

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:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров



Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
2017 г.

РЕОЛОГИЯ СЫРЬЯ, ПОЛУФАБРИКАТОВ И ЗАГОТОВОК ИЗДЕ-  
ЛИЙ ХЛЕБОБУЛОЧНОГО, КОНДИТЕРСКОГО И МАКАРОН-  
НОГО ПРОИЗВОДСТВА

Методические указания по выполнению лабораторных 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 лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.Г. Беляев. Курск, 2017. 84 с.: Библиогр.: с.84**

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

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 05.04.2017 Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 4,6 Уч.-изд. л.4,4 Тираж 50 экз. Заказ. 534 Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
6 семестр	
Лабораторная работа №1 Исследование реологических моделей	6
Лабораторная работа №2 Прочностные и компрессионные свойства твердых пищевых продуктов.	12
Лабораторная работа №3 Физико-механические свойства сыпучих пищевых масс. Определение относительных реологических характеристик сыпучих пищевых масс	16
Лабораторная работа №4 Исследование реологических свойств ньютоновских и неньютоновских жидкостей с помощью капиллярного вискозиметра.	21
Лабораторная работа №5 Структурообразование и физико-механические свойства упруговязкопластичных материалов. Исследование реологических свойств неньютоновских жидкостей с помощью ротационного вискозиметра	25
Лабораторная работа №6 Реометрия пищевого сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Определение коэффициентов трения пищевых материалов.	31
Лабораторная работа №7 Изучение физико-механических свойств, сваренных и сухих макаронных изделий.	36
Лабораторная работа №8 Изучение адгезионных свойств пищевых продуктов	46
7 семестр	
Лабораторная работа №1 Оценка реологических свойств шоколадных полуфабрикатов как структурированных систем	
Лабораторная работа №2 Физико-химические свойства карамельной массы и карамели. Стойкость карамели при хранении	
Лабораторная работа №3 Приготовление и определение показателей качества фруктово-ягодного мармелада	
Лабораторная работа №4 Исследование реологических характеристик на ротационном вискозиметре	

Лабораторная работа №5 Определение тиксотропных свойств теста на ротационном вискозиметре	
Лабораторная работа №6 Исследование влияния дозировки поваренной соли на реологические свойства теста и качество хлеба	
Лабораторная работа №7 Влияние длительности замеса макаронного теста на свойства сырой клейковины пшеничной муки и реологические свойства	
Лабораторная работа №8 Определение физико-химических и реологических свойств макаронного теста	
Список рекомендуемой литературы	46

**ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ, ИХ ОБЪЕМ**

Наименование работ	Объем, часов		
	оч- ная	заоч- ная	Сокра- щенная (по инди- видуаль- ному плану)
6 семестр			
Лабораторная работа №1 Исследование реологических моделей	2		
Лабораторная работа №2 Прочностные и компрессионные свойства твердых пищевых продуктов.	2		
Лабораторная работа №3 Физико-механические свойства сыпучих пищевых масс. Определение относительных реологических характеристик сыпучих пищевых масс	2	2	2
Лабораторная работа №4 Исследование реологических свойств ньютоновских и неньютоновских жидкостей с помощью капиллярного вискозиметра.	2		
Лабораторная работа №5 Структурообразование и физико-механические свойства упруговязкопластичных материалов. Исследование реологических свойств неньютоновских жидкостей с помощью ротационного вискозиметра	2		
Лабораторная работа №6 Реометрия пищевого сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Определение коэффициентов трения пищевых материалов.	2		
Лабораторная работа №7 Изучение физико-механических свойств, сваренных и сухих макаронных изделий.	2		

Лабораторная работа №8 Изучение адгезионных свойств пищевых продуктов (работа в малых группах)	2 2*	2	2
7 семестр			
Лабораторная работа № 1 Оценка реологических свойств шоколадных полуфабрикатов, как структурированных систем	2		
Лабораторная работа № 2 Физико-химические свойства карамельной массы и карамели. Стойкость карамели при хранении	2		
Лабораторная работа №3 Приготовление и определение показателей качества фруктово-ягодного мармелада	2		
Лабораторная работа №4 Исследование реологических характеристик на ротационном вискозиметре	2		
Лабораторная работа №5 Определение тиксотропных свойств теста на ротационном вискозиметре	2		
Лабораторная работа №6 Исследование влияния дозировки поваренной соли на реологические свойства теста и качество хлеба (работа в малых группах)	4*	4	4
Лабораторная работа №7 Влияние длительности замеса макаронного теста на свойства сырой клейковины пшеничной муки и реологические свойства	2		
Лабораторная работа №8 Определение физико-химических и реологических свойств макаронного теста	2		
Итого, час.	18	4	4

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

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания к выполнению лабораторных 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 лабораторных 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. Студенты должны ознакомиться с содержанием и порядком выполнения лабораторной работы.

Каждое занятие содержит цель его выполнения, материальное обеспечение, рекомендуемые для изучения литературные источники, вопросы для подготовки, краткие теоретические сведения, задания для выполнения. При выполнении лабораторных 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 лабораторной работы студента осуществляется комплексно: по результатам выполненного задания, устному сообщению и качеству оформления работы, что может быть учтено в рейтинговой оценке знаний студента.

### **Правила оформления работ**

1. Отчеты по каждой теме лабораторного занятия оформляются в отдельной тетради.
2. Перед оформлением каждой работы студент должен четко написать ее название, цель выполнения, краткие ответы на вопросы для подготовки, объекты и результаты исследования. Если предусмотрено оформление работ в виде таблиц, то необходимо все результаты занести в таблицу в тетради. После каждого задания должно быть

сделано заключение с обобщением, систематизацией или обоснованием результатов исследований.

3. Каждую выполненную работу студент защищает в течение учебного семестра.

Выполнение и успешная защита лабораторных работ являются допуском к сдаче теоретического курса на экзамене.

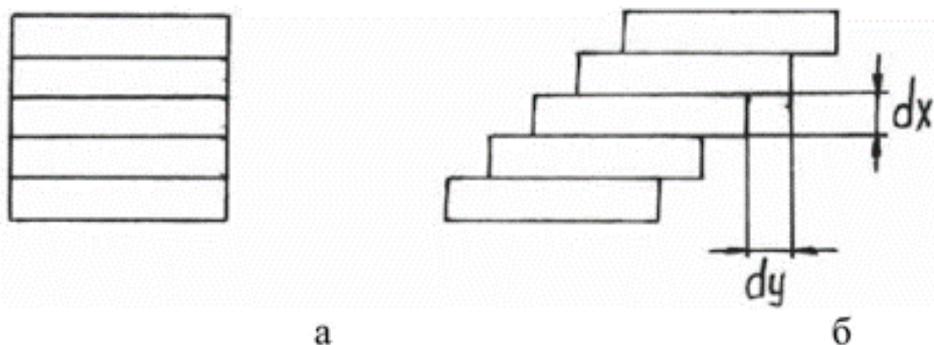
## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ 6 СЕМЕСТР

### Лабораторная работа №1 Исследование реологических моделей

**Цель работы:** Изучить методы математического описания реологических моделей по их феноменологическим (механическим) моделям.

#### Теоретические сведения

Реология – это наука, занимающаяся изучением закономерностей поведения различных материалов при самом разнообразном их деформировании. Главное внимание при этом уделяется деформациям сдвига, причем таким деформациям, которые нельзя считать бесконечно малыми.



а - исходное состояние; б - схема деформируемого тела.

Рисунок 1. Деформация сдвига

Относительная деформация сдвига двух элементарных слоев деформируемого тела определяется зависимостью:

$$\gamma = \frac{dy}{dx} \quad (1)$$

Есть так же понятие скорости сдвига

$$\gamma = \frac{dVy}{dx} \quad (2)$$

Для идеальноупругого тела (тела Гука) связь напряжений и деформации при чистом сдвиге описываются зависимостью

$$\tau = G\gamma \quad (3)$$

Тело Гука идеально, так как оно восстанавливает свою исходную форму после снятия приложенных нагрузок, какими бы они не были. Кроме тела Гука существуют еще 2 простейшие модели реальных тел – Сен-Венана и Ньютона.

Для тела Сен-Венана деформации начинаются все после достижения напряжениями предельного значения, например при чистом сдвиге  $\tilde{\gamma}_0$ . До этого тело идеально твердое. Причем величина  $\tilde{\gamma}$  и  $\tilde{\gamma}'$  не связана с  $\tilde{\gamma}_0$ . Такое тело называется идеально пластичным.

Тело Ньютона – это идеально вязкая жидкость. У него скорость сдвиговых деформаций  $\dot{\gamma}$

Определяет возникающие касательные напряжения

$$\tau = \mu\dot{\gamma} \quad (4)$$

Где  $\mu$  постоянный коэффициент, называемый коэффициентом вязкости. Реальные тела отличаются от идеальных тем, что в них одновременно присутствуют и упругие и пластические и вязкие свойства.

Выразить реологические свойства реальных тел можно механическими моделями.

Для тела Гука это пружина, для тела Ньютона это гидравлический амортизатор, для тела Сен-Венана поступательная кинематическая пара сухого трения

Модели реальных тел показаны на рисунке 2

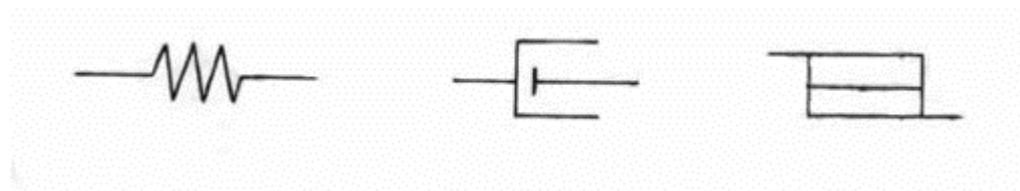


Рисунок 2 Модели реальных тел

Из формул 3- 4 и рисунка 2 следует, что тело Гука характеризуется жесткостью пружины  $G$ , а тело Ньютона вязкостью  $\mu$ .

Приме сложной модели, состоящее из двух простых, тело Кельвина рисунок 3

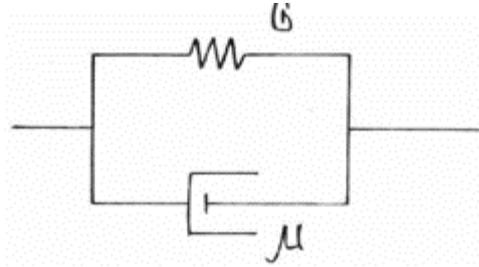


Рисунок 3 тело Кельвина, механическая модель

Для описания механической модели Кельвина используем то обстоятельство, что при параллельном соединении элементов деформации сложного тела  $\gamma_k$  равна деформации каждого элемента, а так же напряжение суммарного элемента  $\tilde{\tau}_k$  равно сумме напряжений в отдельных элементах  $\tilde{\tau}_r$  и  $\tilde{\tau}_H$ . Эти соображения позволят записать систему уравнений

$$\gamma_k = \gamma_r = \gamma_H \quad (5)$$

$$\tau_k = \tau_r + \tau_H \quad (6)$$

Воспользуемся реологическими уравнениями Гука и Ньютона

$$\tau_r = G\gamma_r \quad (7)$$

$$\tau_H = \mu\dot{\gamma}_H \quad (8)$$

Рассмотрим две совокупности уравнений 5 и 6, получим математическую модель тела Кельвина

$$\tau = G\gamma + \mu\dot{\gamma} \quad (8)$$

Кельвин ввел это мягкое тело для того, что бы иметь возможность показать свойства вязкого трения для твердого тела, то есть явление

ползучести, когда деформация развивается при постоянной величине приложенных напряжений.

Возможен другой способ сочетания упругих и вязких свойств, когда жидкость проявляет упругие свойства. Для описания такого явления можно взять другую реологическую модель – тело Максвелла, показано на рисунке 4



Рисунок 4 механическая модель тела Максвелла

Рассуждая аналогично тому как это было сделано для модели Кельвина, получаем реологическое уравнения тела Максвелла

$$\tau + \frac{\mu}{G} = \mu\gamma \quad (9)$$

Решение уравнения 9 позволяет объяснить такое явление как релаксация напряжений.

Для более точного описания свойств реальных тел нужно использовать более сложные модели, например, трехпараметрическая модель называется обобщенным линейным телом. Рисунок 5.

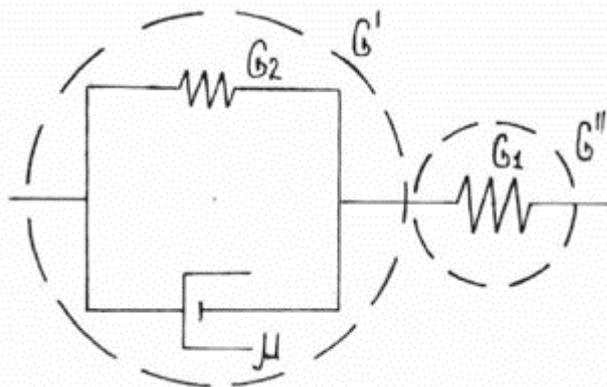


Рисунок 5 Механическая модель обобщенного линейного тела

Математическая модель образуется следующим образом из тел Кельвина и Гука

$$\gamma_{\text{олт}} = \gamma_{\text{r}} + \gamma_{\text{k}} \quad (10)$$

Затем, так как Ньютоновский элемент в теле Кельвина содержит  $\dot{\gamma}$  продифференцируем выражение 10

$$\dot{\gamma}_{\text{олт}} = \dot{\gamma}_{\text{r}} + \dot{\gamma}_{\text{k}} \quad (11)$$

Далее воспользуемся символическим методом построения математической модели, по имеющийся механической. Вводится оператор  $\delta$ , означающий операцию дифференцирования элементов с которыми соседствуют символы. Все операции производятся по законам алгебры. И упругие и вязкие элементы приравниваются к упругим, но модель упругости вязкого элемента формально получают умножением символа  $\delta$  на символ  $\mu$ . Вводится понятие жесткости модели обозначаемой  $G$ .

Суммарная жесткость параллельно соединенных гуковских элементов и считают равной сумме этих жесткостей.

$$G_{\Sigma} = G_1 + G_2 \quad (12)$$

Суммарная жесткость последовательно соединенных элементов вычисляется из выражения

$$\frac{1}{G_{\Sigma}} = \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \quad (13)$$

Применив этот способ для получения модели ОЛТ. Сначала будем считать это двумя последовательно соединенными упругими элементами

$$\frac{1}{G_{\Sigma}} = \frac{1}{G'} + \frac{1}{G''} \quad (14)$$

Элемент  $G$ » рассмотрим как два параллельных элемента

$$G' = G_2 + \partial\mu \quad (15)$$

Окончательно

$$\frac{1}{G_\Sigma} = \frac{1}{G_2 + \partial\mu} + \frac{1}{G_1} \quad (16)$$

Отсюда

$$\frac{1}{G_\Sigma} = \frac{G_1 + G_2 + \partial\mu}{G_1(G_2 + \partial\mu)} \quad (17)$$

Учитывая, что

$$\frac{1}{G_\Sigma} = \frac{\gamma'}{\tau} \quad (18)$$

Получим

Затем

$$G_1\tau + G_2\tau + \partial\mu\tau = G_1G_2\gamma + \partial\mu\gamma G_1 \quad (19)$$

Математическая модель будет иметь вид

$$\tau + \frac{\mu}{G_1 + G_2} \partial\tau = \frac{G_1G_2}{G_1 + G_2} \gamma + G_1 \frac{\mu}{G_1 + G_2} \gamma \quad (20)$$

Имея ввиду, что  $\delta_t$  и  $\delta_\gamma$  после дифференциации по времени записываются в виде соответственно  $\tilde{t}$  и  $\tilde{\gamma}$ .

