частиц муки. Происходит как бы сшивание пленок и жгутиков.

При продолжительном механическом воздействии происходит разрыв связей -водородных, гидрофобных, солевых мостиков, разрыв дисульфидных связей между пептидными цепочками. Образуются тонкие пленки и нити. Разрушаются, становятся тонкими гидратные прослойки у поверхности макромолекул, ослабляется структурное отталкивание. Чем продолжительнее или интенсивнее замес, тем быстрее достигается тот критический рубеж дегидратации белковых макромолекул и наступает процесс коагуляции. Основная роль в образовании белкового каркаса принадлежит гидрофобным взаимодействиям между неполярными группами белковых молекул. Большую роль играют окислительно-восстановительные реакции, окисление сульфгидрильных групп кислородом воздуха с образованием дисульфидных связей. Это упрочняет структуру белка, увеличивает ее эластичность и прочность. Большая роль принадлежит водородным связям. При замесе кондитерского теста на процесс образования теста влияет сырье, используемое в соответствии с рецептурой. В гидратных пленках воды, покрывающих макромолекулы белка, всегда присутствуют ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^{++}$ , поступающие с щелочными разрыхлителями, гидратированные молекулы сахарозы, ПАВы, содержащиеся в молочных и яйцепродуктах. Они влияют на процесс набухания белков и свойства теста. В щелочном растворе белок диссоциирует как кислота, в кислом растворе - как щелочь.

Поэтому в щелочном растворе молекулы белка будут заряжены отрицательно, а в кислом -положительно. В изоэлектрической точке, которая для пшеничного белка глиадина соответствует рН 7.1 количество положительных и отрицательных зарядов в молекуле белка будет одинаковым. При этом белок обладает наименьшей растворимостью, наименьшей вязкостью растворов и наиболее легко осаждается из растворов. Агрегативная устойчивость набухших белковых мицелл при замесе теста зависит по новым представлениям, вытекающим из теории ДЛФО, от трех составляющих расклинивающего давления в пленках воды, покрывающих белковые ми-

целлы :молекулярной, электростатической и структурной. Теория ДЛФО (Дерягина, Ландау, Фервея и Овербека ) объясняет образование коагуляционных структур.

*Физико-химическая характеристика различных видов кондитерского теста и изделий*

Использование пшеничной муки разного качества, большого набора сырья, изменение их соотношения и применение определенных технологических параметров и приемов позволяет получать тесто и изделия, различающиеся по физико-химическим и реологическим свойствам. Тесто по реологическим свойствам может быть отнесено к следующим дисперсным системам: -к пластично-вязким дисперсным системам (сахарное, песочное тесто), -к упруго-пластично-вязким (тесто затяжное, крекерное), -к слабоструктурированным дисперсным системам (вафельное тесто, бисквитное тесто для бисквитных полуфабрикатов и тортов и др.).

Физико-химические характеристики готовой продукции включены в ГОСТы на соответствующий вид продукции. Ряд показателей дан в перечне органолептических показателей (хрупкость, рассыпчатость, слоистость, пористость).

В соответствии с ГОСТ "Кондитерские изделия. Термины и определения" различают два вида теста в зависимости от его структуры: -бисквитное -сдобное, сахарное, овсяное, из которого получают изделия разнообразной формы с хорошо развитой равномерной пористостью, -слоистое тесто -для затяжного печенья, крекера, галет, из которого вырабатывают изделия разнообразной формы слоистой структуры.

*Составные части пшеничной муки и их значение в образовании теста. Реологические свойства теста.*

Формирование теста с определенными реологическими свойствами связано: -с видом изделий, рецептурой, с правильным подбором сортности муки, с оптимальным содержанием и качеством клейковины, крупноты помола, -с правильным выбором влажности теста, -с правильным выбором и поддержанием технологических параметров замеса теста (температура, продолжительность, интенсивность замеса).

Отмеченные факторы влияют на степень набухания пшеничной муки и тем самым на реологические свойства теста, его пластичность, упругость, эластичность, вязкость.

Повышая температуру теста при замесе, удлиняя продолжительность процесса из сахарного пластичного теста в результате более полного набухания коллоидов можно получить затяжное тесто с упруго-пластично-вязкими свойствами. Пластичность сахарного теста близка к 1. Чтобы можно было затяжное тесто отформовать до заготовок, исключив их деформацию, пластичность его необходимо увеличить до 0.5. С этой целью применяют такую операцию, как вылеживание теста, или используют ферментные препараты

#### *Влияние на реологические свойства теста рецептурных компонентов*

В зависимости от химического состава отдельных сырьевых ингредиентов теста, наличия в них липидов, фосфатидов, белков, сахаров, поверхностно-активных веществ -ПАВ и др., оказывающих влияние на набухание белков муки, насыщение теста воздухом, на снижение количественного содержания белков наблюдается изменение реологических свойств теста. Механизм воздействия на набухание белков разных видов сырья неодинаковое. Наиболее значительное влияние на набухание белков и реологические свойства теста оказывают сахар, жир, вода.

#### *Ферментативные процессы в производстве кондитерского теста*

Ферментативные процессы протекают при производстве дрожжевого кондитерского теста для крекеров, галет, кексов, ромовых баба. В этих процессах могут участвовать амилолитические ферменты пшеничной муки. Их действие требует большой продолжительности процесса. С целью сокращения длительности созревания опары или теста требуется введение добавок амилолитических ферментных препаратов (амилоризин П10х и др.). С целью интенсификации технологических процессов в производстве затяжного печенья, повышения пластичности, необходимой для формования тестовых заготовок, используют ферментные препараты протеолитического действия (протосубтилин Г10х,20х энзимы, нейтраза, протезим и др). Это позволяет регулировать реологические свойства теста.

#### *Применение эмульсий, их агрегативная устойчивость.*



### *Роль эмульгаторов*

Применение эмульсий позволяет упростить технологию производства печенья и др. видов мучных кондитерских изделий, а также повысить однородность теста и улучшить качество изделий. Однако, необходимым условием является агрегативная устойчивость получаемых эмульсий. Это необходимо для соблюдения рецептуры и достижения необходимого качества продукции.

Агрегативная устойчивость эмульсии зависит от размера частиц дисперсной фазы (жир) и от наличия ПАВ.

Эмульсия - это дисперсная система, состоящая из двух жидких фаз, из которых одна распределена в другой в виде капель. Это дисперсная фаза. Эмульсии относятся к неустойчивым системам, т.к. обладают избыточной свободной поверхностной энергией на границе раздела фаз.

В эмульсиях для сахарного теста дисперсионной средой является многокомпонентный раствор сахара, соли, патоки, инвертного сиропа, меланжа, молока и др. веществ, а дисперсной фазой - капельки жира. Такую эмульсию можно обозначить М/В.

Для получения эмульсии необходимо на первой стадии при перемешивании максимально растворить кристаллическое сырье при температуре 35-38°C. На второй стадии перемешать раствор с расплавом жира, на третьей стадии - провести сбивание сырья до получения устойчивой и хорошо диспергированной эмульсии. Длительность всего цикла - 20 мин при температуре 35-38°C.

При образовании эмульсии идут два процесса - диспергирование и коалесценция. В первый момент перемешивания, в течение нескольких секунд идет процесс диспергирования. Чем больше образуется при диспергировании капель, тем больше будет их столкновений, приводящих к коалесценции. После нескольких минут наступает равновесие. Капли жидкости дробятся только до определенного предела. Существует определенная скорость, выше которой устойчивость эмульсий начинает падать. Эмульгированию способствует низкая вязкость среды. Поэтому повышение температуры благоприятно влияет на эмульгирование. Кроме того, температура влияет на поверхностное натяжение на границе раздела фаз и на адсорбцию эмульгаторов. С увеличением температуры поверхностное натяжение уменьшается. Чем меньше поверхностное натяжение,

тем мельче капли эмульсии при определенной интенсивности перемешивания, тем стабильнее эмульсия. Устойчивость концентрированных эмульсий (объемная доля дисперсной фазы может достигать 74%) повышается в присутствии небольших количеств эмульгаторов, снижающих поверхностное межфазное натяжение. Эмульгатор ориентируется на поверхности раздела фаз таким образом, чтобы поверхностная энергия снизилась до минимального значения: полярная часть молекулы эмульгатора ориентируется по направлению к более полярной жидкости, углеводородный радикал - к менее полярной жидкости. Эмульгатор покрывает капли дисперсной фазы тонкими пленками, которым присущи следующие свойства:

1. Они понижают поверхностное натяжение, уменьшают значения свободной энергии,

2. Пленки заряжены одноименными электрическими зарядами.

В эмульсиях М/В капельки масла заряжены отрицательно. При больших расстояниях между каплями в эмульсии М/В силы притяжения превышают силы отталкивания. Поэтому на этих расстояниях происходит лишь флокуляция частиц, они будут останавливаться на некотором расстоянии друг от друга, не проявляя стремления к дальнейшему сближению. В высококонцентрированных эмульсиях (объемная доля дисперсной фазы превышает 74%) частицы дисперсной фазы практически полностью флокулированы.

Между ними находятся пленки дисперсионной среды. Для таких эмульсий существует только устойчивость к коалесценции. Поверхностно-активные добавки (меланж, молоко, декстрины) способствуют эмульгированию и повышают стойкость эмульсий, т. к. содержат естественные эмульгирующие вещества (яичный белок, казеин, лецитин). В зависимости от наличия в рецептурах естественных эмульгирующих веществ все рецептуры сахарного печенья можно условно разделить на 3

группы:

1. Изделия, содержащие молоко и меланж,
2. Изделия, содержащие меланж,
3. Изделия без молока и меланжа.

Эмульсии, получаемые для изделий первых двух групп, устойчивы при влажности эмульсии 20-23.5%, что соответствует влажности

теста 15-18%. При влажности эмульсии 25 % наблюдается коалесценция и расслаивание в пределах 1-1.5% за час. В эмульсиях третьей группы рецептур без молока и меланжа коалесценция достигает 6-15% за час. В этом случае необходимо вводить эмульгаторы: яичный белок, гидрофильные липиды, эмульгаторы Т-1, Т-2, пищевые фосфатиды и др. или смеси эмульгаторов.

*Физико-химические и коллоидные процессы, протекающие в тестовых заготовках при выпечке*

Физико-химические и коллоидные процессы при выпечке тестовых заготовок, предопределяющие качество готовых изделий, обусловлены рядом факторов:

- прогревом тестовых заготовок,
- переносом влаги в тестовых заготовках,
- активностью ферментов пшеничной муки,
- химическими реакциями.

С теплофизической точки зрения выпечка является гигротермическим процессом, для которого характерен перенос тепла и влаги в коллоидных капиллярно-пористых материалах под влиянием высокой температуры.

Процесс выпечки тестовых заготовок печенья -процесс непродолжительный, т.к. толщина тестовых заготовок не превышает 4мм, а температура в пекарной камере печи 160-250<sup>0</sup>С. Тестовые заготовки быстро прогреваются и уже через 1 мин температура поверхностных слоев достигает 100-110<sup>0</sup>С, а внутренних—около 70оС. В течение 3.5-4 мин выпечки температура соответственно повышается и достигает соответственно 170-180<sup>0</sup>С и 106-108<sup>0</sup>С.

В тестовых заготовках идет интенсивный влагообмен между тестом и средой пекарной камеры. Обезвоживание тестовых заготовок протекает неравномерно.

В начальный период значительный температурный градиент вызывает испарение части влаги с поверхности. Часть влаги под действием термовлагопроводности устремляется от поверхности к центральным слоям заготовки.

Во второй период выпечки температура центральных слоев достигает 100оС. и температурный градиент снижается, а влажно-

стный градиент растет из-за обезвоживания поверхностных слоев теста.

Зона испарения перемещается вглубь изделия. Внутри изделий идет процесс парообразования и повышение давления. Под его воздействием влага перемещается от центральных к периферийным слоям, разрыхляет заготовки, увеличивая их объем. В третий период выпечки зона испарения достигает центральных слоев. В виде пара влага перемещается к поверхностным слоям от центральных.

При этом удаляется в основном влага, связанная. Изменение температуры и влажности тестовых заготовок сопровождается физико-химическими, коллоидными, химическими процессами. Из коллоидных процессов прежде всего происходит интенсивное набухание крахмала муки при температуре 40-60°C и его частичная клейстеризация. При температуре 50-70°C. почти в одно и то же время идут изменения белков и крахмала. Белковые вещества денатурируют. Вода, поглощенная белками при нагревании, освобождается и частично используется при клейстеризации крахмала. Обезвоженные и коагулированные белки клейковины и частично клейстеризованный крахмал образуют пористый полутвердый каркас изделия. На его поверхности адсорбируется жир в виде тонких пленок. О образованию пористой структуры способствуют газообразные продукты ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , пары воды) в результате разложения карбоната аммония при температуре 60°C. и гидрокарбоната натрия при температуре 80- 90°C. При повышении температуры теста поры значительно расширяются и увеличивается объем тестовых заготовок. Степень разрыхления теста зависит от реологических свойств теста и от равномерного распределения в тесте химических разрыхлителей. Особенно увеличивается пористость и объем заготовок из пластичного теста -сахарного, пряничного. Затяжное и галетное тесто, обладающее значительной упругостью, оказывают сопротивление расширению газовых пузырьков. Эти изделия имеют небольшой подъем и недостаточно развитую пористость.

Постепенное обезвоживание жировых заготовок приводит к образованию на их поверхности плотной корочки. Увлажнение пекарной камеры вначале выпечки устраняет преждевременное образование корочки. Изменяется состояние сахара. В сахарном и затяжном тесте сахар находится в виде раствора и заполняет про-

странства в мицеллах набухших белков и крахмала. При обезвоживании набухших белков и крахмала сахароза кристаллизуется. Растущие кристаллы могут разрывать связи между отдельными мицеллами крупных молекулярных агрегатов. Это повышает их растворимость и изменяет другие физико-химические свойства: увеличивается в готовых изделиях содержание растворимых фракций крахмала и декстринов, уменьшается количество альбумина, глобулина и глиаина вдвое.

Сахароза выкристаллизовывается на поверхности белково-крахмального каркаса, придает изделиям твердость и хрупкость. К концу выпечки при температуре поверхностных слоев 170-180°C часть кристалликов сахарозы плавится, распадается на моносахариды и ангидросахара. В виде пленок вместе с жиром они покрывают пористый скелет изделий. Этому процессу благоприятствует щелочная среда. Протекает реакция меланоидинообразования. Меланоидины придают печенью светло-коричневую окраску. В физико-химических изменениях важную роль могут играть ферменты муки, проявляющие самоактивность в первый период выпечки. -амилаза инактивируется полностью при 82-84°C, -амилаза -при 97-98°C. Гидролиз крахмала в тесте из пшеничной муки в первый период выпечки в основном обусловлен действием амилаз муки. При выпечке уменьшается количество жира в изделии от 3 до 9 процентов по отношению к начальному количеству. Это может быть вызвано следующими причинами: - удалением части жира из теста вместе с парами воды, - гидролизом моно - и диглицеридов и окислением непредельных жирных кислот с образованием перекисей и гидроперекисей.

Возможно изменение щелочности изделий из-за нейтрализации щелочных солей разрыхлителей с кислыми компонентами теста. При выпечке и охлаждении печенья возможно протекание процессов, связанных с взаимодействием эмульгаторов с амилозой и образованием комплексов, препятствующих кристаллизации амилозы после охлаждения печенья. При этом уменьшается набухаемость изделий. Таким образом выпечка тестовых заготовок является важнейшим технологическим процессом, формирующим не только структуру изделий, но и их физико-химические свойства.

**Задание 1** Изучить теоретическую часть, ответить на вопросы для самоконтроля, ответы записать в рабочую тетрадь

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Механизм образования кондитерского теста?
2. Роль коллоидов пшеничной муки в образовании кондитерского теста?
3. Реологические свойства кондитерского теста (сахарное, затяжное, пряничное). Способы повышения пластичности затяжного теста?
4. Реологические свойства вафельного и бисквитного теста, факторы, обуславливающие оптимальные реологические свойства теста. Влияние реологических свойств теста на качество продукции?
5. Влияние рецептурных компонентов пшеничной муки (сахар, жир, влага, ферменты) на реологические свойства кондитерского теста?
6. Способы регулирования реологических свойств кондитерского теста.
7. Зависимость качества выпеченных полуфабрикатов и готовых изделий от реологических свойств теста?
8. Ферментативные процессы в производстве кондитерского теста (крекерное, затяжное)?
9. Физико-химические процессы, протекающие в тестовых заготовках при выпечке?
10. Коллоидные процессы, протекающие при выпечке тестовых заготовок, их роль в образовании структуры?

### **Задание 2 Ответить на вопросы теста**

Тест по теме

1. Какое количество воды связывается белками пшеничной муки осмотически при набухании в процессе замеса сахарного теста:

а) 1/4;

б) 3/4;

2. Какие коллоиды сырья образуют твердую фазу кондитерского теста:

- а) крахмал;
- б) жиры;
- в) белки;
- г) минеральные вещества;
- д) воздух;

3. Укажите оптимальные температурные условия набухания белковых веществ при замесе затяжного теста:

- а) 10-20°C;
- б) 20-30°C;
- в) 40°C;
- г) 50°C;

4. Каким фракциям белковых веществ принадлежит ведущая роль в образовании кондитерского теста:

- а) альбуминовая;
- б) глиадиновая;
- в) глобулиновая;
- г) глютеиновая;

5. Какой фактор вызывает денатурацию белков в тестовых заготовках при выпечке:

- а) механическое воздействие;
- б) температура;
- в) концентрированные кислоты;
- г) ионы тяжелых металлов;

## **Практическое занятие №2. Реологические свойства конфетных масс, помадных начинок, кондитерских изделий**

### **Теоретическая часть**

*Реологические свойства конфетных масс (помадных, молочных, ликёрных) и их влияние на способ формирования*

Конфетные массы высокодисперсные концентрированные структурированные дисперсные системы. Между твердыми телами и истинно вязкими жидкостями в природе существуют огромное многообразие тел промежуточного характера. К таким телам относятся все конфетные массы, обладающие комплексом структурно-

механических свойств: вязкостью, упругостью, пластичностью, релаксацией напряжений. Эти свойства обуславливают способность конфетных масс сопротивляться деформации под действием внешних сил при технологической обработке и являются общими и характерными свойствами, определяющими возможность их переработки.

По характеру связей между отдельными молекулами, макромолекулами или микрокристалликами все структуры делятся на коагуляционные и конденсационно-кристаллизационные. В кристаллизационных дисперсных структурах могут возникать также и образования микрокристалликов новой фазы из пересыщенных растворов.

Именно таков механизм образования помады и поверхностной кристаллической корочки в молочных и ликерных конфетных корпусах. Из пересыщенного раствора выделяющиеся кристаллики в определенных условиях срачиваются в кристаллическую структуру. Помадная масса хорошего качества должна содержать 55-60% твердой фазы и 40-45% жидкой фазы. Вкусовые качества помады зависят от её структуры и консистенции.