Окончательно запишем

$$\tau + \frac{\mu}{G_1 + G_2} \tau = \frac{G_1G_2}{G_1 + G_2} \gamma + G_1 \frac{\mu}{G_1 + G_2} \gamma \quad (21)$$

Для моделей из 4х элементов в процессе вывода появляются члены содержащие произведение символов  $\delta\delta$ , что интерпретируется как взятие второй производной.

### **Практическая часть**

На основании вышеизложенного составьте математические модели механических моделей, предложенных преподавателем.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите определение реологии.
- 2 Чем отличаются реальные тела от моделей?
- 3 Охарактеризуйте тело Гука
- 4 Охарактеризуйте тело Ньютона.
- 5 Какие свойства проявляет тело Кельвина?
- 6 Что такое релаксация напряжений?

### **Лабораторная работа №2 Прочностные и компрессионные свойства твердых пищевых продуктов.**

**Цель работы:** Изучить методику расчета сжимающего напряжения. Изучить особенности прочностных и компрессионных свойств твердых пищевых продуктов.

### **Теоретические сведения**

Прочностью называют сопротивление тела действию внешних сил которые приводят тела к течению или разрушению. У гуковских тел скорость деформации не влияет на предел прочности, так что различий в статической и динамической прочности не существует. У негуковских тел (к которым принадлежат почти все твердые пищевые продукты), которые обладают как упругими, так и пластичными и вязкими свойствами, прочность зависит от скорости деформации. Минимальной прочностью обладают тела при статическом или квазистатическом нагружении, при котором вязкоупругие напряжения полностью релаксируют. Разрушение наступает только после повышения предела текучести и развития

пластичной деформации. Максимальной прочности негукковские тела достигают при крайне высокой скорости нагружения. В этом случае вязкоупругие напряжения практически не релаксируют, предел прочности наступает непосредственно за пределом текучести, пластичная деформация отсутствует, поэтому наблюдается хрупкий излом. На практике нагружение проводят при скорости деформации, которая лежит между граничными условиями, так что соответствующая динамическая прочность достигается при скорости выше минимального и ниже максимального значения. Твердость – это комплексное свойство негукковских тел оказывать сопротивление проникновению другого тела вследствие необратимых «упругой и вязкой» деформаций. При неомогенном структурном строении тел микротвердость в различных точках неодинакова. Вследствие этого прямой зависимости между твердостью и прочностью не существует. Твердость нельзя выразить как физическую величину с однозначной размерностью. Она является некоторым техническим параметром, который выражается в относительных величинах в зависимости от метода определения. Простейшим видом нагружения для анализа реологического поведения твердых пищевых продуктов является сжатие между двумя плоскопараллельными пластинами на универсальных измерительных приборах типа «Инстрон», «Цвик», «Кегель» или пенетрометрах. Схема нагружения представлена на рисунке 1.

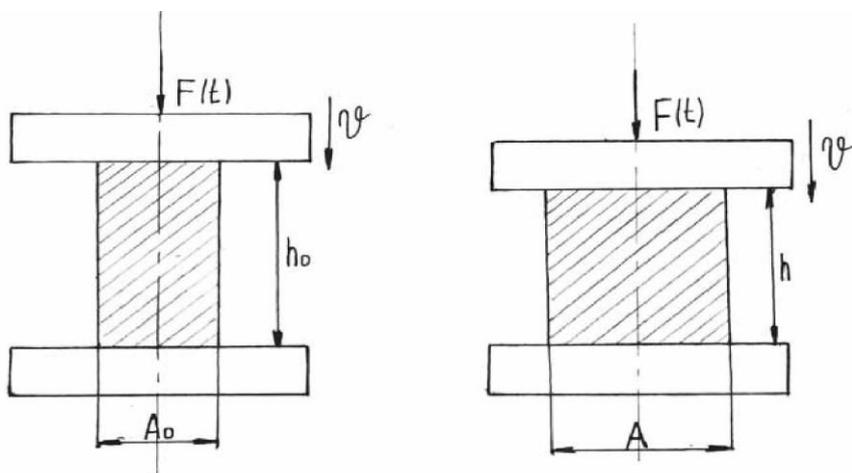


Рисунок 1 – Схема нагружения исследуемого образца

Исследуемый образец кольцевого или призматического поперечного сечения с первоначальной площадью  $A_0$  и первоначальной высотой  $h_0$  нагружают с постоянной скоростью  $V$  возникающую при этом силу сжатия измеряют как функцию высоты пробы  $f(h)$ . Для определения реологических констант необходимо рассчитать напряжение деформации возникающее при сжатии образца.

У хрупких материалов до разрушения наблюдаются большие деформации, которые предшествуют разрушению и ведут к существенному изменению величин  $A_0$  и  $h_0$ . Обозначим высоту образца, уменьшающуюся при сжатии как функцию времени. Возрастающая при этом площадь поперечного сечения  $A$ . Сжимающая сила, которая измеряется прибором, является функцией относительного сжатия  $K$  и растет при увеличении деформации.

$$K = \frac{h_0 + h}{h} \cdot 100\% \quad (1)$$

При постоянной скорости нагружения высота образца будет изменяться по следующей зависимости:

$$h = h_0 - v \cdot t \quad (2)$$

Деформация образца в направлении действия силы определяется по следующей формуле:

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h} \quad (3)$$

А скорость деформации по

$$\dot{\varepsilon} = \frac{v}{h} = \frac{v}{h_0 - h} \quad (4)$$

Разделив числитель и знаменатель выражения на  $h_0$  получим

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_0 / (1 - \dot{\varepsilon}_0 \cdot t) \quad (5)$$

Где  $\dot{\varepsilon}_0$  – это начальная скорость деформации

$$\dot{\varepsilon}_0 = v/h_0 \quad (6)$$

Соотношение изменения поперечного сечения образца составляют

$$\frac{A}{A_0} = b_0 + b_1 \dot{\varepsilon}_0 t / (1 - \dot{\varepsilon}_0 t) \quad (7)$$

Коэффициенты  $b_0$  и  $b_1$  являются константами материала и должны быть определены экспериментально для несжимаемых материалов  $b_0 = b_1 = 1$ , для сжимающего напряжения справедлива зависимость

$$\sigma(t) = f(t)/A \quad (8)$$

$$\sigma(t) = f(t)/A_0(b_0 + b_1 \dot{\varepsilon}_0 t / (1 - \dot{\varepsilon}_0 t)) \quad (9)$$

Реологические параметры получают преобразуя измеряемую прибором сжимающую силу по уравнению 7-9, при этом учитывают, что большинство твердых пищевых продуктов обладают сложно вязкоупругими и упругопластичными свойствами, по этому у них наблюдается нелинейная зависимость между напряжением и деформацией.

### **Материальное оснащение**

Лабораторный пресс, две металлические пластины, штангенциркуль, испытуемый материал.

### **Ход работы**

Исследуемый образец равномерно сжимаем между двумя плоскопараллельными пластинами при помощи лабораторного винтового пресса. Время сжатия измеряется секундомером.

Определяем в двух точках величину  $A_1$  и  $A_2$ , соответственно  $h_1$  и  $h_2$ .

Данные опыта и вычислений заносим в таблицу 1

Таблица 1 Результаты эксперимента

образец	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$h_0$	$h_1$	$h_2$	$\nu$	K	$\varepsilon$	$\dot{\varepsilon}_0$	$b_0$	$b_1$	$\sigma(t)$
№1													
№2													

$f(t)$  рассчитываем по формуле (9) для нескольких возможных значений  $\sigma(t)$ , по результатам расчета строим график зависимости  $f(t)$  от  $\sigma(t)$ .

Проанализируйте результаты работы и сделайте выводы.

### Вопросы для контроля:

1. Что такое прочность?
2. У каких тел прочность зависит от скорости деформации?
3. В каком случае негуковские тела достигают максимальной прочности?
4. Дайте определение твердости?
5. Что происходит при сжатии образца?
6. Какими свойствами обладают твердые пищевые продукты?

### Лабораторная работа №3 Физико-механические свойства сыпучих пищевых масс. Определение относительных реологических характеристик сыпучих пищевых масс

**Цель работы:** Определить относительные параметры, характеризующие трение, адгезию и аутогезию сыпучих пищевых масс.

К относительным реологическим параметрам сыпучих пищевых масс относятся время истечения и угол естественного откоса. Для определения времени истечения используется модель бункера для сыпучих пищевых масс. Работа выполняется в следующей последовательности:

- взвешивают 500 грамм исследуемого сыпучего материала (зерно, мука, сахар и др.),
- загружают им бункер при закрытом выходном отверстии,
- открывают выходное отверстие бункера,

- измеряют время истечения сыпучего материала,
- опыт с каждым исследуемым образцом выполняется трижды.

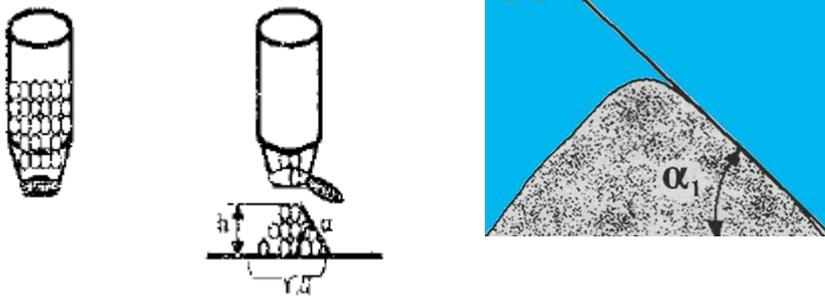


Рисунок 1 - Определение относительных реологических характеристик сыпучих пищевых масс

Полученные данные заносят в таблицу 1.

Таблица 1 – Определение времени истечения сыпучих пищевых масс

Наименование сыпучего образца	Время истечения (с) для образцов			
	1	2	3	среднее

Для определения угла естественного откоса формируют конус (рисунок 1) путем истечения сыпучего образца из воронки. Размеры конуса: высота  $h$ , диаметр основания  $d$  и тангенс краевого угла  $\operatorname{tg}\alpha = h / d/2$

Полученные данные заносят в таблицу 2.

Таблица 2 – Определение угла естественного откоса

№	Наименование сыпучего образца	Диаметр основания конуса, d			Ср. ар. диаметр	Высота конуса, h			Ср. ар. высота	tg $\alpha$	$\alpha$
		1	2	3		1	2	3			

Обобщенные результаты измерений двумя относительными методами заносят в таблицу 3. По результатам измерений располагают сыпучие образцы по мере увеличения времени истечения и угла естественного откоса и делают вывод о влиянии адгезии и аутогезии и на эти параметры.

Таблица 3 – Результаты измерения времени истечения ( $\tau$ ) и угла естественного откоса ( $\alpha$ )

№	Наименование сыпучего образца	Время истечения, $\tau$ , с.	Угол естественного откоса, $\alpha$ град.

**Выводы:**

### **Вопросы для контроля**

1. Что такое относительные параметры, характеризующие трение, сыпучих пищевых масс.
2. Что такое относительные параметры, характеризующие адгезию, сыпучих пищевых масс.
3. Что такое относительные параметры, характеризующие аутогезию, сыпучих пищевых масс.

## Лабораторная работа №4 Исследование реологических свойств ньютоновских и неньютоновских жидкостей с помощью капиллярного вискозиметра.

**Цель работы:** освоение методики определения вязкости жидких пищевых продуктов методом капиллярной вискозиметрии.

Применяемые приборы и материалы: капиллярный вискозиметр типа ВПЖ-2, ареометр общего назначения АОН-1, стеклянный цилиндрический сосуд, мешалка, вода, сахар, соль, подсолнечное масло.

### Основные сведения

Ньютон в 1867 году предположил, что внутреннее при течении жидкости зависит от относительной скорости передвижения ее частиц. Закон вязкого течения жидкости установленный Ньютоном постулируется так: сила внутреннего трения применяющаяся при течении одного слоя жидкости относительно другого, прямопропорциональна ингредиенту относительной скорости этого перемещения по поверхности слоев.

Математическая запись закона Ньютона такова

$$F = \eta \cdot S \frac{d\omega}{dx} \quad (1)$$

Где F – сила, действующая на поверхность слоя в направлении противоположном его движению Н

S- площадь слоя м<sup>2</sup>

dω –относительная скорость движения слоев, находящаяся на расстоянии dx

η- коэффициент пропорциональности, зависящий от природы жидкости и являющийся одной из важнейших характеристик

Введем следующие понятия. Сила, приходящаяся на единицу площади слоя в направлении его движения называется касательным напряжением или напряжением сдвига Н/м<sup>2</sup> ã

По определению  $\dot{\gamma} = F/S$  величина  $dw/dx$  называется скоростью деформации и обозначается  $\varepsilon$ . Разность напряжений сдвига  $\text{Н/м}^2$ , скорости деформации –  $\text{с}^{-1}$

С учетом изложенного 1 принимает вид

$$\tau = \eta \cdot \varepsilon \quad (2)$$

Чтобы найти вязкость необходимо решить уравнение 1 или 2 применительно к конкретным условиям течения жидкости.

### **Теория капиллярных вискозиметров**

Теория, кроме гипотез сплошности и непрерывности использует следующие допущения и ограничения: скорость жидкости на стенке принимается равной 0, продукт считается несжимаемым, реологические свойства неизменны по длине и не зависят от времени, т.е. на течение не оказывают влияние процессы реолексии, релаксации и изотропии. Однако отмечены случаи проскальзывания продукта относительно стенки, т.е. скорость на стенке не равна 0. Теория предусматривает, например, для степенных жидкостей при индексе течения  $= 0$ , стержневой режим движения, при котором вся масса перемещается как твердый стержень и скорость на стенке равна среднеобъемной скорости потока, а градиент скорости на стенке стремится к бесконечности.

Основной предпосылкой научной обоснованности и объективности данных полученных на капиллярных вискозиметрах, является отсутствие турбулизации потока т.е. режим движения должен быть ламинарным или структурным. Режим движения характеризуется критерием Рейнольдса, который представляет собой безразмерное числовое значение, пропорциональное отношению кинетического потока  $m \cdot w^2 / 2$  где  $m$ - масса,  $w$ - средняя объемная скорость к работе сил вязкого сопротивления  $PI$ .  $P$ - сила сопротивления  $I$ - длина.

$$Re = \frac{p \cdot d \cdot w}{\eta} \quad (3)$$

Где  $p$  – плотность жидкости кг/м<sup>3</sup>

$d$  – диаметр трубки м

$\eta$  – вязкость жидкости

Критерий Рейнольдса не должен превышать 150, а длительность истечения жидкостей не должна быть меньше 100.

В общем случае теория капиллярной вискозимитрии рассматривает равномерное прямолинейное движение в горизонтальной трубке.

Касательное напряжение  $\theta$  на боковой поверхности выделенного цилиндра

$$\theta = \left( \frac{p}{2l} \right) \cdot r \quad (4)$$

Где  $p$  – перепад давления на торцах цилиндра Па

$L$  – длинна цилиндра м

$R$  – радиус цилиндра м

Вискозиметры капиллярного типа применяются для определения вязкости материалов, обладающих относительно небольшой ее величиной: мясокостного бульона крови и топленого жира, подсолнечных и соевых мицелл, растворов мыла и арахисовых масел, кондитерского жира. В капиллярных вискозиметрах задаются либо постоянным во всех опытах расходом жидкостей, либо постоянным перепадом давления в капиллярах. В вискозиметрах с постоянным расходом измеряется перепад давления между концами капилляра, в приборе с постоянным давлением – расход материала.

Каждый вискозиметр состоит из нескольких частей: емкости для исследуемого материала, калиброванного капилляра, приспособления для определения и регулировки давления, определение скорости течения материала, определения температуры.

Принцип действия капиллярных вискозиметрах основан на непрерывном сдвиге в капилляре вновь поступающей жидкости и постоянном уносе с материалом выделяющейся теплоты.

В опытах на капиллярных вискозиметрах получают зависимость расхода массы  $\theta$  от перепада давления  $\Delta p$ . Если проводят на одном капилляре то напряжение сдвига на стенке капилляра  $\tau$  рассчитывают по формуле

Где  $r$  – радиус капилляра м

$L$  – длинна капилляра

$N$  – поправка

Когда используют два капилляра одинакового радиуса но разной длинны, то  $\tau$  определяют по формуле

$$\tau = R \cdot \frac{(p_1 - p_2)}{[2(L_1 - L_2)]} \quad (5)$$

Скорость сдвига  $\gamma'$  в  $\text{с}^{-1}$  на стенке капилляра рассчитывают по формуле

$$\gamma' = \gamma'_{\text{ср}} \cdot \left[ 3 + \frac{dlq\gamma'_{\text{ср}}}{(dlq\tau)} \right] \quad (6)$$

Капиллярные вискозиметры можно условно разделить на 3 группы:

Стеклокапиллярные, цилиндр – поршень и приборы истечения. К первой группе приборов относят простейшие вискозиметры, представляющие собой U – образные трубки, в одном из колен которых помещен капилляр.

В вискозиметре Уббелоде, представленном на рисунке 3.1 для истечения жидкости одного из колен необходимо принудительно создавать давление и разрежение. Капилляр в приборе располагается вертикально, что представляет определенные трудности при работе с жидкостями, обладающих значительной вязкостью и поверхностным натяжением.

Далее трубки соединяются с атмосферой и определяется время истечения жидкости из резервуара через капилляр в резервуар. Время истечения отсчитывается при снижении уровня жидкости в трубке с резервуарами от риски  $m_1$  до  $m_2$ .

При определении вязкости ньютоновских жидкостей в капиллярных вискозиметрах воспользуемся формулой Пуазейля

$$Q = \frac{\Pi \rho g h d^4}{128 \eta (l + md)} \quad (7)$$

Где  $q$  – расход жидкости через капилляр  $\text{мм}^3$

$P$  – потери давления в капилляре Па

$D$  – диаметр капилляра мм

$\eta$  – ньютоновская вязкость

$l$  – длина капилляра мм

$m$  – поправка длинны капилляра

Давление на входе в капилляр является гидроскопическим и определяется по формуле

$$P = \rho g H \quad (8)$$

Где  $\rho$  – плотность жидкости  $\text{г/мм}^3$

$g$  – ускорение свободного падения  $\text{м/с}^2$

$h$  – высота столба жидкости мм

Подставив получаем

$$Q = \frac{\Pi \rho g h d^4}{128 \eta (l + md)} \quad (9)$$

Отсюда следуют что расход через капилляр линейно зависит от высоты  $h$ . Интегрируя выражение 3.3 по всему объёму полости из которой вытекает жидкость в капилляр можно определить время истечения жидкости. Эта задача существенно упрощается тем, что полость изготовлена симметрична относительно плотности со средней высотой столба жидкости. Поэтому расход можно принять постоянным и равным, тогда

$$Q(h_{cp}) = \frac{V}{t} \quad (10)$$

Где  $V$  – объём полости  $\text{мм}^3$

$T$  – время истечения жидкости с

Подставляя выражение 3.3 в 3.4 получим

$$\eta = \frac{\Pi \rho d_c h_{cp} d^4}{128V(l + md)} t \quad (11)$$

Выделив постоянные для данного капиллярного вискозиметра параметры получим

$$\eta = \rho \frac{g}{g_c} kt \quad (12)$$

$$K = \frac{\Pi \rho d_c h_{cp} d^4}{128V(l + md)} \quad (13)$$

Где  $K$  – постоянная вискозиметра

$g_c$  – стандартная величина ускорения свободного падения

Чтобы исключить влияние плотности жидкости обычно определяют ее кинематическую вязкость

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (14)$$

Получаем окончательную формулу для определения кинематической вязкости

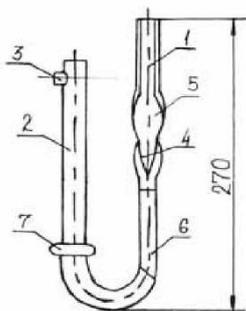
$$\nu = \frac{\rho}{g_c} kt \quad (15)$$

Важным является обеспечение постоянной и строго фиксированной температуры в процессе определения вязкости. Это достигается термостатированием вискозиметра.

Вязкость двух жидкостей связанных в одном капилляре будут связаны выражением

$$\eta = \eta_0 \frac{\rho}{\rho_0} \frac{t}{t_0} \quad (16)$$

Вискозиметр капиллярный стеклянный типа БПЖ-4, показанный на рисунке 3.1, представляет собой U – образную трубку, в колено 1 которого впаян капилляр 6. Измерение вязкости основано на определении времени истечения через капилляр фиксированного объёма жидкости, заключенного между отметками М1 и М2.



1 – рабочее место; 2 – вспомогательное колено; 3 – отводный патрубок; 4,5 – расширение рабочего колена; 6 – капилляр; 7 – расширение вспомогательного колена.

Перед определением вязкости жидкости вискозиметр должен быть тщательно промыт и высушен. Промывают их спиртом – ректификатом или ацетоном. Затем вискозиметр просушивают.

### **Порядок выполнения работы**

Для заполнения вискозиметра на отводной патрубок надевают резиновый шланг. Далее, зажав пальцем колено 2 и перевернув вискозиметр, опускают колено 1 в сосуд с жидкостью и засасывают ее

с помощью груши до отметки М2 следя за тем, чтобы в жидкости не образовывались пузырьки воздуха. Затем вискозиметр поворачивают в нормальное положение. Снимают с внешнего конца колена 1 избыток жидкости. После этого устанавливают вискозиметр на штативе. Если в этом есть необходимость, засасывают жидкость в колено 1 примерно до одной трети высоты расширения 5, затем сообщают колено 1 с атмосферой и определяют время истечения опускания менисков жидкости от отметки М2 до отметки М1. Вязкости вычисляется по формуле (3.8) по среднему из трех измерений времени истечения жидкости при значениях параметров  $K=0,2703 \cdot (10)^{-6}$ ;  $g=9,807 \text{ м/(с)}^2$

Результаты измерений заносят в таблицы

Таблица 3.1 – Результаты эксперимента

№ опыта	Наименование жидкости	Время истечения, с	Среднее время истечения, с	Кинематическая вязкость
---------	-----------------------	--------------------	----------------------------	-------------------------

Расчеты вязкости представляют в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Расчет Ньютоновской вязкости

Плотность жидкости	Ньютоновская вязкость
--------------------	-----------------------

Отчет должен содержать дату выполнения, цель работы, сведения о необходимом для выполнения работы оборудовании, схему лабораторной установки, заполненную таблицу результатов измерений, выводы.

### Контрольные вопросы

1. В чем заключается закон вязкого течения Ньютона?
2. Какие допущения и ограничения имеет теория капиллярных вискозиметров?
3. Какой режим движения жидкости должен быть в капиллярном вискозиметре?
4. Какие виды материалов исследуются данным методом?

5. Почему время истечения одинакового объема различных жидкостей через капилляр различно?
6. Запишите формулу касательных напряжений и ньютоновской жидкостей?
7. Назовите основные элементы капиллярного вискозиметра?
8. Каков принцип действия капиллярного вискозиметра?
9. Охарактеризуйте вискозиметр Уббелодде.

### **Лабораторная работа № 5**

Структурообразование и физико-механические свойства упруговязкопластичных материалов. Исследование реологических свойств неньютоновских жидкостей с помощью ротационного вискозиметра

**Цель работы: Усвоение методики определения вязкости методом ротационной вискозиметрии.**

#### **Теоретические сведения**

Семейство ротационных вискозиметров включает в себя системы с соосными цилиндрами, конусами, сферами и некоторыми другими поверхностями вращения. Помимо типа рабочих поверхностей (цилиндры, конусы и др.), ротационные вискозиметры отличаются друг от друга также устройствами для измерения момента вращения. В последнее время для изучения биологических жидкостей стали применяться приборы в которых внутренний цилиндр свободно плавает в испытуемой жидкости. Передавая к этому цилиндру момент вращения с помощью магнитного поля или через промежуточную жидкость, по его угловой скорости можно оценивать вязкость. Известны приборы для определения вязкости по скорости затухания колебаний. Среди них назовем ультразвуковые вискозиметры. Измерительным элементом их служит металлическая пластина, совершающая возвратно-поступательное движение с ультразвуковой частотой. К ним относится один из первых приборов для измерения вязкости, сконструированный Куло-

ном. В приборе Кулона вязкость оценивалась по затуханию колебаний в жидкости цилиндра, подвешенного на упругой нити. В лабораторной практике вязкость иногда оценивают по скорости движения шарика в жидкости. Если используется метод падения шарика, то измеряют его скорость  $\omega$ , и вязкость вычисляют по уравнению Стокса:

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot (d_r - d_{\text{ж}})}{\omega} \cdot q \quad (1)$$

Ротационная вискозиметрия проводится на приборах, где исследуемую массу помещают в зазоре между вращающейся и неподвижной частями, например, между коаксиальными цилиндрами. Масса, соприкасаясь вращающейся частью вискозиметра, увлекает за собой всю имеющуюся в зазоре массу. Фиксируя частоту вращения и усилие для его осуществления, определяют напряжение и скорость сдвига. Меняя частоту вращения, можно получить достаточное количество точек для построения кривой течения. Для многих пищевых масс, имеющих высокую вязкость, употребление ротационного вискозиметра не представляется возможным по ряду причин.

Например, при использовании прибора типа цилиндр-цилиндр, где исследуемую массу помещают в узком зазоре между наружным и внутренним цилиндрами. Возникают две противоположные задачи: необходимо иметь большой зазор для удобного, равномерного заполнения.

его довольно густой исследуемой массой, в то же время, зазор должен быть возможно меньшим, так как только при небольшом отношении его толщины к диаметру цилиндров можно считать, что во всех точках находящейся в зазоре массы скорости сдвига одинаковы, что необходимо для простого применяемого метода расчета по экспериментальным данным реологических характеристик массы. Ротационная вискозиметрия широко применяется в исследовании пищевых масс. Например бараночного и хлебопекарного теста, конфетной массы пралине, сливочной помадки, мясного фарша, а также мыла и т. п. Так данные ротационной вискозиметрии можно использовать для определения оптимальной продолжительности перемешивания масс.

## Техника вискозиметрического исследований.

Ротационную вискозиметрию можно проводить на установке, включающей в себя ротационный вискозиметр. Кроме вискозиметра РВ-8, известно очень много конструкций приборов ротационного типа. Многие из них существенно сложнее по устройству, но зато они позволяют и более точно и строго строить кривые течения исследуемых материалов.

### Описание лабораторной установки

Вращающаяся часть вискозиметра - ротор - приводится в движение действием падающих грузов, тянущих нити, навитые на барабаны жестко связанные с ротором. Ротор расположен внутри неподвижного цилиндра – статора. Внешний диаметр ротора и внутренний диаметр статора несколько отличается, благодаря чему между ними есть зазор, в который помещается исследуемая масса. Вокруг неподвижного цилиндра циркулирует подаваемая термостатом вода определенной температуры. Скорость вращения ротора под действием грузов определяется по времени 7-10 оборотов. Для отсчета времени используется секундомер, включаемый и выключаемый контактами, срабатываемыми от соприкосновения с движущимися грузами.

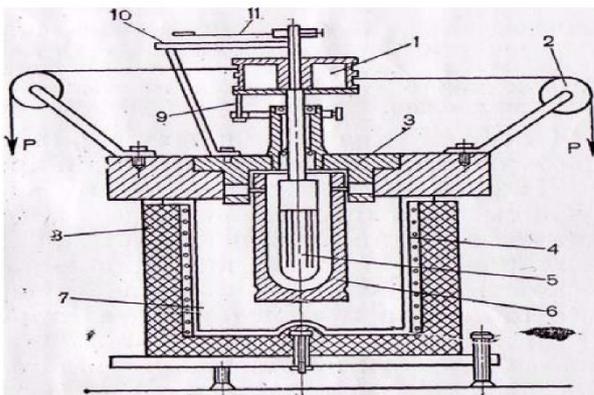


Рисунок 1 Установка для проведения ротационной вискозиметрии на базе вискозиметра РВ-8

1-шкив; 2 - блоки; 3 - установочная гайка; 4 - стакан для термостабилизирующей жидкости; 5 – ротор; 6 - стакан; 7 - спираль электронагрева; 8 - изоляция; 9 - стопор; 10 - шкала; 11 - стрелка.

### Порядок выполнения работы

Обработка результатов эксперимента ведется следующим образом. По замеренным  $P$  - массе груза в граммах и  $t$  – времени  $n$  – оборотов ротора можно подсчитать имевшие место напряжение сдвига  $\tau$  и скорость сдвига  $\dot{\gamma}$ .

### Результаты эксперимента заносятся в таблицу

образец	$P$	$t$	$n$	$K_{\tau}$	$\tau$	$K\dot{\gamma}$	$\dot{\gamma}$
№1							
№2							

Для подсчета скорости надо знать коэффициент  $K_{\dot{\gamma}}$  равный для РВ-8

$$K_{\dot{\gamma}} = 42,2 \cdot \frac{h + 1,16}{h + 1,26} \quad (2)$$

$$\dot{\gamma} = K_{\dot{\gamma}} \cdot \frac{n}{t} \quad (3)$$

### Контрольные вопросы

1. Приведите примеры способов определения вязкости в ротационных вискозиметрах.
2. Для исследования каких пищевых масс используются ротационные вискозиметры.
3. В каком случае и почему не представляется возможным использование ротационных вискозиметров.
4. Назовите основные элементы ротационного вискозиметра Воларовича.
5. Опишите работу ротационного вискозиметра

## **Лабораторная работа №6 Реометрия пищевого сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Определение коэффициентов трения пищевых материалов**

**Цель работы:** Изучить теоретические основы движения грузов в гравитационном транспорте; Усвоить методику определения коэффициентов трения различных материалов.