Структура помады определяется, главным образом, величиной кристаллов, составляющих её твердую фазу.

Размеры кристаллов сахарозы в твердой фазе помады зависят от целого ряда факторов.

- От коэффициента пересыщения к моменту роста кристаллов. С увеличением степени пересыщения раствора скорость кристаллизации повышается. Размер основной массы кристаллов должен быть 20 мкм.

От рецептуры сиропа. С увеличением количества патоки в рецептуре, повышается вязкость, замедляется рост кристаллов и скорость кристаллизации уменьшается. Увеличенное содержание патоки в рецептуре повышает дисперсность помады.

С увеличением влажности помадного сиропа удлиняется процесс помадообразования, т.е. снижается степень пересыщения раствора из-за снижения вязкости сиропа, удлиняется процесс сбивания и повышается размер кристаллов.

Чем ниже температура сиропа при сбивании, тем мельче кристаллы сахарозы. Снижение температуры помадного сиропа перед



сбиванием приводит к пересыщению, быстрому образованию большего числа центров кристаллизации и сокращению латентного периода.

Чем интенсивнее сбивание помадного сиропа, тем меньше размер кристаллов. Помада как вязко-пластичное тело - сложная дисперсная система. Высокодисперсная часть её, в основном, и определяет структурно - механические особенности помады.

По своим пластично-вязким свойствам помада относится к структурированным дисперсным системам. Поэтому она обладает аномалией вязкости.

Вязкость помады зависит от её влажности, температуры, дисперсности и количества патоки в рецептуре.

Помада обладает тиксотропными свойствами, зависящими от её дисперсности. Чем меньше размер кристаллов, тем больше эти свойства проявляются.

Размеры кристаллов, соотношение между кристаллами различной величины определяют консистенцию помады. Влияют на вязкость массы.

Вязкость помады характеризуется её способностью к транспортированию, формованию, влияет на процесс формирования корпуса, поскольку помада представляет собой структурированную дисперсную систему.

**Способы формования** конфетных масс обусловлены их консистенцией. В кондитерской промышленности наиболее широкое распространение получили следующие способы формования: отливка корпусов конфет в формы (жёсткие, мягкие, с крахмалом), выпрессовывание, прокатка пластов, отсадка корпусов конфет, размазка пластов. Отливка и отсадка дают сразу изделия желаемой формы, а размазывание, прокатка и выпрессовывание требуют последующей резки.

Выбор способа формования зависит в основном от свойств конфетной массы, её структурно-механических свойств (вязкость, пластичность, прочность и т. д.) и физико-химических свойств (влажность, температура, рецептурный состав и прочее). Некоторые массы можно формовать только одним способом, а другие \_ целым рядом способов.

Основными факторами при выборе способа формования являются реологические свойства кондитерских масс. Это вязкость, которая при необходимости может изменяться путем регулирования влажности, жирности и, главным образом, температуры.

**Отливка** - наиболее распространенный способ формования и основан на текучести масс в горячем состоянии, обладающей низкой вязкостью. Этим способом получают помадные, фруктовые, железные, ликерные, молочные кондитерские корпуса и мармелад.

Формование отливкой – это процесс дозирования и заполнения форм массой в текучем состоянии и структурирование массы в формах. Отливку производят в разрушаемые из крахмала или в жесткие из силикона формы. Отдельные виды изделий формуются в формы из сахара-песка.

При отливке выполняются следующие операции: формование ячеек в крахмале, отливка кондитерской массы, выстаивание при определенных условиях отлитой в крахмал массы, далее выборка корпусов из крахмала и удаление крахмала с поверхности

К крахмалу как формовочному материалу предъявляются особые требования, его влажность - 5-9%, формы после выштамповывания должны быть неосыпающиеся, с гладкой поверхностью и легко удаляться с отформованных корпусов.

Температура кондитерской массы при формовании отливкой имеет важное значение, так как с повышением температуры снижается вязкость, и она легче отливается. Оптимальная температура для отливки кондитерских масс, °С: помадная (сахарная и молочная) 65-72, с добавлением орехов и злаковых культур 70-75, фруктово-помадная 80-85, фруктовая 96-106, железная 70-75, молочная 110-110, ликерная 90-95. Формы крахмальные и силиконовые можно заполнять как одной массой, так и несколькими в виде слоев или внутри корпуса находится другая кондитерская масса.

Выстаивание кондитерских корпусов происходит в установках ускоренной выстойки, где для каждого вида кондитерской массы установлен определенный режим: помадная масса -38-40 мин. при температуре 4-10°С, фруктовая масса 50-60 мин. при температуре 4-10°С, молочная и ликерная масса -60-90мин. при температуре 25-28°С в начале и 8-10°С в конце выстойки.

Способом *размазки с последующей резкой* формируют многие конфетные массы (помадные, фруктовые, ореховые, сбивные, кремовые).

Процесс формирования размазкой состоит из подготовки конфетной массы, её размазки, выстойки и резки. Размазывают конфетные массы при следующих температурах, °С: помадные -60-65; фруктовые - 80-85; сбивные, 55-60.

На размазном конвейере получают из бесформенных пластичных масс однослойные и многослойные конфетные корпуса, и неглазированные конфеты. Сначала конфетная масса загружается в каретки без дна с регулируемым зазором и далее поступает на движущуюся транспортерную ленту. При изготовлении неглазированных конфет толщина пласта - 14 мм, глазированных -12 мм. Для охлаждения конфетных пластов над размазным транспортером размещают охлаждающие камеры, куда подается воздух с температурой 15- 20°С. Далее пласт разрезается в двух взаимно перпендикулярных направлениях струнными или дисковыми ножами на прямоугольные формы.

При формировании *прокаткой* конфетный пласт образуется при прохождении массы между вращающимися валками. Температура помадных масс составляет 60°С, содержание влаги 12%. Полученный в зазоре между валками бесконечный пласт поступает на непрерывно движущуюся транспортерную ленту. Отформованный пласт поступает в охлаждающий шкаф с температурой воздуха 5-8°С с продолжительностью выстаивания 7 -12 мин. Дисковыми и гильотинными ножами пласт разрезается на отдельные корпуса конфет.

**Выпрессовывание** помадных масс является перспективным способом формирования. Позволяет получать массы различных форм и размеров и создать непрерывный поток производства. Процесс выпрессовывания состоит в выдавливании через профилированные формирующие матрицы массы в виде жгута бесконечной длины с последующим охлаждением и резкой.

Для формирования выпрессовыванием помадных конфетных масс необходимо в рецептуру вводить модифицированный крахмал для повышения вязкости массы и придания им пластических

свойств. Кроме того, необходимо создать интенсивное перед формованием с 60-70 до 18-25°C охлаждение массы.

**Ротационный** способ формования состоит в формовании конфетных масс с помощью роторов (РЗ ШМФ-4). Этим способом формуруются конфетные массы с влажностью 10-11% и жирностью 2-18%. Преимущество способа состоит в том, что можно получать корпуса конфет с чистой поверхностью и различной конфигурации.

*- Структурообразование конфетных масс при формовании*

Структурообразование помадных, молочных и ликерных конфет предопределяется процессом кристаллизации сахарозы. Структура этих конфет зависит от исходного состояния конфетной массы и технологических параметров кристаллизации.

При формовании отливкой в крахмал между конфетной массой и крахмалом происходит тепло- и влагообмен. Часть влаги поглощается крахмалом и снижается температура массы. При этом уменьшается растворимость сахарозы, повышается коэффициент пересыщения, что является движущей силой кристаллизации. В помадных массах, содержащих готовые кристаллы сахарозы, этот процесс протекает легко и быстро и зависит от скорости охлаждения массы. По мере охлаждения крахмала за счет теплообмена с окружающим воздухом в камере выстаивания происходит дальнейший рост кристаллов, уменьшение содержания жидкой фазы, срастание отдельных кристаллов.

В начальный период, после отливки массы в крахмальные формы, процесс кристаллизации наиболее интенсивно протекает на периферийных слоях, а затем по мере охлаждения корпуса распространяется на всю его массу. Поэтому помадные конфеты отличаются однообразной сплошной кристаллической структурой.

Несколько по-другому протекает процесс кристаллизации в перегретых помадных массах перед отливкой. Такие массы отличаются высокой концентрацией сахарозы в жидкой фазе в результате растворения части твердой фазы. После отливки перегретой массы происходит не только рост имеющихся кристаллов, но и образование новых центров кристаллизации, которые являются причиной появления белых пятен на поверхности конфет.

К структуре молочных и ликерных конфет предъявляются особые требования.

Молочные массы отличаются от молочной помады большим содержанием молочных продуктов, патоки и структурой. Они не содержат твердой кристаллической фазы перед формованием, а представляют собой после уваривания однородную вязкую массу, которую смешивают в temperирующих машинах со сливочным маслом, эссенцией и ванилином. Готовую конфетную массу температурой 110-115°С подают на формование.

Ликерные массы получают увариванием чисто сахарного или сахаро-паточного сиропа до содержания сухих веществ 80-82%. Полученная масса далее смешивается с винно-спиртовой смесью в количестве 10-30% к массе сахара. Ликерный сироп при температуре 90-95°С отливают в крахмальные формы.

Особенность молочных и ликерных корпусов состоит в том, что поверхность этих конфет должна быть покрыта твердой кристаллической корочкой, а внутри масса должна иметь полужидкую консистенцию. Такую структуру при формовании удастся получить при соблюдении определенных условий процесса кристаллизации.

При этом необходимо учитывать высокую вязкость молочных масс и отсутствие готовых центров кристаллизации в молочных и ликерных массах. Следовательно, при формовании необходимо прежде всего создать условия для возникновения большого количества центров кристаллизации в периферийных слоях массы.

На скорость структурообразования молочных и ликерных корпусов влияет температура массы при отливке, температура крахмала и температура среды выстойки.

Оптимальными условиями получения молочных и ликерных корпусов конфет является продолжительность выстаивания в течение 2-х часов при температуре крахмала 51 -52°С и температуре воздуха в камере 25 - 28°С и далее температура воздуха снижается до 8 - 10°С. Общая продолжительность выстаивания корпусов конфет составляет 60-90 мин.

Процесс кристаллизации в перегретых помадных массах перед отливкой. Такие массы отличаются высокой концентрацией сахарозы в жидкой фазе в результате растворения части твердой фазы. После отливки перегретой массы происходит не только рост имеющихся кристаллов, но и образование новых центров кристал-

лизации, которые являются причиной появления белых пятен на поверхности конфет.

К структуре молочных и ликерных конфет предъявляются особые требования. Молочные массы отличаются от молочной помады большим содержанием молочных продуктов, патоки и структурой. Они не содержат твердой кристаллической фазы перед формованием, а представляют собой после уваривания однородную вязкую массу, которую смешивают в темперирующих машинах со сливочным маслом, эссенцией и ванилином.

Готовую конфетную массу температурой 110-115°C подают на формование. Ликерные массы получают увариванием чисто сахарного или сахаропаточного сиропа до содержания сухих веществ 80-82%. Полученная масса далее смешивается с винно-спиртовой смесью в количестве 10-30% к массе сахара. Ликерный сироп при температуре 90-95°C отливают в крахмальные формы.

Особенность молочных и ликерных корпусов состоит в том, что поверхность этих конфет должна быть покрыта твердой кристаллической корочкой, а внутри масса должна иметь полужидкую консистенцию. Таковую структуру при формовании удастся получить при соблюдении определенных условий процесса кристаллизации.

При этом необходимо учитывать высокую вязкость молочных масс и отсутствие готовых центров кристаллизации в молочных и ликерных массах. Следовательно, при формовании необходимо прежде всего создать условия для возникновения большого количества центров кристаллизации в периферийных слоях массы.

На скорость структурообразования молочных и ликерных корпусов влияет температура массы при отливке, температура крахмала и температура среды выстойки. Оптимальными условиями получения молочных и ликерных корпусов конфет является продолжительность выстаивания в течение 2-х часов при температуре крахмала 51 -52°C и температуре воздуха в камере 25 - 28°C и далее температура воздуха снижается до 8 - 10°C. Общая продолжительность выстаивания корпусов конфет составляет 60-90 мин.

**Задание 1** Изучить теоретическую часть, ответить на вопросы для самоконтроля, ответы записать в рабочую тетрадь

Вопросы для самоконтроля:

1. Характеристика растворов в зависимости от концентрации сахарозы.
2. Назовите основные положения процесса зарождения кристаллов.
3. Характеристика помадной массы.
4. Влияние используемого антикристаллизатора на скорость кристаллизации сахарозы.
5. От каких факторов зависит скорость рекристаллизации кристаллов сахарозы?
6. Назовите факторы, влияющие на размер кристаллов в помаде.
7. Каково влияние реологических свойств конфетных масс на способ формования?
8. Назовите процессы, протекающие при выстаивании в помадных, молочных и ликёрных корпусах конфет.

**Задание 2** Ответить на вопросы теста

1 В каком растворе сахарозы происходит её самопроизвольная кристаллизация:

- а) ненасыщенный раствор;
- б) насыщенный раствор;
- в) пересыщенный раствор

2 При какой температуре охлаждения помадного сиропа при сбивании количество твердой фазы возрастает до наибольшего значения:

- а) 40°C;
- б) 50°C;
- в) 60°C;
- г) 70°C;

3 При какой температуре сбивания помадного сиропа можно получить оптимальный размер кристаллов сахарозы, С:

- а) 20;
- б) 40-60;
- в) 70-80;

4 Какой фактор определяет консистенцию помадных масс:

- а) размер кристаллов сахарозы;
- б) введение добавок патоки;
- в) продолжительность темперирования;

## **Практическое занятие №3. Реологические свойства фруктовых конфет и мармеладной массы и полученных студней**

### **Теоретическая часть**

*Реологические свойства фруктовых конфет и мармеладной массы и полученных студней. Способы регулирования реологических свойств. Влияние этих свойств на вкусовые качества изделий.*

Студни являются эластичными системами. Эластичность высокополимеров объясняют гибкостью их молекул. Считается, что если к полимеру приложена нагрузка, то при этом происходит два процесса: с одной стороны, гибкая цепь под влиянием нагрузки распрямляется и образец удлиняется, с другой - макромолекулы, как одно целое, могут смещаться друг относительно друга, т.е. имеет место процесс пластического течения. После снятия нагрузки распрямленные цепи опять стремятся согнуться, что ведет к сокращению образца.

Макромолекулы могут быть различной степени гибкости. Гибкость их зависит от ряда причин: природы атомов, характера распределения их по длине цепи, величины сил сцепления, длины цепи, температуры. Основой их механической характеристики, как и чистых высокополимеров, является сочетание высокоэластической деформации с пластической, т.е. текучестью при напряжениях сдвига, превышающих предел упругости. Это связано с внутренней структурой студней: наличием в них непрерывного твердого каркаса, охватывающего непрерывную жидкую фазу, в которой ионы электролитов движутся также свободно, как и в растворе.

Физико-химические свойства студней зависят от природы полимера, присутствия в среде других компонентов, влияющих на интенсивность межмолекулярных сил концентрации полимера, температуры, среды.

Агаровый и пектиновый студень при одинаковых показателях прочности сильно отличаются по внешним признакам: излому и вкусу. При близких значениях прочности и констант упругости релаксационная вязкость значительно выше для пектина, несколько ниже для агароидных студней и ещё ниже для агара.



Прочный пектиновый студень может получиться только при наличии трёх компонентов: пектина, сахара и кислоты. На прочность пектинового студня оказывает влияние природа кислоты.

На прочность пектинового студня оказывает влияние природа кислоты. Анионы кислот, содержащие оксигруппы, способствуют образованию наиболее прочных студней по сравнению с анионами, обладающими тем же количеством атомов углерода, но не имеющим оксигруппы. Прочным получается студень при введении в систему триоксиглутаровой кислоты, содержащей две группы СООН и три -ОН.

Фруктовые, железные и железно-фруктовые кондитерские массы отличаются друг от друга по своим реологическим свойствам. Следует отметить, что конфетные фруктовые массы отличаются от фруктовых мармеладных по структуре студня.

Кондитерская масса, приготовленная из сахара-песка и фруктово-ягодного сырья, отличается высокой вязкостью, обладает упруго - пластичной консистенцией. Для получения мармеладного студня используется яблочное пюре с высокими студнеобразующими свойствами (прочностью), поэтому он представляет собой полутвёрдое тело, образующее при его разрезании ножом гладкие не склеивающиеся поверхности с острыми гранями.

Фруктовый конфетный студень плотный, гибкий, вязкий. В отличие от мармеладного он изготавливается из таких видов пюре, которые обладают наименьшей студнеобразующей способностью, чем яблочное (абрикосовое, сливовое и др.). Железно-фруктовые кондитерские массы готовят из сахара-песка и фруктово-ягодного сырья с добавлением студнеобразователя. Эти изделия имеют упруго-эластичную консистенцию.

Студнеобразователем здесь является пектин фруктово-ягодного сырья и добавляемые агар, агароид или пектин. В состав железных кондитерских масс входит сахар-песок и студнеобразователь (пектин, агар, агароид и т.п.). По реологическим свойствам эти массы ближе всего к классическим студням и обладают упруго-эластичной консистенцией.

Большое влияние на технологические свойства железных масс (процесс студнеобразования), изготовленных с агаром и агароидом оказывает их вязкость. Растворы агароида имеют большую вяз-

кость, чем растворы агара. При повышении вязкости жележных кондитерских масс температура начала студнеобразования повышается.

Конфетные жележные массы с агаром или агароидом несколько отличаются от масс, изготовленных на фруктовой основе, по физическим свойствам. Массу из яблочного пюре можно получить при уваривании её до содержания сухих веществ 58-60%, а из сливового пюре только при уваривании до 80% сухих веществ. При равном содержании сухих веществ прочность яблочного студня более, чем в два раза превышает прочность студня из слив.

На прочность корпусов конфет и фруктового мармелада оказывает влияние качество используемого желирующего сырья, рецептура, влажность массы и содержание в ней редуцирующих веществ.

Повышение влажности, содержания сахара кондитерских масс снижает прочность студня (при прочих равных условиях). Прочность студня зависит от концентрации водородных ионов. С повышением концентрации водородных ионов прочность студней падает, а скорость студнеобразования несколько возрастает.

Оптимальная концентрация водородных ионов, обеспечивающая образование прочного студня на фруктово-ягодной основе, соответствует значению рН 3,36. Слишком большое содержание кислоты во фруктово-ягодных массах не только ухудшает вкусовые свойства готовых изделий, но и ведет к образованию очень большого количества фруктозы при уваривании, вследствие чего повышается гигроскопичность изделий. При недостаточной кислотности пюре фруктовая масса не может хорошо желировать. С целью интенсификации производства фруктовых и жележно-фруктовых масс для конфет и мармелада широко используются соли-модификаторы (лактат или цитрат натрия), представляющие собой натриевые соли органических.