### **Теоретические сведения**

К пищевым материалам в данной работе будем относить сырье, полуфабрикаты и готовые пищевые продукты. Во всех отраслях пищевой промышленности широко используется гравитационный транспорт - это спускные желоба, лотки, трубы, каскадные и винтовые спуски, т.е. все те устройства, в которых движение груза происходит только под действием силы тяжести.

Такой способ используется при подаче материала в бункеры, для перемещения от затворов и питателей к конвейерам, при перегрузке с конвейера на конвейер и т.п. Для перемещения сыпучего и мелкодисперсного материала подходят спускные трубы, для крупнокускового материала чаще используются спускные лотки, желоба, винтовые спуски.

Штучный, плоскодонный груз (коробки, мешки, ящики, груз на поддонах) удобно перемещать по роликовым конвейерам, которые также относятся к гравитационному транспорту. Достоинство этого вида транспорта в отсутствии приводного устройства, невысокой стоимости, простоте.

Недостатки: износ внутренней поверхности конвейера при движении груза скольжением; разрушение, крошение, возможная деформация груза при неправильно выбранном угле наклона конвейера, образование заторов при изменившихся условиях (например, повышенная влажность транспортируемого материала). Для снижения влияния недостатков таких устройств необходимо правильно подобрать угол наклона гравитационного транспортирующего устройства с учетом коэффициента трения материала. Сила трения скольжения направлена в сторону, противоположную возможному движению тела и достигает значения, не превышающего определенного предела. Наибольшая сила трения скольжения

$F_{max}$  пропорциональна нормальному давлению  $N$  тела на поверхности и определяется законом Кулона.

$$F_{max} = f_0 \cdot N \quad (1)$$

Схема движения тела по вертикальной поверхности представлена на рисунке

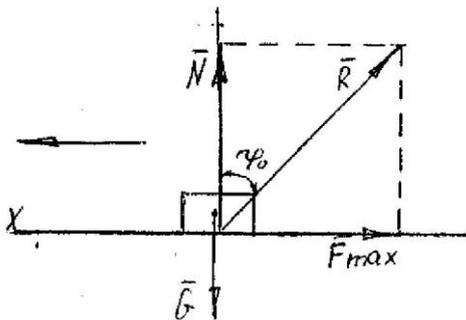


Рисунок 1- движения тела по вертикальной поверхности

Сила  $F_{max}$  отклоняет реакцию  $R$  от нормали на угол  $\Phi$ . Тангенс угла  $\Phi$  трения в покое равен статическому коэффициенту трения  $f$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{F_{max}}{N} = f_0$$

Динамический коэффициент трения скольжения  $f$  всегда меньше статического коэффициента  $f_0$  и зависит от материала соприкасающихся тел и их шероховатости. Для абсолютно гладких тел коэффициент  $f = 0$ , для реальных тел  $f > 0$ .

Рассматривая условия равновесия реального шероховатого тела на наклонной плоскости, представленные на рисунке 5.2, приходим к выводу, что при угле наклона  $\alpha$  плоскости к горизонту больше чем угол трения в покое  $\Phi$  тело начнет перемещаться в направлении оси  $X$ . Таким образом замерив угол  $\alpha$ , равный углу трения  $\Phi$  и вычислив значение  $\operatorname{tg} \alpha$  определим коэффициент трения скольжения в покое.

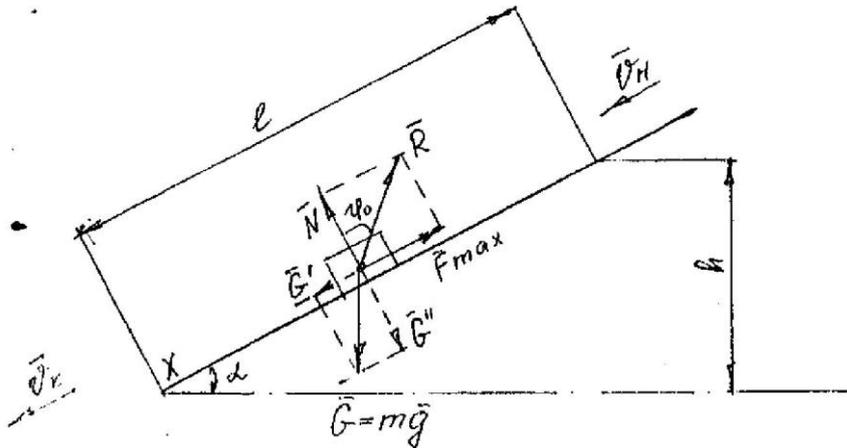


Рисунок 2 – Условия равновесия реального шероховатого тела

Как сказано выше необходимым условием перемещения груза по спуску является превышение угла наклона  $\alpha$  над углом трения груза. Из условия равноускоренного движения тела при  $\alpha > \Phi$  можно записать, что

$$mg = G \cdot \sin \alpha - f \cdot G \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

Но  $mg = G/a$ , отсюда коэффициент трения скольжения  $f$

$$f = \operatorname{tg} \alpha - \frac{a}{g \cdot \cos \alpha} \quad (4)$$

Где  $a$  – ускорение движения тела

$$a = \frac{2S_1 + 2S_0 - 2(S_1 + 2S_0)^2 - S_1^2}{t_1^2} \quad (5)$$

Если принять массу груза  $m$ , начальную скорость движения  $V_0$  а конечную  $V_k$  то величину скорости движения тела по спуску можно определить по теореме об изменении кинетической энергии

$$\frac{mV_k^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = mgh - mgfl \cos \alpha \quad (6)$$

учитывая, что  $h = l \sin \alpha$ , скорость на конечном участке определяется как

$$V_k = \sqrt{2gl(\sin \alpha - f \cos \alpha) + V_o^2} \quad (7)$$

$$V_k = \sqrt{2gh(1 - fctg\alpha) + V_o^2} \quad (8)$$

где  $f$  - коэффициент трения скольжения груза по спуску

Необходимо учитывать, что при большой длине конвейера скорость движения может достигнуть такой величины, при которой возможно повреждение груза. При известной начальной скорости  $V_o$  и заданной конечной скорости  $V_k$  длина спуска  $L$ , обеспечивающая заданную скорость, определится из уравнения

$$L = \frac{2gh - V_k^2 + V_o^2}{2gf_o} \quad (9)$$

Для снижения скорости спуск делается составным, причем на одном участке при  $\alpha > \Phi$  груз приобретает необходимую скорость, на другом, при  $\alpha < \Phi$ , обеспечивается торможение.

### Оборудование

Установка для определения коэффициентов трения различных материалов, представленная на рисунке 3, испытуемый материал, секундомер.

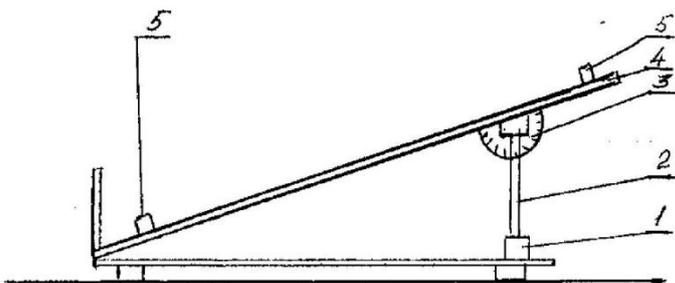


Рисунок 3 Установка для определения коэффициентов трения

1– основание; 2 – винт; 3 – шкала; 4 –поворотная платформа со сменными лотками; 5 – контакты.

### Ход работы

Определение статического коэффициента трения скольжения.

1 Установить платформу в горизонтальное положение и поместить образец в сменный лоток платформы.

2 Поворачивая винт 2 медленно увеличивать угол наклона платформу до тех пор, пока образец под действием собственной силы тяжести не начнет перемещаться.

3 По шкале транспортира определить угол  $\varphi$ . Для каждого образца опыт провести три раза и определить среднеарифметическое значение углов  $\varphi$ .

4 По формуле (5.2) вычислить значение статического коэффициента трения скольжения испытуемого материала по стали, по дереву, по резине.

Определение динамического коэффициента трения скольжения.

1 Установить платформу со сменным лотком под углом  $\alpha > \varphi$ , обеспечивающим равноускоренное движение материала.

2 Установить образец в исходное положение на расстоянии  $S_0$  до первого контакта, затем дать возможность свободно скользить по лотку до второго контакта, т.е.  $S_1$ .

3 Снять показания времени  $t$  по секундомеру и вычислить среднее значение  $t$  по трем опытам.

4 По формулам (4) и (5) вычислить значение динамического коэффициента  $f$  трения скольжения исследуемого материала по стали, по дереву и по резине.

.5 Опыты повторить не менее трех раз.

Определение конечной скорости движения материала.

1 По формулам (8) и (9) определить конечную скорость движения материала и длину конвейера при заданных значениях  $h$ .

2 Сравнить значения коэффициентов трения различных материалов, представив данные в таблице

Значения коэффициентов трения различных материалов

Исследуемый материал	Коэффициент трения скольжения $f$	
	Статический	Динамический
	по стали, дереву, резине	по стали, дереву, резине

### Контрольные вопросы

- 1 Какие виды гравитационного транспорта используются в пищевой промышленности?
- 2 Назначение и область применения гравитационного транспорта.
- 3 Достоинства и недостатки гравитационного транспорта.
- 4 Возможное регулирование скорости движения груза.
- 5 Пути снижения величины коэффициента трения.
- 6 Опишите работу лабораторной установки.

### Лабораторная работа №7 Изучение физико-механических свойств сваренных и сухих макаронных изделий.

**Цель работы:** Изучить методику определения прочности и слипаемости сухих и сваренных макаронных изделий.

### Теоретические сведения

Механическая прочность сухих макаронных изделий является одним из важных показателей, характеризующих их качество. Непрочные изделия ломаются при фасовке под действием усилий рабочих органов фасующих машин, а при упаковке насыпью, при транспортировке и хранении – под действием толчков и под влиянием массы верхних слоев изделий, находящихся в ящике.

Прочность сваренных макарон и степень их слипаемости определяют в первую очередь вкусовые достоинства сваренных макаронных изделий. А следовательно, и усвояемость их. Так, например, сваренные изделия нормальной прочности приятны при разжевывании, что важно физиологически, поскольку способствует секреторному выделению слюны и желудочного сока; слишком твердые, резинообразные изделия, равно как и изделия низкой

прочности, кашеобразные, оставляют неприятные вкусовые ощущения. Слипающиеся, образующиеся после варки комья, изделия – не привлекательны на вид и не способствуют повышению аппетита. Величина прочности макарон характеризуется величиной ломающей нагрузки, определяемой на приборе Строганова или на приборе ПМ-2.

### Описание лабораторной установки

Прибор ПМ-2, представленный на рисунке 1 позволяющий при помощи соответствующих приспособлений определять прочность сухих и сваренных макаронных изделий и степень слипаемости сваренных макаронных изделий.

Схема прибора ПМ-2 с устройством для определения прочности сухих макаронных изделий представлена на рисунке 2 Прочность макаронных изделий на приборе ПМ-2 определяется следующим образом. В отверстия приспособления для определения прочности макаронных изделий 5 помещают макаронную трубку длиной около 300 мм. Включают прибор тумблером 7. Включается электродвигатель 8 и происходит наматывание веревки 9 на втулку 10, поднимается крюк 6 зацепленный на макаронную трубку. Одновременно с возрастанием нагрузки на макаронную трубку на барабане 4 вычерчивается диаграмма самописцем 3. После излома макаронной трубки, прибор автоматически возвращается в исходное состояние. Прочность макаронных изделий определяется по высоте диаграммы.

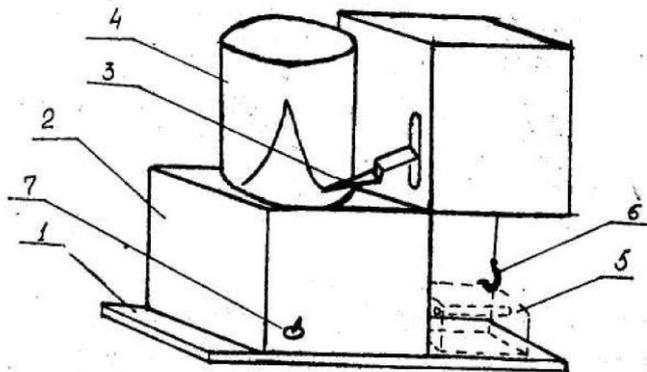
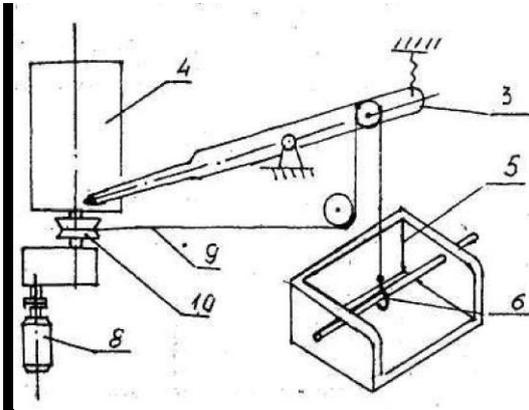


Рисунок 1 - Универсальный прибор ПМ-2

1 – основание прибора; 2 – корпус; 3 – самописец; 4 – вращающийся барабан; 5 – приспособление для определения прочности сухих макаронных изделий; 6 – крюк; 7 – тумблер.



3 – самописец; 4 – вращающийся барабан; 5 – приспособление для определения прочности сухих макаронных изделий; 6 – крюк; 7 – тумблер; 8 – электродвигатель; 9 – веревка; 10 – втулка.

Рисунок 2 – Схема прибора ПМ-2 с устройством для определения прочности сухих макаронных изделий.

Величину прочности вычисляют как среднее арифметическое из пяти определений. Для короткорезанных изделий нормы прочности не установлены (ввиду отсутствия метода определения прочности короткорезанных изделий), однако стандартом установлены предельно допустимые содержания крошки в короткорезанных изделиях, что в свою очередь косвенно отражает величину прочности этих изделий.

Требования стандарта ГОСТ 875 – 92 к прочности макаронных изделий указаны в таблице 1.

Таблица 1 - Требования стандарта к прочности макаронных изделий.

Прочность макарон в г, не менее для сорта изделий.	высшего	высшего яичного	первого
Менее 3,0	Не учит.	Не учит.	Не учит.
От 3,0 до 3,4	100	70	100
От 3,5 до 3,9	120	100	120
От 4,0 до 4,4	200	150	200
От 4,5 до 4,9	250	200	250
От 5,0 до 5,4	300	250	300
От 5,5 до 5,9	400	350	400
От 6,0 до 6,4	550	450	550
От 6,5 до 6,9	650	550	700
От 7,0 и более	750	600	800

Прочность сваренных изделий определяется на срез на приборе ПМ-2 при помощи приспособления для определения прочности сваренных изделий, которое представлено на рисунке 3.