Соли - модификаторы вводят в яблочное пюре, для того чтобы не допустить образования внутренней структуры, т.е. объединения пектиновых молекул в студневой каркас. Введение их делает пектиновые молекулы в яблочно-сахарной смеси более агрегативно устойчивыми. Это действие солей модификаторов позволяет повысить растворимость пектина, т.е. снизить вязкость массы, и увели-

чить в рецептуре количество яблочного пюре при уваривании до требуемой влажности. Поэтому массу можно уваривать до 31 - 33% против 38-40% влаги. Температура студнеобразования снижается с 90 до 70°C, что дает возможность перекачивать яблочно-сахарную смесь на большие расстояния.

Лактат (цитрат) натрия упрочняет структуру изделий. Введение лактата натрия сокращает процесс сушки с 40 до 6-7 часов в производстве мармелада, так как основное удаление влаги происходит при уваривании. Буферная соль вводится непосредственно в сахаро-фруктовую массу перед увариванием, количество которой зависит от кислотности пюре (0,15-0,24% к массе яблочно-сахарной смеси 100% - ного лактата натрия). Однако лактат натрия смещает рН в сторону щелочной среды, поэтому требуется дополнительное введение кислоты.

При использовании слабожелирующего абрикосового пюре влияние лактата натрия на эластические свойства массы становится слабо заметным. Пластические же свойства студней, как правило, уменьшаются даже при слабожелирующем пюре, увеличивается прочность студня. Введение в рецептурные смеси солей-модификаторов при изготовлении конфетных масс позволяет применять слабожелирующее абрикосовое пюре, заменяя значительную часть его (50%) желирующим яблочным пюре, так как при этом повышается растворимость яблочного пектина и студнеобразование сдвигается в область более низких температур (с 95 до 65-70°C), что соответствует температуре студнеобразования абрикосового пюре с сахаром. Добавление солей-модификаторов благодаря их буферному свойству сдерживает скорость нарастания редуцирующих сахаров в процессе уваривания.

Оба эти свойства позволяют проводить уваривание конфетных масс в вакуум-аппаратах, т.е. при пониженных температурах, что значительно улучшает качество (цвет, аромат и содержание инвертного сахара). Дозировка лактата натрия зависит от кислотности конфетной массы и в среднем составляет 0,5% в пересчете на 100%-ый лактат натрия.

В желейных массах соли-модификаторы используют в количестве около 0,5% к массе сиропа для предотвращения гидролиза агароида и сохранения его желирующей способности.

Таким образом, применение солей-модификаторов в производстве изделий со студнеобразной структурой позволяют регулировать технологические параметры производства и улучшить вкусовые качества изделий.

*Структурообразование конфетных масс при формовании*

Фруктовые, желейные и желейно-фруктовые конфетные и мармеладные массы после формования приобретают студнеобразную структуру за счет наличия в рецептуре студнеобразователей (пектина, агара, агароида, фулцеларана).

После уваривания при температуре 100-110°C фруктовые, желейные и желейно-фруктовые массы представляют собой вязкие жидкости, постепенно конфет зависит от исходного состояния конфетной массы и технологических параметров кристаллизации.

При формовании отливкой в крахмал между конфетной массой и крахмалом происходит тепло- и влагообмен. Часть влаги поглощается крахмалом и снижается температура массы. При этом уменьшается растворимость сахарозы, повышается коэффициент пересыщения, что является движущей силой кристаллизации. В помадных массах, содержащих готовые кристаллы сахарозы, этот процесс протекает легко и быстро и зависит от скорости охлаждения массы.

По мере охлаждения крахмала за счет теплообмена с окружающим воздухом в камере выстаивания происходит дальнейший рост кристаллов, уменьшение содержания жидкой фазы, срастание отдельных кристаллов.

В начальный период, после отливки массы в крахмальные формы, процесс кристаллизации наиболее интенсивно протекает на периферийных слоях, а затем по мере охлаждения корпуса распространяется на всю его массу. Поэтому помадные конфеты отличаются однообразной сплошной кристаллической структурой.

Фруктовые, желейные и желейно-фруктовые конфетные и мармеладные массы после формования приобретают студнеобразную структуру за счет наличия в рецептуре студнеобразователей (пектина, агара, агароида, фулцеларана).

После уваривания при температуре 100-110°C фруктовые, желейные и желейно-фруктовые массы представляют собой вязкие жидкости, постепенно переходящие при охлаждении в структури-

рованные системы. Для них характерна студнеобразная структура, которая возникает благодаря переходу при определенной температуре золь студнеобразующего вещества в гель.

В горячей фруктово-желейной массе студнеобразующее вещество находится в растворенном состоянии. Его молекулы покрыты сольватными (гидратными) оболочками. Под действием теплового движения они беспорядочно перемещаются в дисперсионной среде, которой является водный раствор сахара, кислоты и экстрактивных веществ фруктово-ягодного пюре.

Карбоксильные группы пектиновых веществ способны диссоциировать на ионы, поэтому значительная часть молекул представляет собою высокомолекулярные анионы, так как несут на своей поверхности отрицательный заряд. Благодаря этому при встрече они взаимно отталкиваются друг от друга.

Агар и агароид в водном растворе также представляют собой электролиты. Они диссоциируют в воде на ионы кальция и высокомолекулярные анионы, отрицательный заряд которых определяется эфирносвязанными остатками серной кислоты. Водные растворы студнеобразователей относятся к лиофильным дисперсным системам. Их лиофильность обусловлена тем, что на поверхности молекул пектиновых веществ, других студнеобразователей находится много полярных групп.

Полярные вещества хорошо растворимы в таких полярных растворителях как вода, на их границах раздела возникает низкое межфазное натяжение, поэтому высокомолекулярные вещества, к которым относятся студнеобразователи, не обнаруживают значительной тенденции к ассоциации. В таких дисперсных системах тенденция к агрегированию практически отсутствует или настолько мала, что она преодолевается интенсивным тепловым движением частиц. Присутствие в растворе кислоты более диссоциированной, чем пектиновые кислоты, или добавление кислоты в реакционную смесь снижает степень диссоциации пектиновых кислот, уменьшая электрический заряд его частиц. Снизить величину электрического заряда диссоциированной молекулы агара (агароида) можно введением в его молекулу соответствующего катиона. Пектиновые вещества способны коагулировать из раствора и образовывать студень. Их коагуляцию можно вызвать добавлением спирта, ацетона и дру-

гих водоотнимающих веществ. Действие этих осадителей заключается в том, что они снимают с пектиновых частиц гидратную оболочку, препятствующую соединению их между собой.

Переход золя пектина в гель наблюдается также при добавлении солей поливалентных металлов. При этом высокомолекулярные анионы пектина соединяются с катионами поливалентных металлов, что уравнивает их электрический заряд.

При производстве фруктовых мармеладов и конфетных масс роль водоотнимающего вещества выполняет сахар. При охлаждении пектинового золя подвижность частиц пектина уменьшается. Под действием флуктуаций в отдельных участках раствора может скапливаться большое количество дегидратированных, лишенных электрического заряда молекул пектина. Последние ассоциируются друг с другом через десольватированные участки. Силы притяжения частиц сосредоточены на их концах, что способствует образованию пространственной сетки.

Кислотно-сахарные, пектиновые студни образуются побочной валентностью, т.е. посредством водородной связи.

В результате такого взаимодействия между пектиновыми частицами образуется ячеистая структура, пронизывающая всю массу. Свободное пространство структурного каркаса заполняется дисперсионной средой, которая адсорбционно связывается с сеткой каркаса и отвердевает вместе с дисперсной фазой коллоидного раствора в одну сплошную массу без видимого разделения обеих фаз.

После формирования студня происходит постепенное упрочнение пространственной сетки за счет взаимодействия полярных групп макромолекул, ионизированных групп, несущих электрический заряд различного знака. При этом происходит упорядочение отдельных участков молекул. Эти участки обычно ориентируются параллельно друг другу, так как такая ориентировка способствует уменьшению свободной энергии системы.

Если образовавшиеся между макромолекулами связи не слишком прочны, то механическим перемешиванием или встряхиванием можно разрушить структуру и студень превращается в жидкость. При спокойном стоянии такой жидкости в ней снова образуется студень. Такое явление называется тиксотропией.

Это свойство студней используется при производстве мармеладных студней. Иногда при использовании высококислотного и сульфитированного пюре процесс студнеобразования начинается в рецептурном смесителе. Перемешиванием рецептурной смеси разрушают образовавшийся студень, что не влияет на повторное студнеобразование. Основные закономерности образования пектинового студня приемлемы к объяснению образования агаровых (агаридных) студней. Только в данном случае присутствие сахара не обязательно, а кислота, наоборот, разрушающе действует на молекулу агара.

**Задание 1** Изучить теоретическую часть, кратко законспектировать изученный материал, ответить на вопросы, ответы записать в рабочую тетрадь.

1 Дайте характеристику изделий студнеобразной структуры.

2 Какова цель применения солей-модификаторов?

**Задание 2** Ответить на вопросы теста

1. Какой процесс протекает во фруктовых конфетных корпусах при выстаивании:

а) кристаллизация;

б) студнеобразование;

в) пенообразование;

**Практическое занятие №4. Реологические свойства шоколадных полуфабрикатов**

### **Теоретическая часть**

*Шоколадные полуфабрикаты и пралиновые массы, как дисперсные системы (какао тертое, шоколадная масса, шоколадная глазурь и др.), их устойчивость*

Шоколадные и пралиновые конфетные массы представляют собой высококонцентрированные дисперсные системы и относятся к суспензиям. Дисперсной фазой в них являются микрокристаллики сахара и твердые частички какао тертого или тертой массы обжаренных ядер орехов, а также твердые частички вводимого дополни-

тельного сырья. Дисперсионной средой служит какао масло в шоколадных массах без добавлений. В шоколадных массах, содержащих молочные продукты и продукты переработки орехов, дисперсионная среда представляет собой смесь различных жиров. В пралиновых конфетных массах в состав дисперсионной среды входит твердый жир в соответствии с рецептурой и масла орехов.

При температуре выше температуры плавления какао масла или смеси жиров шоколадная и пралиновая массы относятся к дисперсным системам Т/Ж. При температуре ниже температуры кристаллизации жиров полуфабрикаты приобретают твердую структуру и в этом случае относятся к дисперсным системам Т/Т. В пористом шоколаде появляется третья -газообразная фаза, которая в виде воздушных или газовых пузырьков зафиксирована в твердой структуре.

Какао тертое, содержащее более 50% какао масла, при температуре выше температуры его плавления представляет собой суспензию с жидкой дисперсионной средой -какао маслом, в котором находится дисперсная фаза в виде твердых частичек ткани обжаренного ядра какао бобов (измельченные клеточные оболочки, крахмальные гранулы, алейроновые зерна, частички измельченной какаофеллы).

К какао тертому близка тертая масса, полученная измельчением обжаренного ядра орехов. Оба полуфабриката относятся к дисперсным системам Т/Ж при температуре, обеспечивающей их жидкообразную консистенцию. Какао тертое как суспензия является агрегативно неустойчивой системой, что подтверждается ее расслаиванием на жидкую и твердую фракции при отсутствии перемешивания. Устойчивость ее возможна только при полном тиксотропном восстановлении структуры или при полном расслоении на твердую и жидкую фазы.

*Реологические свойства шоколадных полуфабрикатов, как фактор, влияющий на эффективность переработки какао бобов*

Эффективность переработки какао бобов оценивается количеством продукции, т.е. шоколада, которое можно получить из 1т.товарных какао бобов. Она зависит от многих факторов, в том числе от реологических свойств шоколадных полуфабрикатов: ка-



као тертого и шоколадных масс. Рецептуры на шоколад, шоколадную массу для формования определяют расход основных ингредиентов: сахарной пудры, какао тертого, какао масла, ароматизаторов и эмульгаторов, играющих роль разжижителей.

Наиболее дорогими компонентами являются какао тертое и какао масло. От реологических свойств какао тертого зависит выход какао масла и его себестоимость, а также расход какао масла на приготовление шоколадных масс, а, следовательно, и на себестоимость готовой продукции. Экономия какао масла в допустимых пределах выгодна производителям шоколадной продукции.

Поэтому теххимический контроль шоколадного производства предусматривает обязательный производственный контроль шоколадных полуфабрикатов по реологическим показателям.

*Механизм образования структур. Виды структур. Показатели реологических свойств. Эффективная вязкость, пластическая вязкость, текучесть. Аномалия вязкости. Тиксотропное восстановление*

Дисперсные системы, к которым относятся шоколадные полуфабрикаты и пралиновые массы, обладают структурами в результате взаимодействия между дисперсными частицами твердой фазы. По характеру связей в них образуются коагуляционные структуры. Коагуляционные структуры образованы твердыми частицами в жидкой дисперсионной среде и характеризуются сравнительно слабыми по силе взаимодействия контактами между частицами. Полифобным участкам поверхности частиц через тончайшие прослойки дисперсионной среды действуют ван-дер-ваальсовы молекулярные силы. Такого рода структуры образуют в объеме массы трехмерный каркас. Различают коагуляционные структуры компактные и рыхлые.

*Рыхлые дисперсные коагуляционные структуры* возникают при малых объемных концентрациях дисперсной фазы (даже при концентрации менее 1 %), если дисперсность достаточно высокая и частицы анизометричны.

В шоколадных массах дисперсная фаза составляет около 65%, а размер частиц в основной массе составляет 16 -35 мкм. Среди

частиц твердой фазы находятся частички клеточных оболочек, частички какаоветеллы, имеющие форму пластинок, палочек, т.е. удлинённую форму. Сцепление частиц происходит по углам, ребрам и другим неровностям, на участках наибольшей концентрации свободных молекулярных сил. Это объясняется тем, что в этих местах утоньшаются адсорбционно-сольватные оболочки дисперсионной среды.

В этих системах дисперсионная среда удерживается внутри структуры, а вся система теряет легкоподвижность и со временем не расслаивается.

Какао тертое содержит меньше дисперсной фазы - около 45%. Поэтому образующаяся рыхлая коагуляционная структура имеет меньшую прочность, которая не в состоянии препятствовать расслаиванию. Под влиянием механического воздействия происходит разрушение структуры какао тертого и шоколадных масс. Но после предварительного механического разрушения такие структуры самопроизвольно восстанавливаются во времени.

Это явление называется тиксотропией т.е. тиксотропия дисперсных структур заключается в восстановлении связей между частицами после механического разрушения в результате благоприятного соударения частиц, находящихся в броуновском движении. Связано это с наличием тонких пластифицирующих прослоек между частицами.

*Компактные коагуляционные структуры* возникают в шоколадных массах после вальцевания. Вследствие большого объёма дисперсной фазы - 75-73% и соответственно малого содержания дисперсионной среды частицы связаны друг с другом прямыми точечными (атомными) контактами. Такие дисперсные системы не обладают тиксотропными свойствами.

Некоторые исследователи считают, что в шоколадных массах, прошедших все стадии технологической обработки образуются коагуляционные структуры двух типов:

- коагуляционные структуры из микрокристалликов сахара, соединённых через тончайшие пленки воды. Содержание сахара в шоколадных массах превышает 50% и его участие в структурообразовании значительно.

- коагуляционные структуры из микрочастиц клеточных тканей какао бобов, соединенных через прослойки жира.

Вполне вероятно образование смешанных структур.

Структуры, образованные молекулами сахарозы, имеющими гидрофильные группы ОН, СО, СН, и молекулами воды, более прочны и стойки, т.к. обусловлены ван-дер-ваальсовыми силами взаимодействия указанных групп и воды. Существует мнение, что структурные образования из микрокристалликов сахара определяют величину вязкости шоколадных масс. Установлено, что силы сцепления между кристалликами сахара в среде какао масла в 2-3 раза выше аналогичных сил между частицами какао. Объясняют это более тесными контактами через тонкие пленки жидкой среды.

При сближении частиц сахара пленки какао масла вытесняются из зазора в местах контакта. Образуются прочные контакты за счет взаимодействия частиц друг с другом через тончайшие пленки воды. Для разрушения структуры, образованной микрокристалликами сахарозы, требуется энергия разрыва связей на два порядка выше, чем для разрыва коагуляционной структуры из частичек какао. Этим объясняется аномалию вязкости шоколадных масс в широком интервале температур (30-80°C и выше.)

При охлаждении шоколадных масс после формования в результате кристаллизации какао масла коагуляционные структуры с точечными контактами превращаются в конденсационно-кристаллизационные. Главными признаками таких структур является высокая по сравнению с коагуляционными структурами прочность, определяемая высокой прочностью самих фазовых (непосредственных) контактов между частицами, необратимый характер разрушения, т.е. отсутствие тиксотропного восстановления структуры, большая хрупкость из-за жесткости контактов.

Пралиновые конфетные массы, как и шоколадные, относятся к высококонцентрированным дисперсным системам и характеризуются полной агрегативной неустойчивостью. Пралиновые массы имеют смешанную коагуляционно-кристаллизационную структуру.

При температурах выше температуры плавления жировой смеси в них образуется коагуляционная структура из микрокристалликов сахара и части клеточной ткани орехов. Механизм образования структуры аналогичен этому процессу в шоколадных мас-

сах. При температуре ниже температуры застывания жировой смеси происходит кристаллизация жиров в пленках, разделяющих частицы. Структура из коагуляционной переходит в кристаллизационную. Система теряет тиксотропные свойства. При механическом воздействии происходит разрушение кристаллизационной структуры.

Реологические свойства шоколадных полуфабрикатов характеризуют следующими показателями: эффективной вязкостью, пластической вязкостью, текучестью.

Эффективная вязкость -это вязкость, определяемая при определенной скорости сдвига (определенном градиенте скорости) и является реологической характеристикой поведения массы при созданных условиях. С увеличением градиента скорости эффективная вязкость уменьшается вследствие разрушения структуры.

В отличие от ньютоновских жидкостей, имеющих постоянное значение вязкости при изотермических условиях, структурированные массы, к каким относятся и шоколадные массы, характеризуются зависимостью вязкости (эффективной) от градиента скорости.

При значительном разрушении структуры вязкость стремится к минимальному значению. На кондитерских предприятиях для цехового контроля используют вискозиметр В.А Реутова, позволяющий определять эффективную вязкость при одном определенном градиенте скорости и определенных температурных условиях.

Опытным путем установлены оптимальные значения, с которыми сравнивают получаемую вязкость для опытных образцов. Это позволяет принимать решения о действиях, необходимых для достижения оптимальной вязкости производственных масс. Рассчитывается вязкость как отношение напряжения сдвига к скорости деформации. На ряде предприятий и фирм вязкостные свойства жидкого шоколада оцениваются пластической вязкостью, определяемой как соотношение напряжения сдвига (предела текучести) к скорости сдвига. Единицей измерения вязкости является Па. с или Пуаз= 0.1 Па. с. Предел текучести (единица измерения Паскаль) - функционально связан с вязкостью и означает усилие, которое надо приложить, чтобы началось течение шоколада. При большом значении предела текучести масса не проявляет способности к течению. Такая масса отвечает требованиям, необходимым для декори-

рования изделий. Если предел текучести имеет низкое значение, масса обладает текучестью, которая необходима для глазирования изделий.

Таким образом реология жидкого шоколада определяет оптимальное количество глазури на изделиях, оптимальное количество жира в шоколаде и используется для расчета размера насосов. Шоколад для формования и глазурь должны иметь разные реологические характеристики. Так пластическая вязкость и предел текучести молочного шоколада ниже, чем темного шоколада. Наименьшие значения должны быть у шоколадной глазури.

*Факторы, влияющие на вязкость масс, на расход жировых рецептурных компонентов*

Вязкость какао, тертого зависит от влажности, дисперсности, температуры, содержания ПАВ, от состояния таких углеводов как крахмал, пентозаны, от механического воздействия, от содержания какао масла. С увеличением влажности вязкость какао, тертого повышается. С повышением влажности какао, тертого выше 2% оказывает влияние не только влага, но и набухшие крахмальные зерна и пентозаны. Рост вязкости вызывает клейстеризация крахмала при температуре более 50 °С.

Повышение содержания жира в какао тертом, рост температуры, введение поверхностно - активных веществ, механическая обработка, приводящая к разрушению тиксотропно обратимых молекулярных связей, снижают вязкость какао тертого. Чем выше дисперсность частиц какао тертого, тем более полно вскрыты клетки ядра и выделен из них жир. Вязкость какао, тертого при прочих равных условиях снижается.

Вязкость шоколадных масс зависит от влажности, содержания какао масла или жиров, дисперсности, температуры, природы твердых частиц, присутствия поверхностно-активных веществ. Таким образом вязкость и прочность шоколадных масс зависят от многих факторов и могут регулироваться с учетом направленного действия этих факторов.

Физико-химические показатели, реологические свойства пралиновых масс зависят от вида используемых орехов, дисперсности

тертой ореховой массы, от соотношения твердых и жидких жиров от их свойств.

*Использование природных и синтетических поверхностно -  
активных веществ (ПАВ)*

Дисперсионной средой какао тертого и шоколадных масс является какао масло. Оно относится к неполярным гидрофобным веществам. На поверхности частиц ткани какао бобов имеются полярные группы и могут быть покрыты гидратными оболочками. Кристаллики сахара в шоколадных массах покрыты гидратными оболочками и какао масло не смачивает поверхность кристаллов сахара и не может образовывать жидкие пленки между кристаллами сахара. Это способствует структурообразованию и повышению вязкости. Эффективное снижение вязкости какао тертого и шоколадных масс (при минимально допустимом количестве какао масла) может быть достигнуто путем введения веществ, слабо растворимых в воде и обладающих гидрофильными и липофильными свойствами. Такие свойства присущи поверхностно-активным веществам.

Из природных поверхностно-активных веществ широкое применение в шоколадном производстве нашли соевые фосфатидные концентраты. В их состав входят 60-65% фосфатидов и 35-40% соевого масла. В таком виде они более стойки к прогорканию. Среди фосфатидов содержатся холинфосфатиды (лецитины) и этаноламинфосфатиды (кефалины). Молекулы фосфатидов состоят из двух частей: полярной группы и неполярного углеводородного радикала.

Лецитины представляют собой сложные эфиры глицерина. Два гидроксила этерифицированы жирными кислотами. Третий гидроксил замещен ортофосфорной кислотой, которая в свою очередь, образует сложный эфир с азотсодержащим соединением - холином. Кефалины вместо холина содержат азотсодержащий этаноламин.

Полярными группами ПАВ могут быть группы:  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{CHO}$ ,  $-\text{NH}_2$  и др. неполярной частью служат неполярные углеводородные радикалы, алифатические или ароматические радикалы.

При введении фосфатидов в какао тертое молекулы лецитина адсорбируются на поверхности водных пленок, покрывающих твердые частицы какао, и снижают поверхностную энергию, уменьшают силы притяжения твердых частиц, препятствуют образованию коагуляционных структур, понижают вязкость и прочность.

В шоколадных массах молекулы лецитина адсорбируются также в виде моно слоя на поверхности водных пленок, покрывающих микрокристаллики сахара. Молекулы лецитина могут также занимать промежуточное положение между пленками воды на поверхности твердых частиц и какао маслом в шоколадной массе. Все эти факторы способствуют снижению ее вязкости.

Из природных ПАВ используют фосфатиды, выделяемые из сои, семян подсолнечника, рапса. Из синтетических ПАВ используют дистиллированные моноглицериды подсолнечного масла, эфиры моноглицеридов с диацетиловой кислотой, эфиры моноглицеридов с лимонной кислотой.

#### *Повышение эффективности разжижающего действия ПАВ в шоколадных массах*

Эффективность действия фосфатидов и синтезированных ПАВ при производстве шоколада принято характеризовать по их разжижающей способности и определять по количеству какао масла, понижающему вязкость шоколадной массы до такой величины, которая достигается при добавлении 0.4 процента ПАВ. Из приведенных выше ПАВ наибольшую разжижающую способность имеют соевый фосфатидный концентрат (4.2 -4.5 %), рапсовый фосфатидный концентрат (4.3-4.6%), наименьшую- дистиллированные моноглицериды подсолнечного масла (0.7 %) и эфиры моноглицеридов (2.2-2.4%). Таким образом использование синтезированных ПАВ в шоколадном производстве нецелесообразно. Однако, совместное использование лецитина и эмульгатора

Палсгаард 4125, представляющего собой эфир полиглицерина взаимоэтерифицированных рицинолевых кислот (ПГПР), приводит к большему снижению содержания какао масла в шоколаде.

Палсгаард уменьшает поверхностное натяжение шоколадной массы, уменьшает предел текучести, взаимодействует синергетиче-

ски с лецитином и уменьшает пластическую вязкость. По данным фирмы добавление в молочный шоколад 0.1% ПГПР 4125, кроме лецитина, можно сэкономить около 7% какао масла.

Эффективность действия ПАВ повышается при их введении в шоколадную массу после разрушения структуры при энергичном перемешивании. В этом случае для молекул ПАВ открыт свободный доступ к поверхностям частиц дисперсной фазы. С целью повышения эффективности действия ПАВ рекомендуется вводить их в две стадии в процессе конширования в определенной оптимальной последовательности, установленной для молочного шоколада с высоким содержанием сухих молочных продуктов, а также для десертного шоколада.

#### *Влияние ПАВ на жировое «поседение» шоколада*

Жировое «поседение» шоколада проявляется в появлении на поверхности плиток шоколада серого налета в виде мельчайших игольчатой формы кристалликов нестабильных форм триглицеридов какао масла. В изломе появляется зернистая структура. Поседевший шоколад является браком и подлежит переработке несмотря на то, что пищевая ценность шоколада, его доброкачественность и безвредность сохраняются.

На скорость полиморфных превращений влияет ряд факторов: температура, присутствие других жиров, добавки ПАВ, вязкость какао масла. В периодической литературе встречаются сообщения о предотвращении или замедлении поседения шоколада в присутствии поверхностно-активных веществ (лецитин, Grinsted STS-сорбитан тристеарат, на основе пищевых рафинированных растительных жирных кислот), о предотвращении поседения в заменителях какао масла (CBS, CBR).

На жировое «поседение» шоколадных изделий влияют различные примеси, находящиеся в какао масле. Жиры, повышающие температуру плавления какао масла, увеличивают стойкость изделий к поседению. Поверхностно-активные вещества задерживают поседение шоколада, так как ингибируют кристаллизацию какао масла.

#### *Оптимальные показатели вязкости полуфабрикатов*



- Вязкость какао, тертого при температуре 32°C не должна превышать 6Па.с.

- Оптимальная вязкость шоколадной массы, достигаемая на стадии конширования -11-14 Па.с.

- В соответствии с технологической инструкцией вязкость шоколадной массы при температуре 32°C на приборе В.А. Реутова должна составлять для производства:

- плиточного шоколада-12-16 Па.с

- шоколада для формования шоколадных батончиков и конфет «Ассорти» для корочки -11-13 Па.с для донышка - 9-11 Па.с для шоколадной глазури -9-12 Па.с

*Физико-химические процессы, протекающие в какао бобах при термической обработке, приготовлении какао тертого, при коншировании шоколадных масс. Их роль в формировании вкусовых и ароматических качеств изделий*

Технология производства шоколада включает длинный перечень операций, некоторые из которых имеют наибольшее значение в формировании вкусовых, ароматических качеств шоколада, в создании определенной твердой и хрупкой структуры. При этом в основе этих процессов лежат физико-химические изменения в продуктах переработки товарных, т.е. ферментированных какао бобов и получаемых на их основе шоколадных массах. Одной из основных операций, определяющих положительные физико-химические изменения, считают термическую обработку какао бобов или какао крупки.

При воздействии высоких температур при термической обработке протекают физико-химические, химические и биохимические процессы, в результате которых из предшественников аромата образуются вещества, усиливающие характерный аромат какао и цвет. Окислительные процессы дубильных веществ и частичный переход их в нерастворимую в воде форму сопровождается смягчением горького вяжущего вкуса какаопродуктов.

Этому способствуют ферментативные окислительные процессы, вызываемые ферментом полифенолоксидазой, при наличии его в активной форме. Значительную роль в повышении качества об-

жаренных какао бобов играет сахаро-аминная реакция (реакция меланоидинообразования). Конечные продукты реакции - меланоидины усиливают окраску какао бобов, промежуточные продукты реакции-альдегиды участвуют в образовании аромата.

Исходными продуктами реакции являются редуцирующие сахара: глюкоза, фруктоза, арабиноза, галактоза. Участвующие в этой реакции свободные аминокислоты образуются и накапливаются в процессе ферментации какао бобов на плантациях, за счет гидролиза белков. В товарных какао бобах установлено наличие 20 свободных аминокислот, в том числе все незаменимые. Свободные аминокислоты имеют специфический индивидуальный вкус: горький, слегка горький, слегка сладкий, сладкий, пресный и оказывают влияние на вкусовые качества какао бобов и получаемых продуктов. Количественные изменения свободных аминокислот способствуют изменению вкусовых свойств. В обжаренных какао бобах установлено более 300 соединений, из которых 46 являются специфическими для аромата какао.

При термической обработке происходит прежде всего прогрев какао бобов (крупки), удаляется частично влага и летучие органические кислоты, главным образом уксусная кислота, накапливающаяся в какао бобах при ферментации в результате уксуснокислого брожения. Уменьшается кислый вкус бобов. В тоже время кислотная среда способствует гидролизу сахарозы.

Одновременно происходят в какао бобах структурные изменения. Частично разрушаются клеточные оболочки в результате удаления влаги в виде пара и летучих кислот из клеток. Одновременно нарушается прочная связь какаовеллы с ядром какао бобов. Все это приводит к увеличению хрупкости какао бобов, облегчает их последующее дробление, измельчение и отделение какаовеллы. При обжарке какао бобов наблюдаются потери какао масла за счет диффузии в какаовеллу. Потери зависят от технологических параметров. Термическая обработка в определенной степени дезинфицирует какао бобы, однако значительная часть микрофлоры остается и требуется дополнительная обработка какао бобов в дебактеризаторе непосредственно перед поступлением какао бобов в обжарочный аппарат.

Продолжение физико-химических процессов происходит при получении из какао крупки какао тертого. Наряду с диспергированием ткани какао бобов и выделением из клеток какао масла происходит нагрев какао тертого и связанные с этим реакции. Особенно интенсивно протекают физико-химические процессы при получении какао тертого в ударно - штифтовых мельницах (дезинтеграторных установках) за счет аэрации воздухом и достижения более высоких температур.

Окончательное формирование вкуса и аромата шоколада происходит при коншировании шоколадных масс. При коншировании продолжаются физико-химические процессы, которые протекали на стадиях термической обработки какао бобов и получении какао тертого из какао крупки. Происходит облагораживание вкуса и аромата. Но процессы протекают медленно и требуется большая длительность обработки. С процессом конширования совмещены процессы обработки шоколадной массы эмульгатором и разведение какао маслом.

Темперирование шоколадных масс после конширования и предварительного охлаждения и фильтрации приводит к физико-химическим изменениям какао масла, препятствует возникновению жирового «поседения» шоколада и обеспечивает необходимую усадку (уменьшение объёма получаемой плитки) и легкую выборку из форм.

Таким образом шоколадное производство основано на ряде физико-химических процессов, без которых невозможно получение высококачественного готового продукта.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1 К каким дисперсным системам относятся шоколадные полуфабрикаты (какао тертое, шоколадная масса, шоколадная глазурь) и пралиновые конфетные массы? Состав дисперсных фаз и дисперсионной среды
- 2 Виды структур в шоколадных массах. Изменение структуры в процессе технологической обработки (вальцевание, разводка) шоколадной массы?
- 3 Механизм образования структур в шоколадных полуфабрикатах и пралиновой массе?
4. Показатели реологических свойств шоколадных

полуфабрикатов и пралиновой конфетной массы?

5. Аномалия вязкости шоколадных полуфабрикатов (какао тертое, шоколадная масса). Тиксотропное восстановление?

6. Факторы, влияющие на реологические свойства шоколадных полуфабрикатов (влажность, содержание жира, дисперсность, концентрация эмульгатора, температура, механическая обработка. Характер их влияния?

7. Физико-химические процессы, протекающие в какао бобах и орехах при термической обработке, их влияние на качество шоколада и пралиновых конфет?

8. Физико-химические процессы, протекающие в шоколадных массах при коншировании, их роль в формировании вкуса и аромата шоколада?

9. Влияние поверхностно-активных веществ на вязкость шоколадных полуфабрикатов (какао тертое, шоколадная масса), на жировое поседение шоколада?

10. Оптимальные показатели вязкости шоколадных полуфабрикатов?

### Тест по теме

1. При какой технологической обработке в шоколадных массах образуются коагуляционные компактные структуры:

- а) приготовление рецептурной смеси;
- б) вальцевание шоколадной массы;
- в) конширование шоколадной массы;
- г) темперирование шоколадной массы;

2. При наличии каких структур шоколадные полуфабрикаты обладают тиксотропными свойствами:

- а) коагуляционные рыхлые;
- б) коагуляционные компактные;
- в) конденсационно-кристаллизационные;

3. Какой из реологических показателей шоколадной глазури имеет существенное значение для декорирования изделий:

- а) эффективная вязкость;
- б) пластическая вязкость;

в) предел текучести;

4. Какие факторы приводят к снижению вязкости какао тертого и шоколадных масс:

а) увеличение влажности;

б) повышение дисперсности твердой фазы;

в) увеличение содержания какао масла;

г) повышение температуры;

д) механическое воздействие;

е) введение оптимального количества ПАВ;

5. Какие вещества, образующиеся при термической обработке какао бобов в результате физико-химических процессов, участвуют в формировании аромата:

а) водорастворимые дубильные вещества (флобафены);

б) меланоидины;

в) альдегиды;

г) пиразины;

## **Практическое занятие №5. Реологические свойства хлебопекарного теста. Измерение свойств муки и теста на различных приборах, моделирующих технологические процессы**

### **Теоретическая часть**

#### *Реологические свойства хлебопекарного теста.*

*Молочная закваска* для приготовления теста представляет собой сложную дисперсную систему. В интервале влажности 0,65 – 0,67 кг влаги на 1 кг закваски не наблюдается статического предела текучести. Понижение влажности до 0,63 вызывает появление этого предела; закваска обладает динамическим предельным напряжением сдвига, которое меняется от 3,5 до 6 Па. В диапазоне скоростей сдвига от 20 до 105 с<sup>-1</sup> среднее значение индекса течения равняется 0,8, а темпа разрушения структуры – 0,2.

Полученные на вискозиметре РМ-2 зависимости  $\eta_{эф}(\dot{\gamma}, W, p)$  показывают, что молочнокислая закваска обладает аномалией вязкости.

Вязкость ржаной закваски влажностью 0,663 – 0,669 кг влаги на 1 кг закваски изучали на ротационном вискозиметре РМ-2 при скоростях сдвига от 3,6 до 122 с<sup>-1</sup>. Построение зависимостей  $\dot{\gamma}(\tau)$  позволило выявить, что в исследованном интервале скоростей сдвига индекс течения равен 0,45. При влажности 0,7 закваска является жидкообразной аномально-вязкой системой, а при 0,61 – твердообразной. При скоростях сдвига более 50 с<sup>-1</sup> интенсивность снижения вязкости сравнительно мала, т.е. вязкость практически перестает зависеть от скорости сдвига.

Эффективная вязкость ржаной закваски зависит от ее плотности ( $\dot{\gamma} = 27,1\text{с}^{-1}$ ):

$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	750	800	850	900	950
$\eta_{\text{ЭФ}}$ , Па·с	2,25	2,35	2,65	3,05	3,35

Вязкость жидкой опары из пшеничной муки I и II сортов в диапазоне изменения влажности 0,62 – 0,68 кг влаги на 1кг опары при температуре 28 °С определяется в процессе брожения на ротационном вискозиметре РВ-8. Исследования показали, что жидкая опара влажностью 0,65 и 0,7 по своим свойствам приближается к ньютоновским жидкостям.

Одним из перспективных методов интенсификации тесто приготовления является акустическая обработка жидких полуфабрикатов хлебопекарного производства. Для изучения реологических свойств используют вискозиметр РМ-2. Наибольшую вязкость обработанная опара имеет после 120 мин брожения.

Вязкость бездрожжевого теста влажностью 0,44 – 0,62 кг влаги на 1 кг теста из пшеничной муки высшего и I сортов при температуре 30 °С исследуется на вискозиметре «Reotest». Полученные зависимости  $\eta_{\text{ЭФ}}(\dot{\gamma})$  при различных влажностях ( $W$ , кг влаги на 1 кг теста) имеют экспоненциальный характер; они могут быть описаны выражением:

$$\eta_{\text{ЭФ}} = a_1 + \exp \cdot a_2 / (100W)^{a_3}, \quad (1)$$

где:  $a_1, a_2, a_3$  – эмпирические коэффициенты.

Вязкостные характеристики хлебопекарного теста из пшеничной муки определяются на вискозиметре РВ-8 при скоростях сдвига

$0,01 - 0,1 \text{ с}^{-1}$ . Обработка результатов экспериментов позволяет получить зависимость пластической вязкости от влажности:

$$\eta = a_1 \dot{\gamma}^{a_2} W^{-a_3}, \quad (2)$$

где:  $W$  – влажность, кг/кг;

$a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты.