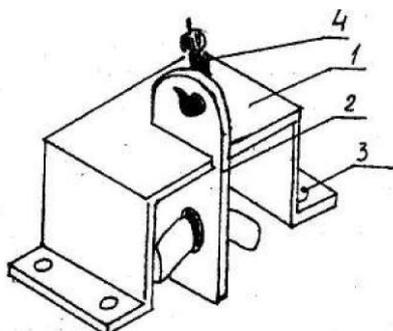


Рисунок 3 – Приспособление для определения прочности (на срез) сваренных макаронных изделий

1 – пластина с прорезью; 2 – планка с отверстием для макаронной трубки; 3 – макаронная трубка; 4 – крючок прибора ПК-2.

Макаронные изделия варят в десятикратном количестве воды до готовности (длинные изделия предварительно распиливаются на отрезки 4...5 см). По окончании варки сливают варочную воду и изделия помещают в чашечку с холодной водопроводной водой.

В прорезь пластинки 1, укрепленной на основании прибора опускается металлическая планка 2, подвешенная на крючке 4. В отверстия планки 2 вставляется макаронная трубка 3. Включается прибор ПМ-2 и определяется усилие, необходимое для разрезания макаронной трубки. Опыт повторяется не менее пяти раз, за результат берется среднее арифметическое. Для удобства сравнения результатов измерения прочности сваренных макаронных изделий разного вида, определяется удельная прочность сваренных макаронных изделий по формуле:

$R_{уд} = P/S$ , где  $P$  – абсолютная прочность образца сваренных изделий, г ( по высоте диаграммы вычерчиваемой на приборе ПМ-2 );  $R_{уд}$  – удельная прочность, г/мм;  $S$  – площадь поперечного сечения, мм

Степень слипаемости сваренных изделий может быть определена на том же приборе ПМ-2 с помощью специального приспособления, изображенного на рисунке 4

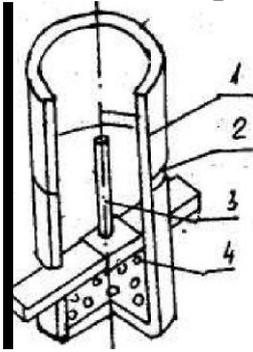


Рисунок 4 – Приспособление для определения степени слипаемости

1 – корпус; 2 – прорезь; 3 – стержень; 4 – планка.

30 г макаронных изделий варят в 400 мл воды до готовности (длинные изделия предварительно распиливают на отрезки примерно по 2 см). Сваренные изделия сливают в цилиндрический корпус 1 приспособления, показанного на рисунке 6.4, при этом варочная жидкость сливается через перфорированное дно.

Изделия выстаиваются в течение 10 мин, после чего в боковую прорезь 2 вставляют лезвие ножа и проворачивают верхнюю часть корпуса на  $360^\circ\text{C}$ , срезая таким образом верхнюю часть массы сваренных изделий. Не вынимая лезвия ножа из прорези, снимают верхнюю часть корпуса, а вместе с ней, следовательно, и отрезанную верхнюю часть массы. Затем в кольцо на стержне 3 вставляют крючок прибора ПМ-2 и определяют усилие, необходимое для вырывания стержня 3 с укрепленной на нем планкой 4 из массы сваренных изделий. Это усилие и характеризует степень слипаемости сваренных макаронных изделий.

#### **Ход работы:**

Определяют величину механической прочности сухих макаронных изделий на приборе ПМ-2.

На технических весах отвешивают 30 г макаронных изделий (длинные изделия предварительно распиливают на отрезки по 2-3 см);

400 мл водопроводной воды наливают в кастрюльку (стакан из термостойкого стекла) и на электроплитке доводят до кипения;



## **Выводы по работе.**

### **Контрольные вопросы**

1. Каково значение прочности макаронных изделий для производителя и потребителя?
2. Какова должна быть степень прочности и слипаемости сваренных макаронных изделий?
3. Опишите работы прибора ПМ – 2.

## **Лабораторная работа №8 Изучение адгезионных свойств пищевых продуктов**

**Цель работы:** Изучить методику определения адгезионных свойств пищевых продуктов.

### **Общее положение**

При проектировании и расчете механизмов и машин и технологических процессов, а также для выбора конструкционного материала и определения технологических режимов работы оборудования, необходимо знать силы взаимодействия между обрабатываемой пищевой массой и поверхностью рабочих органов. Адгезия (липкость), определяющая поверхностные свойства пищевых масс, проявляется на границе раздела между продуктом и твёрдой поверхностью. Адгезия имеет существенное значение в процессе производства пищевых масс, особенно в тех случаях, где возможен контакт между массой и поверхностью обрабатывающей машины. В настоящее время адгезии уделяют большое внимание, особенно при проектировании нового оборудования. Адгезия пищевых масс изучена сравнительно мало, т.к. на её величину влияют многие факторы, такие как температура и влажность массы, геометрические, кинематические и динамические условия, время контактирования массы с поверхностью машины. Приборы, которые позволяют определить адгезионные свойства пищевых масс, называются адгезиомерами. В большинстве своём адгезиомеры выполнены в единичных экземплярах и используются для исследований каких-то определённых масс: кондитерских, мясных и молочных,

хлебопекарных и др. По принципу действия адгезиометры делятся на две группы. Первая группа приборов характерна тем, что нарушение контакта происходит одновременно на всех участках площади (рисунок 1). Во второй группе нарушение контакта происходит путём последовательного отрыва отдельных участков, т.е. расслоением, отдираанием (рисунок 2).

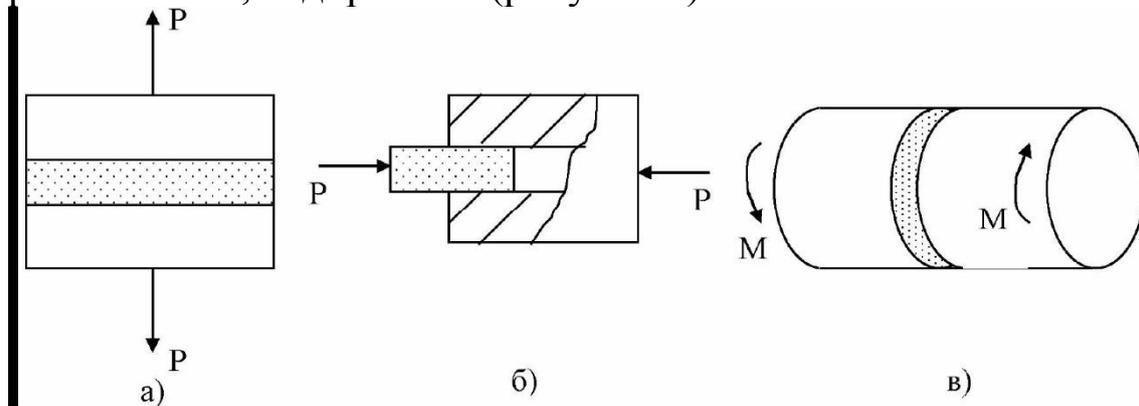


Рисунок 1 -Адгезиометры с одновременным нарушением контакта на всех участках площади

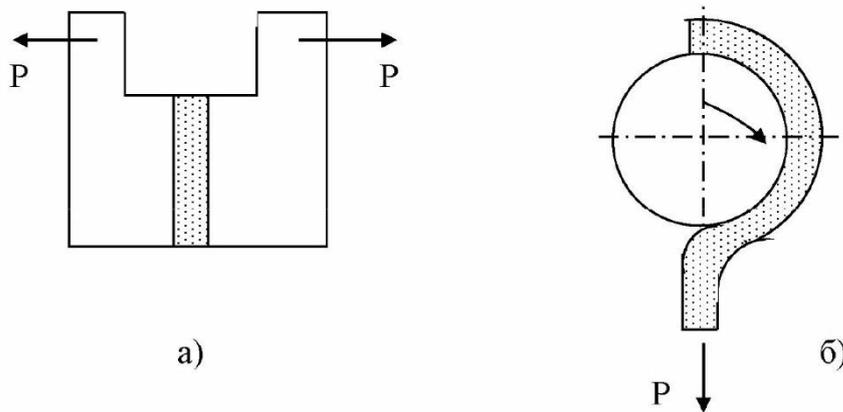


Рисунок 2 - Адгезиометры с последовательным отрывом отдельных участков

Оба метода определения адгезионной прочности нашли практическое применение. При первом методе нагрузка может быть приложена в направлении как перпендикулярном к плоскости контакта поверхностей, так и параллельном ей. Нагрузку в данном случае относят к единице площади поверхности контакта. Во втором методе нагрузку, необходимую для расслоения склейки, относят к единице длины. Наибольшее распространение в адгезиометрах получила схема а, изображённая на рисунке 1.

## Порядок выполнения работы

Для исследований адгезионных свойств пищевой массы необходимо не большое количество массы поместить ровным слоем в ёмкость 1 так, чтобы она немного выступала над уровнем её краёв. Далее аккуратно накрывают массу пластинкой (из органического стекла) и лёгким нажатием уплотняют массу до тех пор, пока поверхность её не станет ровной. После этого ёмкость с массой устанавливают на основание весов под диском 2. На площадку 3 помещают груз минимальной массы, например, 50 г, чему соответствует усилие контакта  $R_{кон} = 0,5 \text{ Н}$ . Плавно поворачивают кулачок 10 и приводят прибор в рабочее положение, при этом диск 2 входит в контакт с массой. Через определённое время в чашу 7 весов наливают воду из мерного цилиндра, в который предварительно наливают 400 мл воды, до тех пор, пока не произойдёт отрыв диска 2 от массы.

## Схема лабораторной установки

На рисунке 3 показана кинематическая схема прибора, предназначенного для изучения адгезионных свойств пищевых масс. Работа прибора основана на принципе отрыва конструкционного материала (субстрата) от пищевой массы (адгезива). В основе конструкции прибора (адгезиометра) использованы технические весы. Исследуемая масса помещается в ёмкость 1, которая устанавливается на основание весов. Стальной диск 2 вводят в контакт с массой некоторым постоянным усилием, которое создаётся грузом 4, установленным на площадке 3. Усилие отрыва диска 2 от пищевой массы определяется массой груза 8, который помещается в чаше 7 весов. В нерабочем положении коромысло 5 весов лежит на двух опорах 6. Чтобы привести весы в рабочее положение, необходимо при помощи рукоятки повернуть кулачок 10 на  $1/4$  оборота, который поднимает штангу 9 вместе с коромыслом 5. Перед проведением эксперимента весы уравниваются.

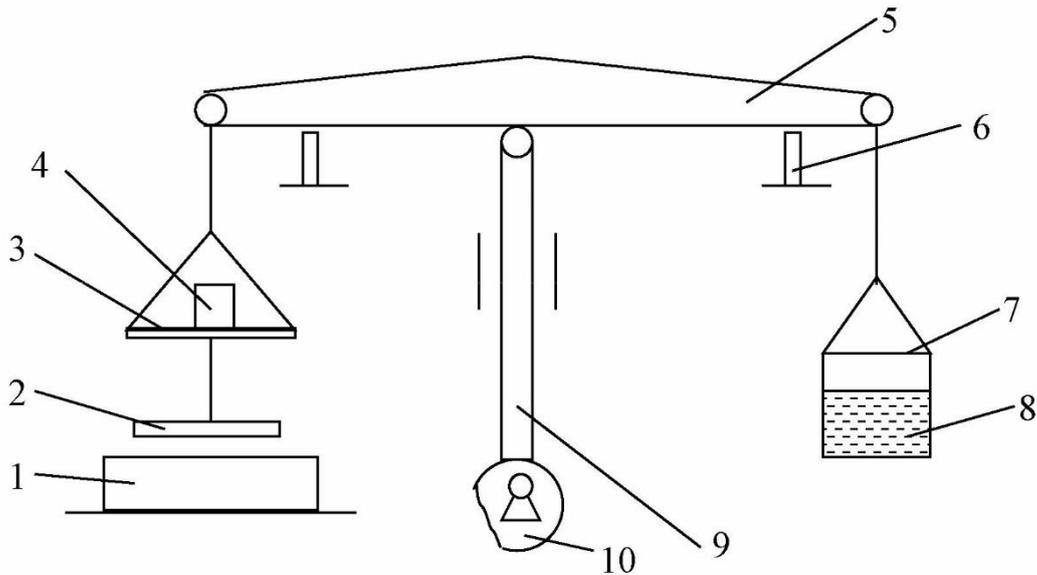


Рисунок 3 - Схема экспериментальной установки

### Обработка результатов

По количеству вылитой воды из цилиндра определяют усилие отрыва  $P_{отр}$

$$P_{атм} = \rho \cdot g \cdot V = 0,01V$$

где  $\rho$  - плотность воды, 1000 кг/м<sup>3</sup>;

$g$ - ускорение силы тяжести,  $\sim 10$  м/с<sup>2</sup>

$V$  - объём воды, вылитой из цилиндра, мл.

После окончания эксперимента воду из чашки наливают обратно в мерный цилиндр и повторяют эксперимент с той же массой и тем же грузом, но при другом времени контактирования (20, 30, 60, 90, 120 и 180 с). По окончании этой серии экспериментов проводят эксперименты с грузами массой 100, 150 и 200 г.

### Контрольные вопросы

- 1 Что понимается под адгезией?
- 2 Что понимается под специфической адгезией?
- 3 Что понимается под механической адгезией?

4 Что влияет на формирование адгезионной связи между пищевыми и конструкционными материалами?

5 Перечислите способы влияния на адгезию пищевых материалов.

6 Требования, предъявляемые к адгезиометрам.

7 Виды адгезиометров по способу приложения нагрузки.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ 7 СЕМЕСТР

### Лабораторная работа №1 Оценка реологических свойств шоколадных полуфабрикатов как структурированных систем

#### Цель работы:

- изучить технологические процессы, сопровождающиеся образованием шоколадных полуфабрикатов в виде дисперсных систем (измельчение крупки до какао тертого, измельчение рецептурных смесей шоколадных масс, конширование);
- освоить методы и приобрести навыки определения вязкости и предела текучести шоколадных полуфабрикатов.

**Задание 1.** Изучить механизм структурообразования в шоколадных полуфабрикатах и виды структур. Изученную информацию законспектировать в рабочую тетрадь.

**Задание 2.** Изучить реологические показатели шоколадных масс. Изученную информацию законспектировать в рабочую тетрадь.

**Задание 3.** Изучить закономерности влияния различных факторов на реологические показатели шоколадных полуфабрикатов. Изученную информацию законспектировать в рабочую тетрадь.

**Задание 4.** Освоить методы определения реологических показателей шоколадных полуфабрикатов. Изученную информацию законспектировать в рабочую тетрадь.