Зависимость модулей упругости  $G_1$  и эластичности  $G_2$  от влажности имеет вид:

$$G = b_1 \exp(-b_2 W), \quad (3)$$

где:  $b_1$  и  $b_2$  – эмпирические коэффициенты.

*Измерение свойств муки и теста на различных приборах, моделирующих технологические процессы*

В некоторых приборах, применяемых в хлебопекарной промышленности, не производится непосредственное измерение вязкости продукта, но получаемая на них диаграмма, её форма и размеры зависят от этой величины. Таким прибором, в частности, является *амилограф* фирмы «Брабендер» (Германия) рисунок 1.

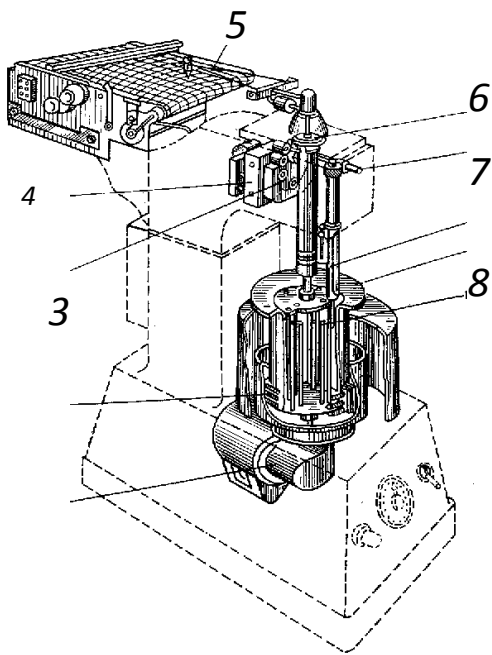


Рисунок 1 Амилограф

Этот прибор позволяет косвенным путём определять изменение кисти при замере теста. Смеситель 9 заполняется суспензией муки в воде, в него погружается деталь, которая связана с чувствительной измерительной системой 6. С помощью электродвигателя 1 смесителю 9 придаётся равномерное вращение, при этом наличие вязкого материала заставляет деталь 10 поворачиваться на некоторый угол. Возникающий таким образом момент через измерительную систему регистрируется записывающим устройством 5.

При необходимости может производиться подогрев суспензии электрическим обогревателем 2, температура контролируется контактным термометром 8, установка необходимой температуры производится вращением рукоятки 7. Исследования можно проводить как при постоянной, так и при непрерывно и равномерно повышающейся температуре. В последнем случае для автоматического управления присоединяется устройство 3 с синхронным двигателем 4. Таким образом, на непрерывно движущейся бумаге вычерчивается диаграмма, причём перемещение пишущего устройства пропорционально вязкости суспензии.

В технологических лабораториях для определения качества и особенностей обработки пшеничного теста применяется *фаринограф* (рисунок 2), принцип работы которого заключается в том, что в месилку 1 загружается 450 г исследуемого теста, движение месильным лопастям передаётся от электродвигателя 3, ось ротора которого находится в подшипнике 4. Сопротивление, которое испытывают лопасти месилки при вращении в исследуемом тесте, изменяется и как реактивный момент передаётся на корпус двигателя, поворачивая его в противоположном направлении. Это сопротивление через систему рычагов 7, колебания которых смягчаются масляным демпфером 8, передаётся на весы 5 и регистрирующий



прибор 6. На приборе записывается диаграмма в осях «нагрузка – время», высота кривой показывает плотность теста. Термостат 2 обогревает корпуса месилки и демпфера.

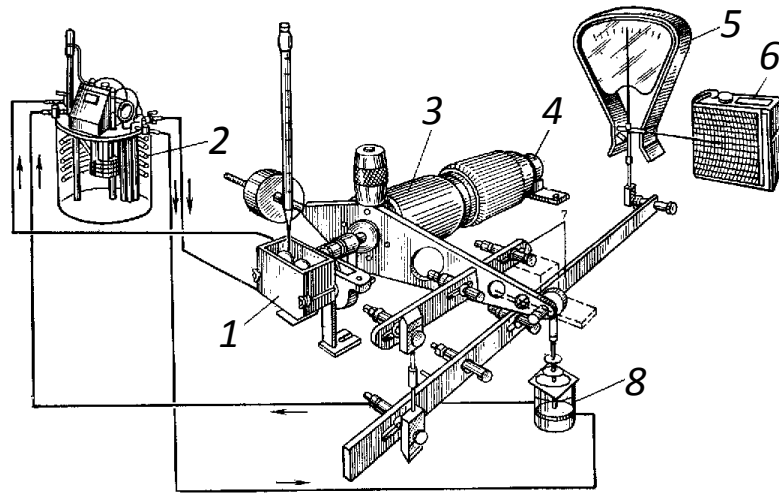


Рисунок 2 Фаринограф

На фаринографе можно производить специальные исследования влияния температуры, различных добавок и времени расстойки на консистенцию теста.

Одним из недостатков некоторых исследований хлебопекарных свойств муки является то, что в исследуемом образце теста нет такого важного компонента, как дрожжи. Это устраняется использованием прибора фирмы «Брабендер» – *матурографа* (рисунок 3).

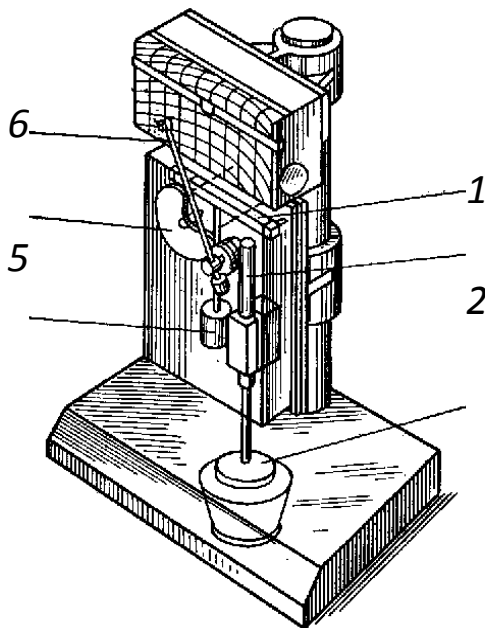


Рисунок 3 Матурограф

Прибор состоит из рычага 1, шарнирно закреплённого на одном конце, а на другом имеющего ролик, находящийся в контакте с кулачковой шайбой, усилие замыкания кинематической пары создаётся грузом 4, асимметрично установленным на рычаге; вала с жёстко закреплённым на нём диском 3, механически связанным с регистрирующим пером. Порция теста (150 г) закладывается в стакан и помещается в камеру, где поддерживается температура  $30^{\circ}\text{C}$  и относительная влажность 80 – 85%. В начале испытания расстояние между дном

стакана и диском минимальное (36 мм).

Прибор регулируется так, чтобы давление диска на тесто достигло 200 ед., в которых протарирован матурограф. Каждые 2 мин автоматически происходит механическое сжатие теста, помещённого в стакан, после чего диск как постоянный груз давит на бродящее тесто. В зависимости от количества газа, выделенного при брожении, газодерживающей способности и упругости теста диск поднимается до различных уровней, но через 2 мин опять вдавливается в тесто. Перемещения диска фиксируются на диаграмме регистрирующего механизма. Для оценки хлебопекарных свойств муки используется три величины: продолжительность окончательной расстойки, сопротивление теста и стабильность теста в конце расстойки.

**Задание 1** Изучить реологические свойства хлебопекарного теста, записать в рабочую тетрадь основные положения

**Задание 2** Изучить приборы, моделирующие технологические процессы, ответить на вопросы, ответы записать в рабочую тетрадь  
Вопросы

Устройство, принцип работы и применение приборов, моделирующих технологические процессы, при измерении свойств муки и теста

1. Амилограф
- 2 Матурограф
3. Фаринограф

**Практическое занятие №6. Реологические свойства хлебопекарного теста при приготовлении.**

### **Теоретическая часть**

*Замес теста* - это перемешивание сырья, предусмотренного рецептурой, до получения однородной гомогенной массы, обладающей определенными реологическими свойствами. При замесе теста определенное количество муки, воды, солевого раствора и другого сырья в соответствии с рецептурой отмеривают с помощью

дозировующих устройств в емкость тестомесильной машины, рабочий орган которой перемешивает компоненты в течение заданного времени (2-30 мин).

По характеру замес может быть *периодическим и непрерывным*, по степени механической обработки - *обычным и интенсивным*. Замес теста осуществляется на тестомесильных машинах. Периодический (порционный) замес - это замес порции теста за определенное время при однократном дозировании сырья, а непрерывный - замес теста при непрерывном дозировании определенных количеств сырья в единицу времени (минуту). При периодическом замесе тестомесильные машины замешивают отдельные порции теста через определенные промежутки времени, которые называются ритмом. При непрерывном замесе поступление сырья в месильную емкость и выгрузка из нее теста осуществляются непрерывно.

Интенсивный замес - это замес теста при скоростной или усиленной механической обработке. Образование теста при замесе происходит в результате ряда процессов, из которых важнейшими являются физико-механические, коллоидные и биохимические. Все эти процессы протекают одновременно и зависят от продолжительности замеса, температуры и от качества и количества сырья, используемого при замесе теста.

*Физико-механические* процессы протекают при замесе под воздействием месильного органа, который перемешивает частицы муки, воду, дрожжевую суспензию и растворы сырья, обеспечивая взаимодействие всех составных компонентов рецептуры.

*Коллоидные процессы* протекают при замесе наиболее активно. Так все составные компоненты муки (белки, крахмал, слизи, сахара и др.) начинают взаимодействовать с водой. Все, что способно растворяться (сахара, минеральные соли, водорастворимые белки) переходят в раствор и, наряду со свободной водой, формируют жидкую фазу теста.

Крахмал муки, взаимодействуя с водой, связывает ее адсорбционно (поверхностно). Крахмальные зерна связывают адсорбционно до 44% воды, причем поврежденные зерна могут связать до 200% воды. Белковым веществам муки принадлежит ведущая роль в образовании пшеничного теста с присущими ему свойствами уп-

ругости, пластичности и вязкости. Нерастворимые в воде белковые вещества, образующие клейковину (глиадиновая и глютеиновая фракции белков), в тесте связывают воду не только адсорбционно, но и осмотически.

Осмотическое связывание воды в основном и вызывает набухание этих белков. Набухшие белковые вещества образуют в тесте губчато-сетчатую структурную основу, каркас, который и обуславливает специфические реологические свойства пшеничного теста - его растяжимость и упругость. Этот белковый каркас называется клейковиной.

Белковые вещества теста способны связать и поглотить воды в два раза больше своей массы, что составляет 35-40% добавленной при замесе воды. Из этого количества воды менее 1/4 части связывается адсорбционно.

Остальная часть воды (3/4) связывается осмотически, что приводит к резкому увеличению объема белков в тесте. Процесс набухания структурно слабых белков может перейти из стадии ограниченного набухания в стадию неограниченного, т. е. происходит пептизация белков и увеличение жидкой фазы теста. Слизи муки при замесе теста почти полностью пептизируются и переходят в раствор. Они способны поглощать до 1500% воды.

Целлюлоза и гемицеллюлозы за счет капиллярной структуры также связывают значительную долю воды. Если в тесте воды недостаточно, то поглощение ее целлюлозой будет препятствовать набуханию белков и затруднять образование клейковины, что ухудшает свойства теста. Поэтому тесто из муки низких сортов замешивают с большей влажностью (46-49%), чем тесто из муки первого и высшего сортов (43-44%).

Для ржаного теста характерным является то, что при его замесе клейковина не образуется. Поэтому ржаное тесто, в отличие от пшеничного, имеет незначительную упругость. Оно более пластично и обладает большей вязкостью. Белковые вещества ржаной муки обладают большей способностью набухать неограниченно, т. е. образовывать вязкий раствор. Большую роль в формировании ржаного теста играют слизи муки, так как они способны сильно набухать и образовывать вязкие растворы.

*Биохимические процессы*, вызываемые действием ферментов муки и дрожжей, протекают при замесе теста наряду с физико-механическими и коллоидными процессами. Основные биохимические процессы - это гидролитический распад белков под действием протеолитических ферментов (протеолиз) и крахмала под действием амилолитических (амилолиз). Вследствие этих процессов увеличивается количество веществ, способных переходить в жидкую фазу теста, что приводит к изменению его реологических свойств.

В пшеничном и ржаном тесте различают три фазы: твердую, жидкую и газообразную.

*Твердая фаза* - это зерна крахмала, набухшие нерастворимые белки, целлюлоза и гемицеллюлозы.

*Жидкая фаза* - это вода, которая не связана с крахмалом и белками (около 1/3 части от всей воды, идущей на замес), водорастворимые вещества муки (сахара, водорастворимые белки, минеральные соли), пептизированные белки и слизи.

*Газообразная фаза* теста представлена частицами воздуха, захваченными тестом при замесе и небольшим количеством диоксида углерода, образовавшегося в результате спиртового брожения. Чем продолжительнее замес теста, тем больший объем в нем приходится на долю газообразной фазы. При нормальной продолжительности замеса объем газообразной фазы достигает 10%, при увеличенной - 20% от общего объема теста.

Жир при внесении в тесто может находиться как в жидкой фазе в виде эмульсии, так и в виде адсорбционных пленок на поверхности частиц твердой фазы.

Соотношение отдельных фаз в тесте обуславливает его реологические свойства. Повышение доли жидкой и газообразной фаз ослабляет тесто, делая его более липким и текучим. Повышение доли твердой фазы укрепляет тесто, делая его более упругим и эластичным.

В ржаном тесте, по сравнению с пшеничным, меньше доля твердой и газообразной, но больше доля жидкой фазы. Механическое воздействие на тесто на разных стадиях замеса может по-разному влиять на его реологические свойства. Вначале замеса механическая обработка вызывает смешивание муки, воды и другого сырья и слипание набухших частиц муки в сплошную массу теста.

На этой стадии замеса механическое воздействие на тесто обуславливает и ускоряет его образование. Еще некоторое время после этого воздействие на тесто может улучшать его свойства, способствуя ускорению набухания белков и образованию клейковины. Дальнейшее продолжение замеса может привести не к улучшению, а к ухудшению свойств теста, так как возможно механическое разрушение клейковины. Поэтому знание механизма образования теста, формирования его твердой, жидкой и газообразной фаз необходимо для правильного проведения замеса.

### *Коллоидные процессы*

Коллоидные процессы, происходящие при замесе и образовании теста, не завершаются в моменту его окончания, а продолжаются и при брожении теста. К моменту окончания замеса практически заканчивается только адсорбционное связывание влаги белками, крахмалом и пищевыми волокнами муки.

При брожении теста продолжают интенсивно развиваться процессы ограниченного и неограниченного набухания белков. При ограниченном набухании белков в тесте сокращается количество жидкой фазы, и, следовательно, улучшаются его реологические свойства. При неограниченном набухании и пептизации белков, наоборот, увеличивается переход белков в жидкую фазу теста и ухудшаются его реологические свойства. В тесте из муки различной силы эти процессы происходят с различной интенсивностью.

Чем сильнее мука, тем медленнее протекают в тесте процессы ограниченного набухания белков, достигая оптимума только к концу брожения. В тесте из сильной муки в меньшей степени протекают процессы неограниченного набухания и пептизации белков.

В тесте из слабой муки ограниченное набухание протекает относительно быстро и вследствие малой структурной прочности белка, ослабляемой интенсивным протеолизом, начинается процесс неограниченного набухания белков, переходящий в процесс пептизации и увеличивающий количество жидкой фазы теста. Это приводит к ухудшению реологических свойств теста.

Состояние белковых веществ под действием кислот, ферментов, влаги, добавленных улучшителей, механической обработки теста значительно изменяется. Один из наиболее важных факторов

- повышение кислотности, которая ускоряет как набухание, так и пептизацию белковых веществ. Под действием кислот резко снижается количество отмываемой из теста клейковины, возрастает количество водорастворимых веществ. При брожении теста продолжается процесс неограниченного набухания высокомолекулярных пентозанов, который также приводит к изменению структуры теста.

#### *Биохимические процессы*

При брожении теста продолжается гидролиз крахмала под действием амилолитических ферментов. В результате чего интенсивно накапливается мальтоза, которая непрерывно расходуется на процесс спиртового брожения. Наиболее легко гидролизуются зерна крахмала, механически поврежденные, так как они более податливы к воздействию ферментов.

Белковые вещества гидролизуются под действием протеолитических ферментов муки, дрожжей и бактерий. Протеолиз в тесте из муки нормального качества идет медленно; при этом главным образом меняется структура белковой молекулы, а разложения белков на отдельные аминокислоты практически не происходит. Протеолиз белков в бродящем тесте, замешенном с дрожжами, происходит интенсивнее, чем в тесте без дрожжей. Это объясняется тем, что дрожжи содержат значительное количество глутатиона, способного в восстановленной форме активизировать действие протеиназы муки. Однако важно содержание в дрожжах не общего количества глутатиона, а глутатиона, способного переходить из дрожжевых клеток в окружающую их среду, т. е. в тесто. Количество такого глутатиона в прессованных дрожжах возрастает по мере их хранения, особенно в неблагоприятных условиях. Кроме того, протеолиз в бродящем тесте активизируется, по-видимому, в результате того, что внесение в тесто дрожжей сдвигает его окислительно-восстановительный потенциал в направлении усиления восстановительных свойств. Восстановительное же действие влияет на все элементы белково-протеиназного комплекса муки в тесте: протеиназа активизируется, окисленная часть активаторов протеолиза восстанавливается и атакуемость белков повышается.

Протеолиз, происходящий в пшеничном тесте, в основном, важен не по образованию весьма незначительного количества про-

дуктов глубокого распада белка, а по его дезагрегирующему действию на белки.

Ошибочно считать, что любая степень протеолиза в тесте из муки любой силы вредна. Например, в тесте из сильной муки известная степень протеолиза даже необходима для достижения им реологических свойств, оптимальных для получения хлеба наилучшего качества.

Окраска корки хлеба обуславливается меланоидинами, образующимися в результате взаимодействия восстанавливающих сахаров с продуктами протеолитического распада белков. Поэтому и с этой точки зрения известная степень протеолиза в тесте необходима. Протеолиз в пшеничном тесте необходим и для приведения набухших белков теста в состояние, оптимальное для получения хлеба с наилучшей структурой пористости.

Однако интенсивность протеолиза в тесте не должна превышать оптимума, зависящего от силы муки и ряда других факторов. Чрезмерно интенсивный протеолиз, обычно наблюдаемый в тесте из очень слабой муки, дезагрегируя в значительной мере структурно непрочные белки такой муки, приводит к резкому увеличению неограниченного набухания и пептизации белков теста. В результате несоразмерно увеличивается жидкая фаза теста, которое по консистенции получается малопригодным для механической обработки на округлительных и закаточных машинах. При расстойке и выпечке тестовые заготовки сильно расплываются, давая хлеб недостаточного объема и недопустимо расплывшийся.

В связи с этим интенсивность протеолиза в тесте из слабой и даже средней по силе муки целесообразно снижать. Это возможно некоторым увеличением поваренной соли в опаре и тесте, внесением улучшителей окислительного действия.

Высокомолекулярные пентозаны муки в тесте подвергаются гидролизу под действием соответствующих ферментов, увеличивая при этом количество жидкой фазы теста.

В результате комплексного влияния процессов, протекающих при брожении теста, оно становится менее вязким и более пластичным, улучшается состояние клейковинного каркаса. Под действием выделяющегося диоксида углерода пленки клейковины растягиваются, а при делении и округлении слипаются снова, что способст-



вует улучшению реологических свойств теста, образованию мелкой и равномерной пористости в мякише изделий.

*Влияние компонентов рецептуры, условий технологического режима на свойства теста и качество готовых изделий*

Большое влияние на процессы, протекающие при созревании теста, помимо хлебопекарных свойств муки оказывают компоненты рецептуры, в том числе вода, дрожжи, соль, сахар и жировые продукты.

Вода. Количество воды в тесте регламентируется нормой допустимой влажности данного сорта хлеба в соответствии с ГОСТ. Этой нормой и рецептурой теста определяется количество воды, необходимое для замеса теста. На количество воды в тесте оказывает влияние выход муки, так как частицы оболочек зерна обладают значительной способностью связывать воду. Имеет значение влажность муки. Мука с меньшей влажностью при замесе теста способна поглотить больше воды. Если по рецептуре предусмотрено внесение в тесто значительных количеств сахара и жира, то количество воды, вносимое в тесто, уменьшают на 50% по отношению к этому количеству.

Мука с сильной клейковиной для образования теста с оптимальными реологическими свойствами требует большего количества воды, чем мука слабая. При переработке слабой муки количество воды иногда приходится снижать, так как белковые вещества такой муки обладают более высокой способностью к неограниченному набуханию и тем самым увеличивают жидкую фазу в тесте.

Количество воды оказывает большое влияние на процессы, протекающие при созревании теста. При большей влажности теста интенсивнее протекают процессы набухания и пептизации белков, быстрее происходит разжижение теста. Ускоряется действие ферментов, интенсифицируется жизнедеятельность бродильной микрофлоры.

Прессованные дрожжи. Основное технологическое значение дрожжей - осуществлять спиртовое брожение в тесте. Их количество регламентируется рецептурой, но возможна замена 1 кг дрожжей хлебопекарных прессованных: на дрожжевое молоко, из расчета содержания в нем 1 кг дрожжей прессованных; на 0,5 кг суше-

ных дрожжей с подъемной силой 70 мин или 0,65 кг с подъемной силой 90 мин; на 0,250,33 кг сушеных инстантных или активных дрожжей; на 1 кг дрожжей хлебопекарных «Московских» иодированных.

При снижении подъемной силы дрожжей их количество может быть увеличено. От количества дрожжей в тесте зависит продолжительность брожения. Тесто из пшеничной муки, приготовленное однофазным способом, при добавлении 1% дрожжей, может нормально выбродить в течение 3,5-4 ч. Если дозу дрожжей увеличить до 3-4% к массе муки, длительность брожения можно сократить до 2 ч. Количество дрожжей в тесте должно быть оптимальным. Если оно слишком велико, а газообразующая способность муки недостаточно высока, то к моменту выпечки в тестовой заготовке не остается необходимого количества сахаров и корка хлеба из такого теста будет бледно окрашена.

Количество дрожжей, вносимых в полуфабрикаты, зависит от способа приготовления теста. При опарных способах дрожжей расходуется меньше, чем при безопарном и ускоренных способах, так как в опаре дрожжевые клетки способны размножаться и наращивать свою биомассу. При этом, чем меньше исходное количество дрожжей, тем больше их накапливается в процессе брожения опары.

Если в тесто вносят значительное количество сахара и жира, то и доза дрожжей увеличивается, так как большие концентрации этих компонентов рецептуры тормозят жизнедеятельность дрожжей.

Поваренная соль добавляется в тесто в соответствии с рецептурой в качестве вкусовой добавки в количестве 1-2,5% к массе муки. Внесение соли в тесто также влияет на коллоидные, биохимические и микробиологические процессы, протекающие в тесте. Поваренная соль тормозит процессы спиртового и молочнокислого брожения, так как вызывает плазмолиз дрожжевых клеток - сжатие тела живой клетки с отслоением оболочки. При 5%-ном (от общей массы муки) содержании соли в тесте спиртовое брожение практически прекращается.

Соль оказывает большое влияние на реологические свойства клейковины, причем характер этого влияния зависит от исходного

качества клейковины, задерживает процесс набухания и частичного растворения клейковины в полуфабрикатах из муки, удовлетворительной по силе. В полуфабрикатах из слабой муки поваренная соль улучшает ее реологические свойства.

Активность амилолитических и протеолитических ферментов под воздействием поваренной соли несколько снижается, а температура клейстеризации крахмала повышается.

Соль также снижает вязкость полуфабрикатов, приготовленных из муки удовлетворительного качества. Если полуфабрикаты приготовлены из слабой муки, то добавление соли увеличивает вязкость.

Тесто, приготовленное без соли, - слабое, липкое; тестовые заготовки при окончательной расстойке расплываются. Брожение идет интенсивно, сбраживаются почти все сахара теста, поэтому хлеб имеет бледную корку.

Жировые продукты. В качестве жировых продуктов в хлебопекарном производстве применяются: маргарин, растительные масла, пекарский жир, животные жиры и другие. За рубежом наряду с этими продуктами применяются специальные пластичные жиры - шортенинги. Жир добавляется в тесто для повышения качества и пищевой ценности хлебобулочных изделий.

Вносимый в тесто жир, так же, как и липиды самой муки, влияет на процессы, происходящие при приготовлении теста, его разделке и при выпечке хлеба. Жир в тесте в значительной мере связывается белками, крахмалом и другими компонентами твердой фазы теста. Часть жира, находящегося в тесте в жидком состоянии, может быть в жидкой фазе теста в виде мельчайших жировых капелек. Жировые продукты с температурой плавления 30-33° С не связываются с компонентами твердой фазы теста, а остаются в нем в виде твердых частиц, которые начнут плавиться лишь в процессе выпечки.

Добавление в тесто жира до 3% общей массы муки улучшает реологические свойства теста, увеличивает объем хлеба, повышает эластичность мякиша. Частично это связано со смазывающими свойствами жира - т. е. облегчается относительное скольжение структурных компонентов теста и его клейковинного каркаса и включенных в него зерен крахмала. Благодаря этому увеличивается

способность клейковинного каркаса теста растягиваться без разрыва под давлением растущих в объеме газовых пузырьков. Внесение жиров способствует разжижению теста, улучшает его адгезионные свойства, в результате чего тесто лучше разделяется машинами и не прилипает к поверхностям транспортерных лент.

Во время брожения теста определенная доля жиров вступает во взаимодействие с белками клейковины и крахмалом муки. Это улучшает реологические свойства теста, повышает его газодерживающую способность. Степень взаимодействия жиров с компонентами теста при эмульгировании жира перед замесом теста и добавлением в эмульсию поверхностно-активных веществ (ПАВ) повышается.

Большие дозы жиров (более 10% к массе муки), внесенные в тесто, угнетают спиртовое брожение. Объясняется это тем, что вокруг дрожжевых клеток возникает жировая пленка, закрывающая доступ в них питательных веществ. Поэтому тесто с большим количеством жира целесообразно готовить опарным способом, а жир (вместе с сахаром) вносить в уже частично выброженное тесто. Эта технологическая операция называется отсдобкой.

При приготовлении дрожжевых слоеных изделий применяют жиры с высокой температурой плавления и вносят их при слоении теста путем многократного наложения и раскатывания слоев теста и жира.

Сахар в небольших количествах (до 10% к массе муки) положительно влияет на спиртовое брожение и, следовательно, интенсифицирует газообразование в тесте. Это объясняется тем, что сахар быстро распадается с образованием глюкозы и фруктозы, которые хорошо сбраживаются дрожжевыми клетками. Внесение сахара способствует тому, что готовые изделия имеют более разрыхленный мякиш, более ярко окрашенную корку. Сахар обычно вносят в тесто, а не в опару. На набухшие клейковинные белки в тесте сахар оказывает дегитратирующее действие, консистенция теста при этом разжижается.

Повышенные дозы сахара (более 30%) замедляют спиртовое брожение, вызывая осмотическое давление в жидкой фазе теста и плазмолиз дрожжевой клетки. В этом случае сахар, как и жир, целесообразно вносить в тесто в процессе отсдобки.

Наиболее целесообразно использовать сахар совместно с жировыми продуктами. Это позволяет в значительной степени улучшить качество готовых изделий и замедлить черствение.

### *Пути интенсификации созревания теста*

Повышение температуры теста до 35°C форсирует спиртовое и молочнокислое брожение. Это способствует интенсификации созревания теста. Применяют интенсивный замес теста, увеличивают дозировку дрожжей, вносят в тесто соответствующие добавки восстанавливающих веществ (цистеин, натрий-метабисульфит), ферментные препараты протеолитического действия. При этом реологические свойства теста ослабляются, снижается расход энергии на замес теста. Для ускорения созревания теста можно вносить в него набор минеральных веществ, усиливающих питание и бродильную активность дрожжевых клеток. Для улучшения реологических свойств теста применяют улучшители окислительного действия, ПАВ, Амилоризин П10х, модифицированные крахмалы. Эти добавки так же влияют на стабилизацию этих свойств теста, на ускорение созревания теста.

**Задание 1.** Изучить теоретическую часть темы, ответить на вопросы, ответы записать в рабочую тетрадь

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие процессы протекают при замесе теста?
2. В чем отличие интенсивного замеса теста от обычного?
3. Объясните структуру образующегося при замесе теста?
4. Какие процессы протекают при брожении теста?
5. Как влияют компоненты рецептуры и условия технологического режима на свойства теста и качество хлеба?
6. Назовите способы интенсификации процесса созревания пшеничного теста.

**Задание 2.** Ответить на вопросы теста, ответы записать в тетрадь

1. процессы, протекающие при замесе теста, вызываются ферментами муки.

1: физико-механические;

2: коллоидные;

3: биохимические;

4: физические;

5: механические.

2. Поврежденные зерна крахмала связывают при замесе теста ... % воды.

1: 40;

2: 44;

3: 200;

4: 250;

5: 300.

3. Клейковину при замесе теста из пшеничной муки образуют ... ..:

1: крахмал;

2: глиадиновая и глютелиновая фракции белков;

3: высокомолекулярные пентозаны;

4: глиадиновая фракция белков;

5: глютелиновая фракция белков.

4. Крахмал муки входит в ... фазу пшеничного и ржаного теста.

1: твердую;

2: жидкую;

3: газообразную;

4: первую;

5: вторую.

## **Практическое занятие №7. Реологические процессы тестообразования макаронных изделий**

### **Теоретическая часть**

Смешивание ингредиентов, условно называемое замесом макаронного теста, осуществляется в тестосмесителях непрерывного действия, входящих в состав промышленных прессов. Муку и воду подают в тестосмеситель при помощи дозаторов непрерывного действия.

При изготовлении макаронных изделий с добавками их подают в корыто тестосмесителя через дозатор воды после предварительного растворения в воде или приготовления водной эмульсии. В процессе замеса теста происходит постепенное набухание крахмальных зерен и белковых веществ муки, а также равномерное распределение влаги по всей массе теста.

В первые минуты соприкосновения муки и воды основная масса воды поглощается крахмалом. При дальнейшем перемешивании идет постепенное “оттягивание” части влаги белковыми веществами муки, которые связывают ее не только адсорбционно, но и осмотически. Именно осмотическое связывание воды приводит к набуханию белков. Однако в связи с дефицитом влаги полного формирования клейковины частично увлажненными белками не происходит. Поэтому макаронное тесто даже после длительного смешивания ингредиентов представляет собой сыпучую массу отдельных комков и крошек. Клеящие, связующие свойства частично сформированной при замесе теста клейковины проявляются лишь при дальнейшей обработке теста - при его уплотнении в шнековой камере пресса.

При замесе теста из крупитчатой муки требуется более продолжительное вымешивание, чем при замесе теста из порошкообразной муки, поскольку проникновение влаги внутрь плотных крупинок происходит значительно медленнее, чем внутрь мелких частиц. Поэтому продолжительность замеса при изготовлении изделий из крупки должна быть около 20 мин.

Такая продолжительность обеспечивается в многокорытных тестосмесителях (прессы серии ЛПШ, “Брайбанти”, “Паван”, “Бюллер”). В однокорытных прессах ЛПЛ-2М продолжительность замеса составляет 8.. 9 мин, поэтому влага не успевает равномерно распределиться по всей массе теста, приготовленного из крупки, и изделия имеют на поверхности следы непромеса - неувлажненные крупинки светлого цвета, ухудшающие внешний вид продукта. Поэтому при работе на однокорытных прессах целесообразнее использовать полукрупку и хлебопекарную муку.

*Формы связи влаги в макаронном тесте*

Закономерность переноса влаги в мучных изделиях, подвергаемых тепловому воздействию в процессе сушки, определяется характером взаимодействия молекул воды с твердым скелетом и его пористой структурой. Рациональная организация технологических режимов сушки должна базироваться на этих закономерностях. Так как в процессе сушки необходимо нарушать связь влаги с материалом, на что следует затрачивать определенное количество энергии, то целесообразно формы связи влаги рассматривать, исходя из интенсивности взаимодействия воды с материалом. В мучных изделиях наблюдаются две формы связи влаги: физико-химическая и физико-механическая.

К физико-химической связи относится адсорбционно и осмотически связанная влага. Адсорбционная связь влаги в муке в основном осуществляется за счет взаимодействия молекул воды с полярными группами крахмала и белка. Причем адсорбция осуществляется как на наружных, так и на внутренних мицеллах. Основная роль в адсорбционном связывании воды в муке принадлежит крахмалу, в частности амилопектину. Объясняется это следующим образом. Количество связанной влаги в белке и его фракциях за счет адсорбционных сил составляет 35-40%.

Примерно такое же количество связанной влаги наблюдается в крахмале. Это говорит о том, что белки и крахмал имеют примерно одинаковое количество активных полярных групп. Но если учесть, что крахмала в муке значительно больше, чем белков, то станет очевидным, почему основная масса гидратационной воды приходится на крахмал.

Адсорбционное связывание влаги идет с выделением тепла и набуханием коллоидной системы. Набухание осуществляется за счет проникновения молекул воды к активным сорбционным центрам макромолекул крахмала и белка. Наибольший тепловой эффект наблюдается при связывании первого мономолекулярного слоя воды. Каждая гидроксильная группа крахмала связывает одну молекулу воды, т.е. на глюкозный остаток приходится три молекулы воды. Такое количество молекул воды не образует еще сплошного слоя. Последующие слои жидкости связаны менее прочно и их свойства постепенно переходят к свойствам обычной воды. Толщина такого слоя может достигать несколько сотен диаметров моле-



кул воды. Первый слой называется моноадсорбционным, а последующие - полиадсорбционными. Количество моно- и полиадсорбционно связанной влаги зависит от морфологической структуры.

Процесс набухания только в первой стадии идет с выделением тепла. Влага, поглощенная коллоидной системой с выделением тепла, называется гидратационной или адсорбционно-связанной. Дальнейшее связывание влаги с мукой осуществляется за счет осмотического впитывания. Низкомолекулярные фракции белка (а-глиадин) и крахмала (амилоза) в большей степени находятся в мицеллярном пространстве, что способствует проникновению влаги внутрь мицелл путем избирательной диффузии (осмос). Такая связь влаги называется осмотической и осуществляется без выделения тепла. Количество поглощенной таким образом жидкости для коллоидных систем может быть в десятки раз больше гидратационной.

К физико-механической относится влага, находящаяся в микрокапиллярах крахмальных зерен, в макрокапиллярах и жидкость смачивания. Связывание такой воды также идет без выделения тепла, и свойства ее не отличаются от свободной воды. Этот вид связи не играет существенной роли при замесе макаронного теста, т.к. свободной влаги в этом тесте нет.

### *Влияние качества муки и параметров замеса на свойства теста*

Клейковина является одним из главных структурообразующих компонентов макаронного теста, определяя его основные технологические свойства - пластичность, текучесть и вязкость. Оптимальное соотношение вязкопластичных свойств уплотненного теста и полуфабрикатов макаронных изделий достигается при содержании сырой клейковины на уровне 25%; снижение содержания клейковины ведет к уменьшению как пластичности, так и вязкости (прочности) теста, увеличение - к повышению пластичности и снижению вязкости теста.

Увеличение содержания клейковины до 40% снижает прочность полуфабрикатов макаронных изделий, но заметно не сказывается на качестве макаронных изделий. При этом уменьшается расход энергии на прессование более пластичного теста, повышается пищевая ценность изделий и вкусовые свойства готовых изде-

лий. Учитывая вышеуказанное, всегда желательно иметь муку с большим содержанием клейковины. Нативная клейковина, отмытая из муки нормального качества, обладает упруго-эластичными свойствами. При нагнетании уплотненного макаронного теста к матрице происходит интенсивное трение теста о лопасти шнека, постоянное смещение и внутреннее трение его слоев друг о друга, что приводит к разрыву белковых молекул и потере упруго эластичных свойств клейковины.

В результате механической деструкции происходит снижение глиадиновой фракции на 20% (он определяет клеящие свойства клейковины) и снижение глютениновой фракции до 50% (он определяет упруго эластичные свойства клейковины).

Из этого следует, что определение качества клейковины в исходной муке и характеристика физических свойств теста методами, принятыми в хлебопечении, не позволяет судить о макаронных свойствах клейковины и теста, т.к. эти методы отражают упруго эластичные, а не связующие свойства клейковины и свойства теста, не прошедшего механическую обработку в процессе его уплотнения и формования.

Упруго эластичные свойства клейковины и теста определяются формированием в тесте при замесе внутренних межмолекулярных связей, выполняющих роль своеобразных пружин. Дисульфидные группы  $-S-S-$  образуются при окислении сульфгидрильных групп  $-SH$ , содержащихся в аминокислоте цистеин. В хлебном тесте для придания ему упругости и эластичности стремятся интенсифицировать процесс образования дисульфидных групп с помощью аэрации теста или добавлением улучшителей окислительного действия. Однако, по мнению Медведева Г.М., дисульфидные группы не выполняют значительных функций в макаронном тесте и впрессовываемых полуфабрикатов макаронных изделий, т.к. не влияют на связующие свойства клейковины. В пользу этого говорит тот факт, что для производства макаронных изделий хорошего качества на современных макаронных фабриках замес теста производится под вакуумом.