**Задание 5.** Определить реологические показатели шоколадных полуфабрикатов.

Работа по определению реологических показателей шоколадных полуфабрикатов выполняется студентом в соответствии с заданием, которое предложено преподавателем. В задании указываются два образца какао тертого или шоколадной массы, которые позволят проследить влияние одного из факторов. Например, предлагается определить вязкость образцов какао тертого с различной влажностью или двух образцов шоколадной массы без введения лецитина и с введением лецитина и т.д. Характеристика образцов должна быть приведена далее в журнале, также, как и все экспериментальные данные и расчеты.

Таблица 1 – Результаты исследований

Наименование показателя	Образец № 1	Образец №2
Вязкость эффективная или пластическая, Па с		
Предел текучести, Па		
Температура исследуемых образцов, °С		
Влажность исследуемых образцов, %		

По полученным результатам работы необходимо сделать выводы: (какую величину вязкости и предела текучести имеет каждый из исследованных образцов, какое установлено влияние исследуемого фактора на вязкость и предел текучести шоколадного полуфабриката).

### **Лабораторная работа №2. Физико-химические свойства карамельной массы и карамели. Стойкость карамели при хранении**

#### **Цель работы**

- научиться понимать значимость оценки физико-химических свойств фруктовых конфетных масс и конфетных корпусов студнеобразной структуры реологическими показателями;

- научиться понимать сущность процессов студнеобразования при формировании конфетных корпусов и способов их регулирования;
- освоить методы определения вязкости фруктовой конфетной массы и пластической прочности фруктового конфетного корпуса.

**Задание 1.** Оценить физико-химические свойства фруктовых конфетных масс и корпусов конфет по реологическим показателям (вязкость, пластическая прочность), значение реологических показателей, способы их регулирования.

Укажите, каким реологическим показателем характеризуют физико-химические свойства фруктовых конфетных масс, его роль, факторы, влияющие на этот показатель, способы регулирования реологических свойств. Ответы законспектируйте в рабочей тетради.

**Задание 2.** Изучить процесс студнеобразования фруктовых конфетных масс при формировании конфетного корпуса. Укажите, каким реологическим показателем характеризуют физико-химические свойства фруктовых конфетных студней и его значение. Какую роль играют рецептурные ингредиенты в образовании фруктового конфетного студня (пектин, сахар, кислота, буферные соли). Сущность процесса студнеобразования. Ответы законспектируйте в рабочей тетради.

**Задание 3.** Изготовить фруктовую конфетную массу по рецептуре, предложенной преподавателем. Одну часть конфетной массы загрузить в вискозиметр, другую в кювету конического пластометра, остальную массу отформовать в ячейки из крахмала.

Определите вязкость фруктовой конфетной массы при температуре 95°C (при отсутствии в конфетной массе солей-модификаторов) или при температуре 70-75°C (при использовании в рецептуре солей-модификаторов);

Определите пластическую прочность фруктового конфетного студня после 50 минут выстаивания кюветы с отлитой фруктовой конфетной массой при температуре 8-12°C.

Результаты оформить в виде таблицы. Сделать выводы (о соответствии реологических показателей конфетной массы и фруктового конфетного студня требованиям производства).

## **Лабораторная работа №3 Приготовление и определение показателей качества фруктово-ягодного мармелада**

**Цель работы** изучить органолептические показатели качества фруктово-ягодного мармелада;

-физико-химические, реологические показатели качества фруктово-ягодного мармелада.

-рассчитать рецептуру на загрузку сырья;

-изготовить фруктово-ягодный мармелад;

-оценить полученный фруктово-ягодный мармелад по органолептическим показателям;

-определить кислотность фруктово-ягодного мармелада.

### **1 Теоретическая часть**

Основной отличительной характеристикой мармелада является студнеобразная консистенция.

Студнеобразователем для фруктово-ягодного мармелада являются пектиновые вещества, содержащиеся в желирующем фруктово-ягодном пюре (яблочном, сливовом, абрикосовом и т.д.)

Фруктово-ягодный мармелад в зависимости от применяемого в качестве основы фруктово-ягодного сырья и от способа формования подразделяют на следующие виды:

- формовой с основой из яблочного или сливового пюре в виде мелких изделий различной формы;

- резной с основой из яблочного пюре в виде мелких брусочков прямоугольной формы;

- пластовый из яблочного или других видов фруктово-ягодного сырья в виде пласта, отлитого непосредственно в тару;

- пат с основой из абрикосового пюре в виде лепешек круглой или овальной формы, полушарий, горошин или мелких шариков.

Технологический процесс приготовления фруктово-ягодного мармелада складывается из следующих стадий:

- приготовление рецептурной смеси;

- уваривание рецептурной смеси;

- приготовление мармеладной массы;

- формование;

- сушка;

- охлаждение.

Фруктово-ягодный мармелад имеет приятный вкус, высокую усвояемость, хорошо сохраняется, т.к. влажность готового мармелада не более 24 %, массовая доля сахара не менее 65 %.

Для образования студнеобразной консистенции фруктово-ягодного мармелада необходимо, чтобы в мармеладной массе присутствовало 0,8 – 1,2 % пектиновых веществ, 0,8 – 1,0 % кислоты и 65 – 70 % сахара.

Мармелад оценивают по органолептическим и физико-химическим показателям в соответствии с ГОСТ 6442-89.

Таблица 1 Органолептические показатели качества фруктово-ягодного мармелада (по ГОСТ 6442-89)

Наименование показателей	Характеристика
1	2
Вкус, запах и цвет	Характерные для данного наименования мармелада, без постороннего привкуса и запаха. В многослойном мармеладе каждый слой должен иметь вкус, аромат и цвет, соответствующий его наименованию.
Консистенция	Студнеобразная. Для пата – плотная, затяжистая.
Форма	Соответствующая данному наименованию мармелада. Для формового – правильная, с четким контуром, без деформации. Допускаются незначительные наплывы. Для резного – правильная с четкими гранями, без деформаций. Для пластового – форма упаковки, в которую разливают мармеладную массу.
Поверхность	Для фруктово-ягодного с тонкокристаллической корочкой или обсыпанная сахаром-песком. Для пластового мармелада допускается слегка увлажненная поверхность.

Таблица 2 Физико-химические показатели качества фруктово-ягодного мармелада (извлечение из ГОСТ 6442-89)

Наименование показателей	Норма для фруктово-ягодного мармелада	
	формового	пластового

Влажность, %	9,0-24,0 (для мармелада глазурированного шоколадной глазурью не более 26)	29,0-33,0
Массовая доля редуцирующих веществ, %, не более	28,0	40,0
Тетруемая кислотность, град	6,0-22,5	40,0
Массовая доля золы, не растворимой в 10 %-ном растворе соляной кислоты, %, не более	0,1	0,1
Массовая доля общей сернистой кислоты, %, не более	0,01	0,01
Массовая доля бензойной кислоты, %, не более	0,07	0,07

## 2 Материальное обеспечение

Таблица 3 Нормативы материального обеспечения

Наименование сырья, химических реактивов, приборов, посуды и др.	Нормы на 1 рабочее место
1 Сырье:	
- сахар-песок, г;	200
- пюре яблочное, г;	200-400
- кислота молочная (лимонная, яблочная и др.), г;	1
2 Химические реактивы:	
- раствор гидроксида натрия (калия) с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/л, см <sup>3</sup> ;	200 10 1-15
- дистиллированная вода, см <sup>3</sup> ;	0,5-1,0
- 50 %-ный раствор лимонной кислоты, см <sup>3</sup> ;	
- фенолфталеин, см <sup>3</sup>	
3 Химическая посуда:	2
- коническая колба или стакан вместимостью 150-250 см <sup>3</sup> , шт;	1
- бюретка вместимостью 2,5-5,0 см <sup>3</sup> , шт;	1
- цилиндр мерный вместимостью 50 см <sup>3</sup> , шт	

4 Инвентарь, посуда:	1
- алюминиевый ковш, шт;	1
- термометр ртутный до 150 <sup>0</sup> С, шт;	1 на подгруппу
- электронные весы с точностью 0,01 г, шт;	1
- электроплита, шт;	1
- лоток для отливки мармеладной массы, шт;	1
- шпатель металлический, шт;	1
- титровальная установка, шт	

### 3 Экспериментальная часть

#### Расчет рецептур

Рассчитать рецептуру на загрузку сырья на основании унифицированной рецептуры на мармелад «Яблочный» пластовый.

#### Рецептура

Мармелад «Яблочный» Мармелад представляет собой плотную массу режущейся консистенции с ярко выраженным вкусом яблок. Выпускается весовым в виде прямоугольных брусков или пластов и фасованным. Влажность 30,0±3 %

Таблица 4 Рецептура Мармелад «Яблочный»

Наименование сырья	Содержание сухих веществ, %	Общий расход сырья на 1 т готовой продукции, кг		Общий расход сырья на изготовление мармелада из 200 г сахара, г	
		в натуре	в СВ	в натуре	в СВ
Сахар – песок	99,85	628,0	627,1	200	
Пюре яблочное	10,00	817,0	81,7		
Кислота лимонная	40,00	2,5	1,0		
ИТОГО	-	1447,5	709,8		
ВЫХОД	70,0	1000,0	700,0		

#### Приготовление мармелада

В алюминиевом ковше смешать пюре с сахаром и уварить при перемешивании до содержания сухих веществ 68-70 %, что соответствует температуре кипения 108-110<sup>0</sup>С. Горячую мармеладную

массу отливают в лоток в форме пласта толщиной около 2 см. Отмечают время отливки и образования достаточно прочного студня, определяют продолжительность процесса студнеобразования. Пластовый фруктовый мармелад не сушат.

Данные об условиях приготовления мармелада сводятся в таблицу 5

Таблица 5 Характеристика условий приготовления пластового мармелада

Наименование показателей	Численное значение или характеристика показателя	
	по технологической инструкции	экспериментальные данные
Температура мармеладной массы в конце уваривания, °С	108-110	
Продолжительность уваривания, мин	в зависимости от условий	
Продолжительность студнеобразования, мин	20	

В пластовом мармеладе определяют органолептические показатели и титруемую кислотность.

### **Органолептическая оценка**

Органолептическая оценка проводится согласно ГОСТ 6442-89 по показателям, приведенным в таблице 2. Результаты оценки сводятся в таблицу 6

Таблица 6 Органолептические показатели качества яблочного пластового мармелада

Наименование показателей	Величина (характеристика показателей)	
	анализируемый мармелад	по ГОСТ 6442-89
- вкус, запах и цвет - консистенция - форма -поверхность		

### **Определение титруемой кислотности**

Метод основан на нейтрализации кислоты, содержащейся в навеске гидроокисью натрия (калия) в присутствии фенолфталеина до появления розовой окраски.

Навеску продукта массой 5 г, взвешенную с точностью до 0,01 г, помещают в коническую колбу или стакан, приливают 50 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, предварительно нагретой до температуры 60-70<sup>0</sup>С, доводят объем до 100 см<sup>3</sup>, добавляют 2-3 капли фенолфталеина, и не обращая внимание на исчезающий остаток, титруют раствором гидроксида натрия (калия) с концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup> до бледно-розового окрашивания, не исчезающего в течение 1 минуты. Кислотность X, град, рассчитывается по формуле

$$X = \frac{K \cdot V \cdot 100}{m \cdot 10}, \quad (5)$$

где K – поправочный коэффициент раствора гидроксида натрия (калия) с концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, использованного для титрования;

V – объем раствора гидроксида натрия (калия), израсходованного на титрование, см<sup>3</sup>;

100 – коэффициент пересчета на 100 г продукта;

m – масса навески, г;

10 – коэффициент пересчета концентрации гидроксида натрия (калия) 0,1 моль/дм<sup>3</sup> в 1 моль/дм<sup>3</sup>.

Экспериментальные и расчетные данные приводятся в форме таблицы 7.

Таблица 7 Результаты определения кислотности пластового мармелада

Наименование определяемой величины	Численное значение		
	1	2	среднее
1	2	3	4
Объем раствора гидроксида натрия (калия)			
с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/дм <sup>3</sup> , пошедшей на нейтрализацию кислот в 5 г мармелада, см <sup>3</sup>			

Объем раствора гидроксида натрия (калия) с молярной концентрацией эквивалента $0,1 \text{ моль/дм}^3$ , пошедшей на нейтрализацию кислот в 100 г мармелада, $\text{см}^3$			
Титруемая кислотность мармелада, град			

Полученные данные сравнить с требованиями к качеству и свести в таблицу 8.

Таблица 8 Показатели качества фруктово-ягодного пластового мармелада

Наименование показателей по стандарту	Величина (характеристика)	
	анализируемого	по стандарту

На основании анализа данных таблицы сформулировать вывод о качестве мармелада.

#### Контрольные вопросы

- 1 Какие требования предъявляются к фруктово-ягодному пюре для производства мармелада?
- 2 Основные стадии приготовления фруктово-ягодного пластового мармелада и их назначение
- 3 Обоснование рецептуры фруктового мармелада
- 4 Органолептические показатели качества мармелада. 5 Методика определения титруемой кислотности мармелада.

#### Лабораторная работа №4 Исследование реологических характеристик на ротационном вискозиметре

**Цель работы:** ознакомиться с теорией ротационных вискозиметров; конструкцией вискозиметра «Реотест-2», его принципа работы, методикой проведения измерений; провести исследование реологических параметров пищевых материалов при разных скоростях сдвига, температурах, построить кривые течения, определить реологическую модель продукта.

#### Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Ознакомиться с теоретической частью работы (аудиторно и самостоятельно).

2. Подготовить лабораторную установку к проведению исследований (выставить на «ноль», заправить материал, провести термостатирование).

3. Провести измерения в трёх повторностях, данные занести в таблицу 1.

4. Построить зависимость предельного напряжения сдвига  $\tau$  от скорости сдвига  $\dot{\gamma}$ . Рассчитать реологические характеристики.

5. Сделать выводы по лабораторной работе.

**Методика проведения эксперимента.** Опыты проводятся на ротационном вискозиметре «Реотест-2», рисунок которого и описание конструкции приведены на рисунке 1

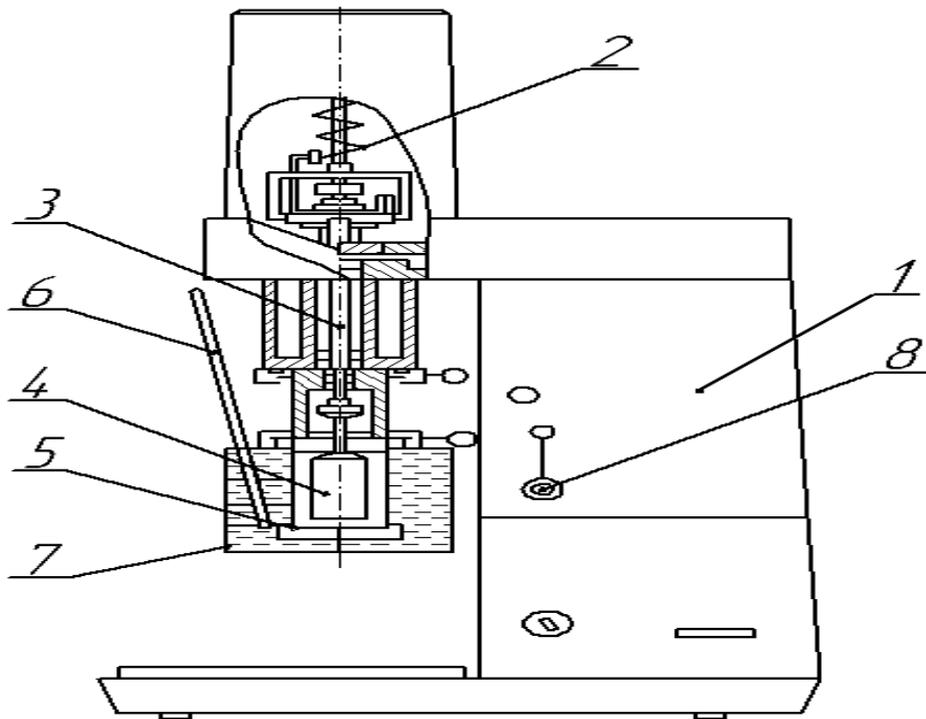


Рис. 1. Измерительный блок ротационного вискозиметра «Reotest-2»:

1 - станина; 2 - динамометр;

3 - приводной вал; 4 - измерительный цилиндр (внутренний);

5 - измерительная ёмкость (наружный цилиндр);

6 - термометр; 7 - термостатирующая ёмкость;

8 - рычаг переключения коробки передач

1. Перед началом опыта порцию исследуемой массы помещают в наружный цилиндр 3 (при этом внутренний цилиндр 2 уже должен быть закреплён на ведущем валу б) и устанавливают его в рабочее положение коаксиально цилиндру 2. При этом происходит заполнение исследуемой массой кольцевого зазора. После установки цилиндров при необходимости проводят термостатирование материала и коаксиальных цилиндров, для чего в конструкции прибора предусмотрен ультратермостат, сосуд которого надевается поверх наружного цилиндра и крепится при помощи специального замка. Термостатирование необходимо проводить не менее 20 мин, что позволяет равномерно прогреть не только исследуемый материал, но и рабочие цилиндры 2 и 3.

2. После выполнения приведённых выше операций начинают снимать показания, для чего устанавливают рукоятку переключения скоростей на первую скорость, выбирают жёсткость измерительной пружины, переводя переключатель на отметку I или II (начинают обычно с диапазона I). После включения прибора внутренний цилиндр начинает вращение. Вращение на данной скорости проводят до стабилизации положения показаний вторичного прибора, измеряющего угол  $\alpha$  относительного поворота цилиндров 2 и 3. Показания прибора записывают в таблицу 1, включают последовательно скорости сдвига (их 12) и по описанной методике получают соответствующие данные, которые также записывают в таблицу 1.

После измерений выключают привод, снимают с прибора термостатирующий сосуд, а затем цилиндры 2 и 3. Рабочие цилиндры тщательно моют, сушат, а их поверхности обезжиривают.

3. Для получения достоверных данных необходимо провести эксперимент трижды. Данные каждого измерения заносятся в таблицу 1.

**Обработка результатов эксперимента.** Напряжение сдвига вычисляют по формуле:

$$\tau = \alpha \cdot z, \quad (1)$$

где  $z$  - константа измерительного цилиндра, Па на ед. шкалы (табл. 2);

$\alpha$  - показания вторичного прибора, деления.

После расчёта напряжений сдвига необходимо построить кривую течения материала в координатах  $\tau-\dot{\gamma}$ . Данный график поможет определить, к какому типу материалов относится исследуемая масса и спрогнозировать ее поведение при тех или иных нагрузках.

Таблица 1 Экспериментальные данные

№	Скорость сдвига $\dot{\gamma}$ , $\text{с}^{-1}$	Показания прибора, $\alpha$ , деления								↓	↑
		1 ↓	1 ↑	2 ↓	2 ↑	3 ↓	3 ↑	ср ↓	ср ↑		
1	1,0										
2	1,8										
3	3,0										
4	5,4										
5	9,0										
6	16,2										
7	27,0										
8	48,6										
9	81,0										
10	145,7										
11	243,0										
12	437,4										

Таблица 2 Константы вискозиметра «Реотест-2»

Измерительный цилиндр	Соотношение радиусов цилиндров	Константы цилиндров, Па на ед. шкалы		Пределы измерения градиента скорости
		диапазон I	диапазон II	
$S_1$	0,98	1,19	5,92	1,5-1310
$S_2$	0,94	1,23	6,16	0,5-437
$S_3$	0,81	1,69	8,45	1/6-146

<i>H</i>	0,81	5,89	29,29	1/6-146
----------	------	------	-------	---------

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Какова цель работы?
2. Как устроен ротационный вискозиметр?
3. Перечислите приборы для исследования сдвиговых характеристик жидкообразных материалов.
4. Каковы преимущества ротационного вискозиметра по сравнению с капиллярным?
5. В чём заключается принцип измерений на ротационных вискозиметрах?
6. Опишите методы создания сдвигового течения в ротационных вискозиметрах.
7. Какие эффекты снижают точность измерений при ротационной вискозиметрии?
8. Изобразите характерные для пищевых систем кривые течения.
9. Напишите уравнение Гершеля-Балкли. В каких случаях оно применяется.
10. К какому типу жидкости можно отнести исследуемый в работе материал?

### **Лабораторная работа №5. Определение тиксотропных свойств теста на ротационном вискозиметре**

#### **Цель работы:**

1. Изучение конструкции и приобретение навыков работы с ротационным вискозиметром РВ-8м (Reotest RV).
2. Определение эффективной вязкости теста в зависимости от напряжения (скорости) сдвига.
3. Построение кривых течения теста.
4. Определение по кривым течения коэффициента тиксотропности.

#### **Последовательность выполнения работы**

1. Изучение конструкции ротационного вискозиметра Reotest RV.
2. Расчет потребности сырья и приготовление теста.
3. Проведение эксперимента
4. Обработка результатов измерений и их анализ.
5. Оформление отчета.

В работе используют ротационный вискозиметр Reotest RV. Конструкция вискозиметра Reotest RV

Вискозиметр Reotest RV относится к ротационным вискозиметрам и предназначен для измерения вязкости ньютоновских и не-ньютоновских материалов в диапазоне от 0,5 до 106 Па при изменении скорости сдвига от 0,15 до 1310 с<sup>-1</sup> в широком диапазоне изменения температуры материала (от -30 до +150 °С.). Точность измерения составляет  $\pm 3,0\%$  (для ньютоновских материалов). Вискозиметр комплектуется двумя измерительными устройствами: цилиндрическим устройством типа конус – плоскость, предназначенным для измерения вязкости при повышенных скоростях сдвига для средне- и высоковязких продуктов.

Угол между плоскостью и образующей конуса составляет 0,3. Внутри станины 1 прибора (рис. 2.1) установлен синхронный электродвигатель, соединенный с 12-ступенчатой коробкой передач, которая позволяет изменять частоту вращения внутреннего цилиндра 2 от 0 до 1500 с<sup>-1</sup>. Кроме того, имеется возможность изменять частоту вращения электродвигателя от 1500 мин<sup>-1</sup> (положение а) до 750 мин<sup>-1</sup> (положение б). Значения возможных скоростей сдвига при различных режимах представлены в табл. 2.1.

Крутящий момент от коробки передач передается ведущему валу 6 и далее через спиральную пружину 5 – ведомому валу 4, соединенному с внутренним цилиндром 2 муфтой. Наружный цилиндр 3 крепится к корпусу вискозиметра специальным зажимом. В приборе имеется термостатирующий сосуд. Величина крутящего момента отсчитывается по шкале измерительного прибора 8, скорость вращения – по указателю 9. Измеритель моментов торсионного типа с омическими датчиками работает на принципе превращения механических усилий в электрические импульсы. Показания прибора 8 прямо пропорциональны крутящему моменту, а также напряжению сдвига и вязкости исследуемого материала. Измеритель моментов снабжен переключателем диапазонов, что позволяет устанавливать требуемый диапазон напряжения сдвига I или II (табл. 2.2) с соотношением диапазонов 1:10.

Частота вращения синхронного электродвигателя и, следовательно, внутреннего цилиндра 2, зависит от напряжения тока в сети. Отклонения от номинальной частоты 50 Гц фиксируется прибором 7.

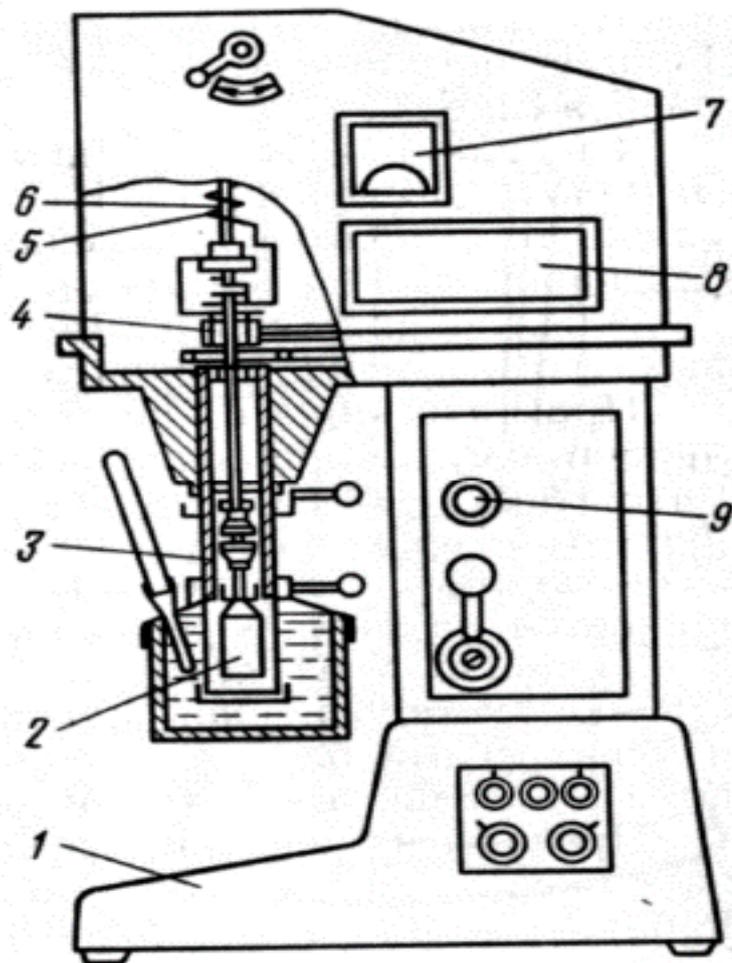


Рис. 2.1. Вискозиметр Reotest RV: 1 – станина; 2 – внутренний цилиндр; 3 – наружный цилиндр; 4 – ведомый вал; 5 – пружина; 6 – ведущий вал; 7, 8 – показывающий прибор; 9 – указатель

Для расширения диапазона измерения вязкости может быть использовано одно из пяти цилиндрических измерительных устройств различных геометрических размеров (табл. 2.2): измерительное устройство N для низких значений вязкости, измерительное устройство S с цилиндрами S1, S2 и S3 для средних значений вязкости и измерительное устройство H для высоких значений вязкости.

Таблица 2.1 Скорости сдвига измерительных цилиндров

Режим		Измерительный цилиндр				
		N	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	H
1	a	3,0	3,0	1,0	0,333	0,333
	b	1,5	1,5	0,5	0,16667	0,16667
2	a	5,4	5,4	1,8	0,6	0,6

	b	2,7	2,7	0,9	0,3	0,3
3	a	9,0	9,0	3,0	1,0	1,0
	b	4,5	4,5	1,5	0,5	0,5
4	a	116,2	16,2	5,4	1,8	1,8
	b	8,1	8,1	2,7	0,9	0,9
5	a	27,0	27,0	9,0	3,0	3,0
	b	13,5	13,5	4,5	1,5	1,5
6	a	48,6	48,6	16,2	5,4	5,4
	b	24,3	24,3	8,1	2,7	2,7
7	a	81,0	81,0	27,0	9,0	9,0
	b	40,5	40,5	13,5	4,5	4,5
8	a	145,8	145,8	48,6	16,2	16,2
	b	72,9	72,9	24,3	8,1	8,1
9	a	243,0	243,0	81,0	27,0	27,0
	b	121,5	121,5	40,5	13,5	13,5
10	a	437,4	437,4	145,8	48,6	48,6
	b	218,7	218,7	72,9	24,3	24,3
11	a	729,0	729,0	243,0	81,0	81,0
	b	364,5	364,5	121,5	40,5	40,5
12	a	131,0	131,0	437,4	145,8	145,8
	b	656,0	656,0	218,7	72,9	72,9

Таблица 2.2 Константы цилиндров вискозиметра Reotest RV

### Расчет потребности сырья и приготовление теста

В основу расчета потребности сырья положена определенная заданная влажность теста с учетом влажности всех его составных частей. Тесто для работы готовят по одному из предложенных преподавателем вариантов (табл. 3.1).

Для определения количества воды на замес предварительно определяют выход теста  $B_m$  (г)

$$B_m = \frac{G_{св} \cdot 100}{100 - W_m}, \quad (3.1)$$

где  $G_{св}$  – масса сухих веществ, г;  $W_m$  – влажность теста, %. Массовое количество воды на замес теста  $G_v$  (г)

$$G_v = B_m - G_c, \quad (3.2)$$

где  $G_c$  – масса сырья по рецептуре, г.

Таблица 3.1 Исходные данные для приготовления теста

Вариант	Влажность теста, %	Сырье	Масса сырья, г
1	42	Мука Соль Сахар Вода	200 3 20 По расчету
2	44	Мука Соль Сахар Вода	200 3 10 По расчету
3	44,5	Мука Соль Вода	200 3 По расчету
4	45	Мука Соль Вода	200 3 По расчету
5	46	Мука Соль Жир Вода	200 3 10 По расчету
6	4	Мука Соль Жир Вода	200 3 20 По расчету

Температуру воды на замес  $t_v$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) определяют по формуле

$$t_v = t_m + \frac{G_m \cdot c_M (t_m - t_M)}{G_v c_v} + K,$$

где  $t_m$  - температура теста, °С;  $G_M$  — масса муки на замес, кг;  $c_m$  - удельная теплоемкость муки, Дж/(кг°С) ( $c_m = 2 \cdot 10^3$  Дж/(кг°С));  $t_M$  - температура муки, °С;  $c_v$  - удельная теплоемкость воды, кДж/(кг°С) ( $c_v = 4,19 \cdot 10^3$  Дж/(кг°С));  $K$  - поправочный коэффициент на потерю тепла в окружающую среду и нагрев посуды (в летнее время  $K = 1$ , в осеннее и весеннее  $K = 2$ , в зимнее  $K = 3$ ).  
 Пример расчета массового количества воды на замес теста приведен в табл. 2 (заданная влажность теста  $W_m = 42$  %);

Таблица 3.2 Расчет воды на замес теста

Сырье	Масса сырья, г	Влажность сырья, %	Масса сухих веществ сырья, г
Мука	100,0	12	88,0
Дрожжи	3,0	75	2,25
Соль	1,5	0	1,5
Жир	5,0	16	4,2
Итого	109,5		95,95

$$B_T = \frac{95,95 \cdot 100}{100 - 42} = 165,43 \text{ г.}$$

$$G_B = 165,43 - 109,5 = 55,93 \text{ г.}$$

После определения температуры и количества воды на замес теста муку взвешивают на тарелочных или чашечных весах с точностью до 1,0 г. Соль и другие рецептурные компоненты взвешивают и растворяют в части теплой воды. Воду отмеривают мерным цилиндром с точностью до 1 см<sup>3</sup> и нагревают до необходимой температуры.