При использовании муки с дефектной клейковиной можно получить некоторое упрочнение структуры клейковины и теста путем

добавления улучшителей окислительного действия, например L-аскорбиновой кислоты.

### *Продолжительность и интенсивность замеса*

Назначение стадии замеса теста - получение крошковатой, мелкокомковатой сыпучей массы, равномерно увлажненной по всему объему. Все частицы муки должны полностью пропитаться влагой (пластифицироваться), чтобы в дальнейшем получить изделия однотонного цвета, без белых частиц.

Продолжительность замеса теста зависит от двух факторов: достижением равномерного распределения воды по всей массе теста и скоростью проникновения влаги внутрь частиц.

Вода в месильное корыто должна подаваться в диспергированном, распыленном виде, в виде множества мелких струек для быстрого и более равномерного распределения по всей тестовой массе.

Другой способ ускорения равномерного распределения влаги - интенсификация смешивания муки и воды. Для этого в многокорытных прессах тестомесильный вал первого корыта вращается с большей частотой, чем валы последующих корыт. В современных прессах фирмы "Паван" муку и влагу предварительно смешивают в центробежном мукоувлажнителе "Турбоспрей", где частицы муки и вода в заданном соотношении быстро и равномерно увлажняются, и поступают в корыто тестосмесителя.

Интенсивность пропитывания частиц муки влагой определяется в первую очередь размерами частиц муки. Крупные частицы требуют более длительного вымешивания. При одинаковом размере частиц влага будет медленнее проникать в частицы продуктов помола твердой пшеницы, чем в менее плотные частицы продуктов помола мягкой пшеницы.

Для производства макаронных изделий с однотонным цветом без следов непромеса при наличии крупки с размером частиц до 350 мкм и тем более до 500 мкм необходимо использовать многокорытные прессы, продолжительность замеса в которых составляет 16.. 20 мин. При работе на прессах с продолжительностью замеса 8.10 мин целесообразно использовать муку с размерами частиц не более 200-250 мкм (полукрупку или хлебопекарную муку).

Прочность полуфабрикатов макаронных изделий возрастает с увеличением продолжительности замеса, достигает своего максимального значения, а затем начинает снижаться. Пластичность изделий при этом все время увеличивается. Подобная зависимость сохраняется для любого значения влажности теста. При меньших значениях влажности прочностные свойства полуфабрикатов макаронных изделий выше. Зависимость пластических свойств изделий от влажности иная: чем ниже влажность, тем менее пластичны изделия, и наоборот, - с увеличением влажности пластичность возрастает.

Из-за непродолжительного замеса макаронного теста и относительно низкой доли влаги в нем биохимические процессы на этой стадии находятся в начальном состоянии и не оказывают практического влияния на свойства теста и отформованных сырых изделий. Основная фаза биохимических процессов протекает во время сушки изделий при использовании низкотемпературных режимов сушки.

Одновременно в тесте, налипшем на вал и стенки тестомесильного корыта, которое долгое время остается без движения, могут протекать значительные по глубине микробиологические процессы, что может привести к закисанию теста. Поэтому необходимо периодически через 1 -2 ч работы пресса счищать налипшее на вал, лопатки и стенки корыта тесто.

#### *Влажность теста*

Влажность макаронного теста - первый технологический параметр, с помощью которого технолог может менять в определенных пределах, оказывать влияние на физические свойства теста, полуфабрикаты макаронных изделий и качество продукции. При поступлении на предприятие определенной партии муки возможности технолога влиять, на ее макаронные свойства ограничены: нельзя изменить гранулометрический состав муки, ее влажность, содержание и свойства клейковины. Нельзя изменить продолжительность и интенсивность замеса теста, технические параметры шнека и матрицы.

Увеличение влажности теста приводит к увеличению толщины сольватных оболочек, которые окружают частицы муки в уп-

лотненном тесте. В связи с этим снижается вязкость теста и прочность полуфабрикатов изделий, увеличивается их пластичность.

При приготовлении теста из порошкообразной муки с реологическими свойствами, т.е. соотношением пластичности и вязкости, идентичными свойствам теста из крупитчатой муки, можно повысить влажность теста при замесе в пределах 1.2%, т.е. при переходе работы пресса с крупки твердой пшеницы на хлебопекарную для поддержания режима формования изделий на прежнем уровне необходимо увеличить количество воды для замеса теста.

С повышением влажности теста увеличивается пластичность, текучесть теста и облегчается процесс его выпрессовывания через матрицы. Это приводит к снижению давления прессования и к увеличению скорости выпрессовывания, т.е. к повышению производительности пресса. Для шнековых прессов скорость выпрессовывания полуфабрикатов увеличивается только до повышения влажности теста примерно до 32%, т.к. при более высокой влажности образуются комки, которые не проходят сквозь входное отверстие шнековой камеры. Следовательно, необходимо поддерживать давление на достаточно высоком уровне, чтобы обеспечить достаточную прочность выпрессовываемых изделий и в то же время величина давления не должна превышать определенного предела, установленного для конкретного пресса, чтобы избежать его поломки.

#### *Температура теста*

Температура макаронного теста - второй технологический параметр, с помощью которого технолог может оперировать в процессе замеса теста.

При нагнетании уплотненного теста к матрице в шнековой камере пресса внутренние слои теста испытывают постоянные деформации сдвига, смещения слоев. Наблюдается турбулентный характер движения теста. При увеличении температуры выше 60<sup>0</sup>С структура теста не фиксируется: денатурирующаяся клейковина, находящаяся в постоянном смещении не может сформировать устойчивую структурную решетку вплоть до продавливания теста через отверстие матрицы. Набухающие же зерна крахмала увеличивают свою пластичность, повышая текучесть теста. В результате этого при формовании теста на шнековых прессах увеличение температуры приводит к постоянному росту скорости выпрессовыва-

ния изделий и снижению давления прессования вплоть до температуры теста, равной  $90^{\circ}\text{C}$ .

Однако не следует увеличивать температуру теста до  $90^{\circ}\text{C}$ , т.к. тепловая денатурация клейковины приводит к потере ею связующих свойств, к снижению прочности структуры изделий, которая формируется в каналах матрицы. Снижение прочности изделий приводит к увеличению потери сухих веществ во время варки изделий. Поэтому оптимальной температурой теста перед матрицей следует считать температуру  $55.60^{\circ}\text{C}$ .

Установлено, что для увеличения производительности прессы без заметного снижения качества изделий можно применять высокотемпературный режим замеса, при котором температура теста перед матрицей составляет около  $65^{\circ}\text{C}$ . Увеличивать температуру теста перед матрицей выше  $50.55^{\circ}\text{C}$  следует только внешним подводом теплоты к тесту и ни в коем случае не разогревом теста в результате интенсивного трения его о лопасти шнека и внутреннего трения слоев.

**Задание 1.** Изучить теоретическую часть, ответить на вопросы, ответы кратко законспектировать в рабочую тетрадь

### **Вопросы для самоконтроля.**

- 1 В какой машине происходит замес макаронного теста?
- 2 Какая продолжительность замеса требуется для теста из крупитчатой муки и порошкообразной муки?
- 3 Какую муку следует использовать при работе на однокорытных прессах?
- 4 Какие формы связи имеют место в мучных изделиях?
- 5 Как осуществляется адсорбционная и осмотическая связь влаги при увлажнении муки?
- 6 Какая влага относится к физико-механической?
- 7 При каком содержании клейковины в уплотненном тесте наблюдается оптимальное соотношение вязкопластичных свойств?
- 8 Отражают ли методы оценки качества клейковины, принятые в хлебопечении, макаронные свойства клейковины и теста?
- 9 От каких факторов зависит продолжительность замеса макаронного теста?

10 Как зависят пластические свойства отформованных изделий от их влажности?

11 Как зависит производительность прессы от влажности теста?

12 Что характеризует высокотемпературный режим замеса теста?

13 Какие преимущества имеет высокотемпературный режим замеса теста?

14 Какую температуру следует считать оптимальной при прессовании теста на шнековых прессах?

**Задание 2.** Ответить на вопросы теста

Тест по теме

1 В мучных изделиях наблюдаются две формы связи влаги. Какая форма связи влаги играет роль в макаронном производстве?

а) физико-химическая;

б) физико-механическая.

2 К физико-химической форме связи влаги с материалом относится:

а) адсорбционная связь влаги с крахмалом и белком ;

б) осмотическая связь влаги с  $\alpha$ -глиадином и амилозой.

Какая форма связи влаги осуществляется без выделения тепла?

3 Продолжительность замеса макаронного теста зависит от двух факторов. Какой фактор определяет размер частиц муки?

а) от равномерного распределения воды по всей массе теста;

б) от скорости проникновения влаги внутрь частиц.

4. Макаронное тесто может иметь различную влажность. При какой влажности скорость прессования замедляется?

а) от 28,5 до 29,5%;

б) от 29,5 до 31,5%;

в) от 31,5 до 32,5%.

**Практическое занятие №8. Реологические процессы, формирования макаронных изделий.**

### Теоретическая часть

*Характеристика реологических свойств уплотненного теста*

После замеса макаронное тесто представляет собой сыпучую крошковатую массу, после прохождения шнековой камеры и про-

давливания сквозь отверстия матрицы - это уплотненное тесто. В таком виде его характеризуют как упругопластичновязкое коллоидное тело.

**Упругость** макаронного теста, т.е. свойство восстанавливать первоначальную форму при мгновенном снятии приложенной нагрузки, проявляется при малых и кратковременных нагрузках.

**Пластичность** макаронного теста, т.е. способность к формоизменению и течению при напряжениях выше критического, называемого пределом упругости, проявляется при значительных по величине нагрузках и длительном их воздействии, т.е. при формировании макаронного теста.

**Вязкость** теста является мерой сопротивления его текучести и определяется величиной сил сцепления его частиц между собой, называемых силами когезии: чем больше величина сил когезии теста, тем оно более вязкое, крутое, т.е. вязкость обратна текучести.

Для макаронного теста вязкость непостоянна. Она зависит от влажности, температуры, давления прессования и других факторов.

Уплотненное макаронное тесто обладает определенным периодом релаксации (рассасывания) напряжений, возникающих в тесте при его деформации в процессе формирования.

**Период релаксации**, т.е. время, в течение которого рассасываются, гасятся внутренние напряжения в тесте, зависит от давления прессования, температуры и влажности теста. Чем больше давление прессования, чем ниже температура и влажность теста, тем больше период релаксации, тем в большей степени проявляется упругое последствие теста.

За счет упругого последствия диаметр полуфабрикатов макаронных изделий после выпрессовывания увеличивается примерно на 10% по сравнению с диаметром формирующего отверстия матрицы

#### *Движение теста в шнековой камере*

Процесс перемещения и прессования макаронного теста в шнековой камере условно можно разделить на четыре зоны. В I зоне происходит прием и транспортирование теста, во II- прессование (уплотнение), в III- перемещение спрессованного теста по виткам шнека, в IV- нагнетание спрессованного теста по цилиндрическому каналу.



Из корыта тестосмесителя макаронное тесто в виде неоднородной сыпучей массы поступает в приемную зону нагнетающего шнека, где частично заполняет межвитковое пространство.

Витки шнека при вращении соприкасаются с частицами теста и оказывают на них давление. Частицы теста в I зоне перемещаются в основном поступательно, т.к. эта зона полностью не заполняется тестом, то в ней отсутствует давление и тестовая масса перемещается как в обычном транспортном шнеке. В этой зоне тестовая масса перемещается свободно и ее частицы не связаны одна с другой.

Во II зоне в отличие от I тестовая масса уплотняется, и степень связанности частиц увеличивается. Уменьшаются промежутки между частицами и вытесняется из него воздух

При этом увеличивается число и поверхность контакта между частицами теста. Происходит склеивание частиц друг с другом клейковинными нитями и пленками. Тесто перестает вести себя как сыпучая масса и начинает оказывать сопротивление перемещению, как вязкопластичное тесто.

Частицы теста под действием вращающейся винтовой поверхности шнека получают поступательное движение вдоль оси шнека и вращательное вокруг оси шнека. В этой зоне наблюдается турбулентный характер течения теста, который сопровождается интенсивным перемешиванием теста, равномерным распределением влаги. Во II зоне происходит увеличение давления от нуля до величины давления прессования.

Давление возникает тогда, когда тесто заполнит весь свободный объем полости шнека. Увеличивается сила сцепления частиц между собой (прочность когезии) и с поверхностями шнека и шнековой камеры (прочность адгезии). В конце II зоны тесто плотно заполняет объем винтовой полости шнека. Тестовая масса уплотняется, увеличивается объемная масса теста. Тесто перемещается в III зону, где совершает вращательно-поступательное движение с относительным послойным перемещением частиц. К концу III зоны тесто приобретает сплошную однородную структуру.

В результате трения внутренних слоев теста между собой и трения теста о поверхности шнека и шнековой камеры происходит разогрев тестовой массы, что приводит к увеличению его пластичности и текучести.

В IV зону тесто поступает из винтовой полости шнека и поступает в прессовую головку, распределяется по ее сечению неравномерно: в центре происходит движение с большей скоростью, чем в слоях, прилегающих к стенкам канала.

#### *Высокотемпературный режим формования макаронного теста*

При разработке высокотемпературных режимов формования исходили из того, что кратковременный нагрев макаронного теста при прохождении его через каналы горячей матрицы возможен при температуре  $65.70^{\circ}\text{C}$ . При быстром прохождении теста сквозь каналы матрицы не успевают проходить глубокие денатурационные изменения его белка. Исследования показали, что при термообработке происходит увеличение содержания декстринов и желатинированных крахмальных зерен, заключенных в денатурированную клейковинную матрицу. Эти явления способствуют повышению степени усвояемости углеводов и сокращению длительности варки до готовности. Таким образом, формование макаронных изделий через нагретую матрицу сопровождается положительными изменениями свойств белка и крахмала в поверхностном слое изделий. Глубина этих изменений увеличивается с увеличением температуры матрицы.

Основная цель применения режимов высокотемпературного формования - повышение производительности пресса.

В результате исследований, проведенных Медведевым Г.М. и др., были определены оптимальные температуры нагрева матриц при высокотемпературном режиме формования: при использовании матриц с тефлоновыми вставками -  $75.85^{\circ}\text{C}$ ; при использовании металлических матриц без тефлоновых вставок -  $110.120^{\circ}\text{C}$ . т.к. при этом достигается максимальное увеличение производительности пресса и наилучшее качество продукта (абсолютно гладкая поверхность и лучшие варочные свойства);

Промышленную матрицу можно нагреть до температуры  $75.85^{\circ}\text{C}$ , используя тепло электронагревателя (ТЭН ы).

При переходе на высокотемпературный режим формования с увеличением производительности пресса режим сушки изделий не меняется.

При переходе на высокотемпературный режим формования без увеличения производительности пресса (со снижением влажно-

сти теста в месильном корыте на 2% и более) режим сушки изделий должен быть смягчен, для этого снижают температуру воздуха в сушилке, уменьшая давление греющего пара на входе в сушилку.

**Задание1.** Изучить теоретическую часть, основные положения кратко законспектировать в тетрадь, ответить на вопросы, ответы записать в тетрадь.

### **Вопросы для самоконтроля.**

- 1 Охарактеризуйте реологические свойства уплотненного теста.
- 2 Какие четыре зоны проходит макаронное тесто в процессе перемещения и прессования?
- 3 В какой зоне тесто совершает поступательное движение, а в какой - турбулентное?
- 4 В какой зоне происходит увеличение давления до величины давления прессования?
- 5 Какие условия необходимо соблюдать для обеспечения нормальной работы нагнетающего шнека?
- 6 Какое должно быть отношение шага шнека к его диаметру?
7. Какие причины изнашиваемости лопастей шнека?
- 8 Каковы преимущества высокотемпературного режима формирования макаронного теста?

**Задание2.** Ответить на вопросы теста

### **Тест по теме.**

1. После прохождения шнековой камеры и продавливания сквозь отверстия матрицы макаронное тесто характеризуется:

- а) упругостью;
- б) пластичностью;
- в) вязкостью.

Какой из этих показателей в большей степени зависит от влажности теста?

2. Процесс перемещения и прессования макаронного теста в шнековой камере можно условно разделить на 4 зоны:

- а) I зона - прием и транспортирование теста;
- б) II зона - прессование (уплотнение);
- в) III зона - перемещение спрессованного теста по виткам шнека;
- г) IV зона - нагнетание спрессованного теста по цилиндру.

В какой зоне тесто совершает вращательно-поступательное движение?

3. При перемещении в шнековой камере тестовая масса не должна:

а) прилипнуть к поверхности шнека и шнековой камеры;

б) проворачиваться вместе со шнеком.

С какой целью делаются вдоль стенок шнековой камеры рифли?

4. При высокотемпературном режиме формования используется нагрев матрицы до температуры:

а) 75.85 °С;

б) 110.120 °С.

До какой температуры можно подогреть матрицу с тефлоновыми вставками?

## **Практическое занятие №9. Реологические свойства макаронных изделий и их изменение в процессе сушки**

### **Теоретическая часть**

#### *Особенности обезвоживания макаронных изделий*

Структурно-механические свойства мучных изделий оказывают существенную роль на перенос тепла и влаги в них в процессе сушки. Во время высушивания перемещение влаги из внутренних слоев к наружным происходит под влиянием градиента влажности  $AW$ , т.е. разницы во влажности слоев, возникающей в результате испарения влаги с поверхности изделий и осушения наружных слоев. Явление перемещения влаги под влиянием градиента влажности называется влагопроводностью или концентрационной диффузией.

При прогреве высушиваемых изделий возникает также градиент температуры  $At$ , под влиянием которого влага стремится переместиться внутрь материала, т.е. по направлению теплового потока. Это явление называется термовлагопроводностью или термической диффузией. В самом начале сушки концентрационная и термическая диффузия направлены в противоположные стороны, и направ-

ление движения влаги зависит от того, какой из этих двух видов преобладает.

Полуфабрикаты макаронных изделий довольно быстро прогреваются, происходит выравнивание температурных слоев, градиент температуры становится равным нулю. В дальнейшем процессе сушки макаронных изделий при постоянной сушильной способности воздуха главная роль принадлежит концентрационной диффузии. В начале процесса сушки интенсивность влагопроводности макаронного теста соизмерима с интенсивностью влагоотдачи с поверхности изделий, и сушка происходит при постоянной скорости.

По мере удаления влаги из материала интенсивность испарения с поверхностных слоев начинает ограничиваться интенсивностью подвода влаги из глубинных слоев. При этом сначала испарение влаги продолжается с поверхности материала при постоянном уменьшении интенсивности подвода влаги к поверхности и повышении ее температуры. Этот период называют периодом постоянной скорости сушки, а затем сушка идет при углублении зоны испарения. Этот период называют периодом падающей скорости сушки. В этот период происходит удаление, главным образом, влаги адсорбционно связанной и прочно удерживаемой белковыми веществами.

Для правильного выбора режимов сушки, стабилизации, охлаждения и хранения макаронных изделий очень важно знать величины их равновесной влажности при разных температурно-влажностных параметрах воздуха. Кривые равновесной влажности строят на основании экспериментальных данных. При выборе режима сушки макаронных изделий надо использовать соответствующую кривую равновесной влажности. С повышением относительной влажности воздуха равновесная влажность макаронных изделий возрастает, особенно резко в интервале влажности воздуха 80.95%. С увеличением же температуры воздуха равновесная влажность снижается.

*Реологические свойства макаронных изделий  
и их изменения в процессе сушки*

Структурно-механические свойства макаронного теста оказывают существенную роль на перенос тепла и влаги в процессе сушки. Существенное влияние на качество готовых изделий оказывает усадка. Неравномерная усадка различных слоев теста в процессе сушки приводит к появлению напряженного состояния. Если напряжения достигают предельного значения, то происходит, растрескивание материала и образуются трещины. От прочности изделий зависит их сохраняемость при транспортировке и состояние при варке. При разработке рациональных режимов сушки макаронных изделий эти факторы должны быть учтены.

После замеса макаронное тесто представляет собой плотную, почти лишенную пор вязкую массу, в которой набухшие клейковинные нити и пленки опутывают и связывают между собой увлажненные зерна крахмала. Клейковина является каркасом теста, придающим эластичность и упругость, вязкость и пластичность. Прочность структуры крахмального зерна обусловлена наличием большого числа групп - ОН и интенсивным проявлением водородных связей.

Структурно-механические свойства макаронного теста в значительной степени зависят от количества и качества белков муки и плотности упаковки его макромолекул.

При замесе макаронное тесто приобретает пластические свойства. Пластификация такой коагуляционной системы происходит за счет тончайших прослоек воды между частицами муки. В процессе сушки их на определенном этапе появляются, упругие свойства и при малом содержании влаги тесто ведет себя как хрупко-упругое тело. Таким образом, в процессе сушки макаронное тесто переходит из коагуляционной системы в конденсационную. В конденсационных структурах частицы сближаются между собой на возможно самое близкое расстояние. В результате этого силы сцепления принимают максимальное значение, и структура становится прочной.

При мягких режимах сушки, т.е. при медленном высушивании изделий воздухом с низкой сушильной способностью, перепад по влажности между наружными и внутренними слоями невелик, т.к. влага из более влажных внутренних слоев успевает переместиться к подсушенным наружным слоям. Темп испарения влаги

с поверхности изделий соответствует темпу подвода влаги из внутренних слоев. Все слои изделий сокращаются приблизительно равномерно: усадка изделий увеличивается прямо пропорционально снижению их влажности.

При жестких режимах сушки, т.е. интенсивном высушивании изделий воздухом с высокой сушильной способностью, перепад по влажности между наружными и внутренними слоями достигает значительной величины, потому что влага из внутренних слоев не успевает переместиться к наружным. Сухие наружные слои стремятся сократить свою длину, и этому препятствуют более влажные внутренние слои. Внутри изделий на границе возникает напряжение, которые называются внутренними напряжениями сдвига. Чем интенсивнее удаляется влага с поверхности изделий, тем в большей степени отстает темп подвода влаги из внутренних слоев и тем больше градиент влажности. Усадка изделий при жесткой сушки происходит неравномерно: в начальный период сушки происходит интенсивная усадка, а затем она постепенно затухает.

Пока высушиваемые изделия сохраняют пластические свойства, внутренние напряжения сдвига рассасываются без изменения их структуры. Когда изделия приобретают свойства упругого материала, то возникают внутренние напряжения сдвига, которые способствуют разрушению структуры изделий из-за появления на поверхности изделий микротрещин. При интенсивном удалении влаги трещины углубляются, делая макаронные изделия непрочными, способствующие образованию лома и крошки.

При низкотемпературных режимах сушки макаронные изделия можно сушить при жестких режимах примерно до 20%-ной влажности. Далее изделия следует сушить при мягких режимах, очень осторожно удалять влагу, особенно по достижении изделиями влажности 16% и ниже. Однако, на первом этапе следует соблюдать условие: чем выше температура, тем выше должна быть относительная влажность воздуха.

При выходе из сушилки изделия имеют температуру примерно равную температуре сушильного воздуха. Перед упаковкой изделия следует охладить. Следует применять медленное охлаждение в течение не менее 4 ч. при температуре воздуха  $25.30^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности 60.65%. При этом происходит стабилиза-

ция изделий: окончательное выравнивание влажности по всей толщине изделий, рассасывание внутренних напряжений сдвига, некоторое снижение влажности изделий за счет испарения из них влаги 0,5-1%. Основная причина возникновения напряжений внутри высушиваемых макаронных изделий, которые приводят к изменению формы или образованию трещин в изделиях, является отставание внутреннего переноса влаги от испарения влаги из поверхностных слоев изделий.

**Задание1.** Изучить теоретическую часть, основные положения кратко законспектировать в тетрадь, ответить на вопросы, ответы записать в тетрадь.

### **Вопросы для самоконтроля.**

- 1 Как происходит перемещение влаги в высушиваемых макаронных изделиях за счет градиента влажности и температуры?
- 2 На какие периоды можно условно разделить процесс сушки макаронных изделий?
- 3 Как изменяются структурно-механические свойства макаронных изделий в процессе сушки?
- 4 Как отражается на качестве макаронных изделий жесткий режим сушки?
- 5 Оптимальный режим стабилизации макаронных изделий.

**Задание2.** Ответить на вопросы теста

### **Тест по теме.**

- 1 Во время высушивания макаронных изделий влага перемещается одновременно в двух противоположных направлениях:
  - а) из внутренних слоев к наружным;
  - б) из наружных слоев к внутренним.Как перемещается влага под действием градиента влажности?
- 2 Процесс сушки макаронных изделий при постоянной сушильной способности воздуха можно разделить на два периода:
  - а) период постоянной скорости сушки;
  - б) период падающей скорости сушки.



В какой период происходит удаление адсорбционно связанной влаги?

3 Для сушки макаронных изделий используются следующие режимы:

- а) жесткий режим;
- б) мягкий режим.

При каком режиме используется воздух с высокой температурой и низкой относительной влажностью?

4 В процессе традиционной сушки макаронные изделия изменяют свои структурно-механические свойства и приобретают:

- а) пластические свойства до 20%-ной влажности;
- б) упруго-пластические свойства до 16%-ной влажности;
- г) хрупкие - ниже 16%-ной влажности.

При какой влажности изделий нужно применять мягкий режим сушки.

5 Максимальная температура сушильного воздуха при сушке макаронных изделий может быть:

- а) не выше 60 °С;
- б) выше 70 °С;
- г) выше 90 °С.

### Приложение 1 Задачи

Задача №1 –7. Рассчитайте и определите соотношение между адгезией и аутогезией частиц муки, если известен их средний диаметр ( $d_{cp}$ ), пористость ( $\Pi$ ), сила адгезии и аутогезии отдельных частиц ( $F_{ад}$ ,  $F_{аут}$ .)

**Таблица 1**

№ Задачи	1	2	3	4	5	6	7
Средний диаметр частиц, ( $d_{cp}$ ) мкм.	10	20	30	35	45	55	65
Пористость, $\Pi$ .	0,23	0,27	0,31	0,34	0,37	0,39	0,41
Сила адгезии частиц $F_{ад} \cdot 10^7$ Н.	10,7	8,5	8,1	7,7	7,4	7,1	6,82
Сила аутогезии частиц $F_{аут} \cdot 10^6$ Н.	2,3	3,5	4,7	5,2	5,3	5,4	5,6

Задача №8. Определите параметры течения сыпучего материала и сделайте вывод о характере его течения. Если известна зависимость между усилием сдвига и нормальным давлением при движении внутри муки (1), по отношению к стальной поверхности (2), таблица 2.

**Таблица 2**

1	$P_k$ , кПа	1,25	1,88	2,63	3,31	4,38
	$F_{орт}^r$ , кПа	1,88	2,25	2,75	3,19	3,75
2	$P_k$ , кПа	1,13	1,88	3,25	4,38	-
	$F_{орт}^r$ , кПа	0,5	0,88	1,38	1,88	-

Задача №9. Определите параметры течения сыпучего материала и сделайте вывод о характере его течения. Если известна за-

висимость между усилием сдвига и нормальным давлением при движении внутри муки (1), по отношению к полиэтилену ПВД (2), таблица 3.

Таблица 3

1	$P_k$ , кПа	1,25	1,88	2,63	3,31	4,38
	$F_{орт.}^T$ , кПа	1,88	2,25	2,75	3,19	3,75
2	$P_k$ , кПа	1,06	1,88	3,25	4,38	-
	$F_{орт.}^T$ , кПа	0,75	1,00	1,44	1,81	-

Задача №10. Определите параметры течения сыпучего материала сделайте вывод о характере его течения. Если известна зависимость между усилием сдвига и нормальным давлением при движении внутри муки (1), по отношению к токопроводящему ПЭ (2), таблица 4.

Таблица 4

1	$P_k$ , кПа	1,25	1,88	2,63	3,31	4,38
	$F_{орт.}^T$ , кПа	1,88	2,25	2,75	3,19	3,75
2	$P_k$ , кПа	1,00	1,81	2,56	3,25	4,38
	$F_{орт.}^T$ , кПа	0,38	0,625	0,94	1,13	1,5

Задача №11. В зависимости от влажности теста получены следующие значения модуля Юнга и вязкости:

Таблица 5

Влажность, W, %	Модуль Юнга $E$ , кПа	Вязкость, $\eta \cdot 10^{-3}$ , Па·с
32	22,6	1100
44	2,2	3,7
60	0,73	2,8

Используя сведения, приведенные в таблице 5, определить к какому классу структурированных систем относится тесто с различной вязкостью.

Задачи №12 –15 . Для теста в процессе брожения в зависимости от влажности ( $W$ ) получены следующие данные:

Таблица 6

№ Задачи	12	13	14	15
Влажность теста $W$ , %	39,7	41,5	43,8	44,5
Период релаксации напряжений $\lambda$ , с	15	12	10	8
Вязкость, $\eta$ кПа·с	370	443	45	21

Определить модуль Юнга ( $E$ ) и его размерность, деформацию, если система деформируется при напряжении, равном: 0,87 кПа, время деформации 2, 7, 10, 25 (мин).

Задача №16 - 47. Определите среднюю силу сцепления между частицами муки в порошке, если его пластическая прочность на сдвиг  $P_c$ , пористость  $\Pi$ , структурный параметр  $k$  (см. номер задачи в таблице 8). Структурный параметр  $k$  определите по таблице 7, диаметр частиц муки равен  $d=40$  мкм.

Таблица 7

Объёмное содержание $\phi$	0,20	0,25	0,30	0,40	0,45	0,50	0,55
----------------------------	------	------	------	------	------	------	------

Структурный центр к	коэффици-	0,02	0,07	0,24	0,70	1,10	1,60	2,00
------------------------	-----------	------	------	------	------	------	------	------

Таблица 8

Задача №	Рс, Па	П=1-φ	d, мкм
16	201	0,54	40
17	205	0,55	39
18	207	0,16	41
19	208	0,17	42
20	209	0,18	43
21	211	0,19	44
22	210	0,20	45
23	212	0,21	46
24	213	0,22	47
25	214	0,23	48
26	215	0,24	49
27	216	0,25	50
28	217	0,26	51
29	218	0,26	52
30	220	0,28	53
31	221	0,29	54
32	222	0,30	55
33	223	0,31	56
34	224	0,32	57
35	225	0,33	58
36	226	0,34	59
37	227	0,35	60
38	228	0,39	61
39	229	0,37	62

40	230	0,38	63
41	231	0,39	64
42	232	0,40	65
43	233	0,41	66
44	234	0,42	67
45	235	0,43	68
46	245	0,44	69
47	250	0,45	70

Задачи №48 – 58. Различные реологические свойства структурированных систем представлены в виде модели, состоящей из трех элементов и характеризующих зависимость между напряжением деформации и деформацией. Определить вид соединения элементов (последовательное и параллельное), суммарное напряжение деформации и деформацию при различном сочетании элементов. Изобразить, схематически, соединения элементов с указанием численных значений.

Таблица 9

Задача №	№ моделей в соответствии с номером задач	Деформация $\gamma$	Напряжение деформации, $\sigma$ , кПа.
48	1	0,03	0,8
	2	0,03	0,9
	3	0,03	1,1
49	1	0,03	0,8
	2	0,06	0,8
	3	0,09	0,8
50	1	0,06	0,9
	2	0,06	2
	3	0,06	1,1
51	1	0,09	0,9

## Продолжение таблицы 9

Задача №	№ моделей в соответствии с номером задач	Деформация $\gamma$	Напряжение деформации, $\sigma$ , кПа.
51	2	0,11	0,9
	3	0,2	0,9
52	1	0,09	0,8
	2	0,09	1,5
	3	0,09	2,3
53	1	0,1	0,8
	2	0,1	2,6
	3	0,1	3,4
54	1	0,09	1
	2	0,11	1
	3	0,2	1
55	1	0,16	2,3
	2	0,14	2,3
	3	0,3	2,3
56	1	0,3	1,9
	2	0,3	1,5
	3	0,3	3,4
57	1	0,2	0,2
	2	0,2	0,1
	3	0,2	0,3
58	1	0,2	3,4
	2	0,1	3,4
	3	0,3	3,4

Исходные данные к задаче №48 – 58.

Таблица 10

48	$\sigma, \text{кПа.}$	0,03	0,06	0,09	0,1	0,2	0,3
	$\gamma$	0,8	0,9	1	1,1	2,3	3,4
49	$\sigma, \text{кПа.}$	0,18	0,18	0,18	2,7	0,3	0,36
	$\gamma$	0,8	1,6	2,4	3,2	4	5,6
50	$\sigma, \text{кПа.}$	0,06	0,12	0,18	0,18	0,24	0,3
	$\gamma$	4,9	2	4	2	2	4,8
51	$\sigma, \text{кПа.}$	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	0,2
	$\gamma$	0,9	0,9	1,8	1,8	2,7	1,8
52	$\sigma, \text{кПа.}$	0,09	0,09	0,18	0,18	0,18	0,27
	$\gamma$	4,6	5,1	4,6	3,3	3,8	6,1
53	$\sigma, \text{кПа.}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
	$\gamma$	6,8	9,4	7,6	10,2	3,4	6,8
54	$\sigma, \text{кПа.}$	0,4	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4
	$\gamma$	1	2	4	2	4	3
55	$\sigma, \text{кПа.}$	0,6	0,3	0,3	0,6	0,6	0,3
	$\gamma$	2,3	4,6	6,9	4,6	6,9	13,8
56	$\sigma, \text{кПа.}$	0,3	0,6	0,6	0,3	1,2	0,6
	$\gamma$	6,8	3,4	6,8	8,7	3,1	10,2
57	$\sigma, \text{кПа.}$	0,2	0,4	0,6	0,8	0,6	0,8
	$\gamma$	0,6	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6
58	$\sigma, \text{кПа.}$	0,6	0,3	0,3	0,6	0,8	0,9
	$\gamma$	3,4	6,8	10,2	6,8	3,4	3,4

Задачи №58– 67. Для теста с различным содержанием влаги ( $W, \%$ ) получены следующие данные изменения напряжения ( $\sigma$ , кПа) от времени ( $t$ ). Определите время релаксации напряжения ( $\lambda$ ), считая, что в данном случае напряжения релаксируют также как в механической модели Максвелла.



Таблица 11

Задача №	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
W,%	25	30	35	40	45	50	55	60	63	65
t,мин	σ,кПа	σ,кПа	σ,кПа	σ,кПа	σ,кПа	σ,кПа	σ,кПа	σ,кПа	σ,кПа	σ,кПа
10	8782,5 24	7713,3 73	6878,0 04	6240,3 83	5310,7 87	5030,0 41	4724,97	4369,45	4040,1 84	3686,1 52
20	6292,9 54	5170,4 28	4365,72	3686,6 78	2726,6 49	2462,4 14	2189,41	1898,9 55	1627,7 51	1356,0 6
30	4509,0 98	3465,8 42	2771,0 81	2178,0 06	1399,908	1205,4 55	1014,5 05	825,28 26	655,8 052	498,86 64
40	3230,91	2323,2 23	1758,9 06	1286,7 17	718,7368	590,1 202	470,0 908	358,6 663	264,2 176	183,5 227
50	2315,0 48	1557,3 03	1116,4 42	760,1636	369,0 118	288,8 884	217,82 57	155,8 757	106,4 507	67,51 423
60	1658,8 05	1043,8 91	708,6 463	449,0 876	189,4 57	141,4 229	100,9 337	67,74 332	42,88 795	24,83 71
70	1188,5 85	699,7 414	449,8 036	265,3 108	97,2 7045	69,2 3241	46,76 96	29,44 113	17,27 914	9,137 057
80	851,6 587	469,0 507	285,5 067	156,7 397	49,9 403	33,8 9215	21,67 16	12,79 506	6,961 599	3,361 336
90	610,2 401	314,4 141	181,2 215	92,5 9827	25,6 4021	16,5 9162	10,04 196	5,56 071	2,80 4761	1,236 566
100	437,2 561	210,7 581	115,0279	54,7 0498	13,1 6412	8,1 22288	4,65 3135	2,41 6675	1,13 0011	0,45 4907
110	313,3 077	141,2 754	73,0 1239	32,3 1847	6,7 58687	3,97 6198	2,15 612	1,05 0283	0,45 527	0,167 351
120	224,4 948	94,6 997	46,3 4363	19,0 93	3,4 70025	1,94 6515	0,99 908	0,45 6451	0,18 3424	0,061 565
140	115,2 595	42,5 5132	18,6 714	6,6 63811	0,9 14689	0,466 484	0,214 514	0,08 621	0,02 9774	0,008 332

### Список рекомендуемой литературы

1. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства: [Текст]: учебник / Лев Янович Ауэрман. - 9-е изд., перераб. и доп. - М.: Профессия, 2009. - 416 с.
2. Авроров В. А. Основы реологии пищевых продуктов: [Текст]: учебное пособие / Валерий Александрович Авроров, Николай Дмитриевич Тутов. - Старый Оскол: ТНТ, 2014. - 268 с
3. Кузнецов О.А., Волошин Е.В., Сагитов Р.Ф. Реология пищевых масс: Учебное пособие. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. - 106 с. / Электронная библиотека «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» -<http://window.edu.ru/>
4. Косой В. Д. Инженерная реология биотехнологических сред: [Текст]: учебное пособие / В. Д. Косой, Я. И. Виноградов, А. Д. Мильшев. - СПб.: ГИОРД, 2005. - 648 с.
5. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник / Под ред. Ю. А. Мачихина. - М.: ВО Агропромиздат, 1990. - 269 с.