Воду, солевой раствор и остальные компоненты вносят в дежу лабораторной тестомесильной машины, а затем добавляют муку. Замес ведут в течение 5 мин. Замешенное тесто помещают в термостат для брожения на весь период проведения работы при температуре 30 °С и относительной влажности 80 - 85 %.

### Проведение эксперимента

Тиксотропные свойства изучают методом петель гистерезиса, который предполагает построение двух кривых течения: при постепенном увеличении, а затем постепенном уменьшении скорости сдвига (прямой и обратный ход, соответственно).

Для снятия полной кривой течения проводят 10-12 измерений при постепенном увеличении напряжения сдвига (вискозиметр РВ-8М) или скорости сдвига (вискозиметр Reotest RV).

Результаты эксперимента вносят в протокол наблюдений (табл. 2.3).

### Обработка результатов измерений и их анализ

Результаты вычислений вносят в протоколы наблюдений 2.3 и табл. 3.3.

Таблица 2.3 протокол наблюдений

Режим	Скорость сдвига $\dot{\gamma}$ , с <sup>-1</sup>	Показания прибора $\alpha$	Напряжение сдвига $\tau$ , Па	Эффективная вязкость $\eta_{эф}$ , Па·с
1 а				
1 б				
...				

Таблица 3.3 протокол наблюдений

№ п/п	Эффективная вязкость $\eta_{эф}$ , Па·с		Напряжение сдвига $\tau$ , Па		Скорость сдвига $\dot{\gamma}$ , с <sup>-1</sup>		Коэффициент тиксотропности $\xi$
	ПХ	ОХ	ПХ	ОХ	ПХ	ОХ	
1							
2							

Примечание: ПХ - прямой ход; ОХ- обратный ход.

Коэффициент тиксотропности, характеризующий способность материала восстанавливать структуру после механического воздействия, определяют как отношение эффективной вязкости при одной и той же скорости сдвига, но в двух состояниях – при возрастании

$(\eta_{эф}^{пх})$  и при убывании  $(\eta_{эф}^{ох})$  нагрузки:

$$\xi = \frac{\eta_{эф}^{nx}}{\eta_{эф}^{ox}},$$

Результаты вычислений вносят в табл. 3.3. Данные протокола наблюдений (табл. 3.3) используют для построения реологических кривых

$$\dot{\gamma} = f(\tau) \text{ и } \eta_{эф} = f(\dot{\gamma}):$$

при прямом и обратном ходе графической зависимости

$$\xi = f(\dot{\gamma}).$$

Таблица 2.2 Константы цилиндров вискозиметра Reotest RV

Измерительный цилиндр	Соотношение радиусов цилиндров	Скорость сдвига, с <sup>-1</sup>	Диапазон	Напряжение сдвига, Па	Вязкость, Па·с	Константа цилиндра, Па на ед. измерительной шкалы
N	1,02	0,15 ÷ 1310	I	1,6 ÷ 32	0,001 ÷ 200	3,34
			II	16 ÷ 320	0,01 ÷ 2000	32,50
S <sub>1</sub>	1,02	0,15 ÷ 1310	I	2,8 ÷ 56	0,002 ÷ 380	5,61
			II	28 ÷ 560	0,02 ÷ 3800	56,90
S <sub>2</sub>	1,05	0,05 ÷ 437	I	3,0 ÷ 60	0,007 ÷ 1200	5,94
			II	30 ÷ 600	0,07 ÷ 12000	59,70
S <sub>3</sub>	1,24	0,017 ÷ 145,8	I	4,0 ÷ 80	0,1 ÷ 1800	7,64
			II	40 ÷ 800	0,3 ÷ 50000	77,60
H	1,24	0,017 ÷ 145,8	I	15,0 ÷ 300	0,1 ÷ 18000	28,20
			II	150 ÷ 3000	1,0 ÷ 180000	273,10

Анализируют графические зависимости и делают вывод о характере зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига, влиянии скорости сдвига на эффективную вязкость теста и коэффициент тиксотропности.

## Лабораторная работа №6. Исследование влияния дозировки поваренной соли на реологические свойства теста и качество хлеба

Количество поваренной соли в тесте может колебаться в пределах от 0 до 2,5 % к массе муки. Совершенно без соли готовится тесто для ахлоридного хлеба, предназначенного для почечных больных. В тесте для большинства основных сортов хлеба и хлебобулочных изделий количество соли находится в пределах 1,25 - 1,5 %.

Соль добавляют в тесто в качестве вкусовой добавки. Однако внесение соли в тесто влияет и на биохимические коллоидные и микробиологические процессы, происходящие в тесте. В связи с этим соль влияет и на физические свойства теста, газообразование и кислотонакопление в нем, а следовательно, на прохождение теста через тесторазделочное оборудование и на форму, объем и окраску корки выпеченных изделий.

Соль оказывает существенное влияние на отдельные процессы, происходящие при приготовлении теста:

- при кислотности, обычной в тесте, опаре и других полуфабрикатах, добавление соли несколько снижает активность амилаз;
- добавление соли несколько снижает атакуемость крахмала амилазами и повышает температуру его клейстеризации;
- на клейковинные белки муки в тесте соль в невысоких концентрациях (до 1-1,5 % в жидкой фазе) действует в направлении повышения их гидратации и в связи с этим приводит к «ослаблению» клейковины по ее физическим свойствам. Более высокие концентрации соли вызывают уже дегидратацию и уплотнение клейковины и улучшение ее физических свойств («усиление» клейковины);
- протеолиз при добавках соли в тесто и опару тормозится;
- физические свойства теста, особенно к концу его брожения, при добавлении соли существенно улучшаются, хотя непосредственно после замеса тесто с добавками соли несколько «слабее» по консистенции;

- концентрация соли выше 1-1,5 % снижает интенсивность размножения дрожжей, особенно в тесте, готовящемся на жидких дрожжах;
- спиртовое брожение, характеризующееся по газообразованию в опарах и тесте, при добавлении соли замедляется и при высоких концентрациях (например, 5 % и более к массе муки в тесте) практически прекращается;
- жизнедеятельность кислотообразующих бактерий при добавках соли тормозится, в связи с чем, снижается и скорость кислотонакапления;
- чем больше воды в вводно-мучной смеси, тем менее интенсивно проявляется действие одного и того же количества внешней соли на перечисленные процессы.

В тесте без соли брожение происходит значительно более интенсивно. При этом к концу брожения теста в нем остается значительно меньше несброженных сахаров. За период брожения физические свойства теста без соли в результате более интенсивного протеолиза значительно ухудшаются, и оно становится более жидким по консистенции и липким. Такое тесто с трудом проходит через округлительные и закаточные машины, замазывая поверхности их рабочих органов. Такое тесто обладает пониженной газо- и формоудерживающей способностью. При расстойке тестовые заготовки для

подовых изделий быстро и сильно расплываются. При выпечке тестовые заготовки также сильно расплываются и подовые изделия получаются плоскими с малым отношением высоты к диаметру.

Ввиду того, что к моменту выпечки в тесте остается недостаточное количество несброженных сахаров, корка изделия относительно слабо окрашена.

В тесте с повышенной дозировкой соли брожение происходит с меньшей интенсивностью. Физические свойства теста за период его брожения изменяются очень мало. Тесто к моменту пуска на разделку остается значительно более «крепким» (густым) по консистенции, упругим и не липким.

Такое тесто очень хорошо проходит через тесторазделочное оборудование. Расстойка идет значительно медленнее, причем тестовые заготовки очень мало расплываются. Подовые изделия получаются очень округлыми, возможно, с подрывами у боковой корки и со значительно более интенсивно окрашенной коркой. Последнее обусловлено тем, что в тесте к моменту посадки тестовой

заготовки в печь остается больше несброженных сахаров, необходимых для образования меланоидинов, придающих корке окраску.

**Задание:**

Рассчитать рецептуру и провести замес безопасным способом трех образцов теста из муки, воды, дрожжей и соли. Массу муки на один образец теста принять равной 300 г, количество сушенных дрожжей -2%, количество соли на первый образец - 0 %, второй - 1,5 % и третий - 3 %. Влажность теста принять - 46 %.

Количество воды, необходимой для замеса теста  $G_t$  в миллилитрах рассчитать по формуле

$$G_t = G_c \frac{W_t - W_c}{100 - W_t},$$

где  $G_c$  – количество сырья на замес теста, г;

$W_t$  – влажность теста, %;

$W_c$  – средневзвешенная влажность сырья, %.

Соль и дрожжи, предварительно растворить в небольшом количестве

воды, предназначенной для замеса теста.

После замеса образцы теста с разной дозировкой дрожжей поместить в

термостат с температурой 30-35 °С для 30-минутного брожения. По окончании

времени брожения образцы теста округлить, уложить на подки для выпечки

хлеба и поместить для расстойки на 30 мин в термостат с температурой 30-35 °С, после чего выпечь в печи при температуре 230-260 °С в течение 20-30 мин.

Оценить изменение физических свойств всех образцов теста. После выпечки провести оценку каждого образца хлеба по органолептическим (внешний вид, форма, поверхность, цвет корки; состояние мякиша) физико-химическим показателям влажность, пористость, кислотность, формоустойчивость, весовой выход)

Сделать выводы о влиянии дозировки соли на физические свойства теста и качество получаемого хлеба.

## Лабораторная работа №7 Влияние длительности замеса макаронного теста на свойства сырой клейковины пшеничной муки и реологические свойства

**Цель работы:** определение влияния продолжительности замеса теста на структурно-механические свойства сырой клейковины и оптимальной продолжительности замеса теста в данных условиях.

### Этапы работы:

- провести замес теста, длительность замеса принять 15 сек., 30 сек., 60 сек., 90 сек., 120 сек. и т.д.;
- определить влажность и температуру теста после замеса;
- определить выход сырой и сухой клейковины в зависимости от продолжительности замеса;
- определить растяжимость клейковины,  $H_{сж}^{АП}$ ,  $H_{сж}^{ИДК}$ , влагоёмкость клейковины.

Данные экспериментов записать в **таблицу 1.**

**Материальное обеспечение:** мука-крупка, или хлебопекарная в/с - 400 г; аналитические и лабораторные весы; мерный цилиндр (100 мл) - 4 шт.; термометр (0-100 °С) - 4 шт.; лабораторная месильная машина; приборы ПИВИ, «Кварц» или влагомер; бумага для пакетов; эксикатор; емкости для отмывания сырой клейковины - 4 шт.; сита - 4 шт., химические стаканы (100 мл) - 8 шт., приборы ИДК-1 и пенетрометр АП-4/2; линейки (0-30 см) 4 шт.

### 1. Определение массовой доли влаги и температуры муки

Для определения *температуры* муки термометр погружают так, чтобы его конец не касался стенок и дна тары, в которой находится мука, и через 2-3 минуты снимают показания.

Определение **массовой доли влаги в муке осуществляют аналогично определению в лабораторной работе № 1.**

### 2. Расчет количества и температуры воды на замес теста

Рассчитывают необходимое количество *воды* на замес ( $G_v$ ) и её *температуру* ( $t_v$ ) по формулам

$$G_v = G_m \cdot (W_m - W_m) / (100 - W_m), \quad (2)$$

где  $G_m$  – количество муки (принимаем 50 г), г;  
 $W_m$  – влажность теста (принимаем 31 %), %;  
 $W_M$  – влажности муки (фактическая), %.

$$t_b = (G_m \cdot t_m \cdot c_m - G_M \cdot t_M \cdot c_M) / G_b \cdot c_b, \quad (3)$$

где  $G_m$  – количество теста, г;  
 $t_m$  – заданная температура теста, °С;  
 $c_m$  – удельная теплоемкость теста (зависит от влажности теста и определяется по таблице), Дж/кг·К (таблица 1 Приложения);  
 $G_M$  – количество муки, г;  
 $t_M$  – фактическая температура муки, °С;  
 $c_M$  – удельная теплоемкость муки (зависит от влажности муки и определяется по таблице), Дж/кг·К (таблица 2 Приложения);  
 $c_b$  – удельная теплоемкость воды, равная 4187 Дж/кг·К.

### 3. Замес теста, определение его температуры и влажности

Длительность замеса теста принимают от 15 до 120 сек. (по заданию преподавателя).

Тесто замешивается на лабораторной месильной машине в течение заданного времени.

По истечении времени замеса замеряют *температуру теста*. Для этого отбирают среднюю пробу, быстро сжимают в плотный комочек, внутрь которого вставляют термометр и через 2 мин. отмечают его показания. Затем органолептически оценивают качество (внешний вид) теста. Хорошо замешанное тесто должно быть крошковатым или мелкокомковатым, равномерно увлажнённым, не иметь следов непромеса. Наличие в тесте большого количества крупных комочков свидетельствует о повышенной влажности теста, а присутствие непромешанных частиц - о недостаточной влажности.

*Влажность теста* определяют на приборах ПИВИ, «Кварц» или других аналогичных приборах. Навеску теста в количестве 5 г помещивают в предварительно высушенный и взвешенный бумажный пакет, высушивают в течение 5 мин. при 160 °С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Влажность теста определяют по формуле (1).

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \quad \% \quad (1)$$

где  $m_1$  - масса бюкса с пробой для анализа до высушивания, г;  
 $m_2$  - масса бюкса с пробой для анализа после высушивания, г;

100 - коэффициент перевода в проценты.

#### 4. Определение содержания сырой и сухой клейковины, её водопоглощительной способности

Для определения **содержания сырой клейковины** в пшеничной муке берут 25 г муки и 14 мл воды, замешивают тесто вручную или на тестомесильной машине.

При отмывании клейковины вручную тесто, сформованное на тестомесилке в виде цилиндра, или скатанное в шарик при замесе вручную, помещают в чашку, закрывают крышкой или часовым стеклом (для предотвращения заветривания) и оставляют его на 20 мин для отлежки.

По истечении 20 мин начинают отмывание клейковины под слабой струей воды над ситом. Вначале отмывание ведут осторожно, разминая тесто пальцами, чтобы вместе с крахмалом не оторвались кусочки теста или клейковины. Когда большая часть крахмала и оболочек удалена, отмывание ведут энергичнее между обеими ладонями. Оторвавшиеся кусочки клейковины тщательно собирают с сита и присоединяют к общей массе клейковины.

При отсутствии водопровода допускается отмывание клейковины в емкости с 2-3 дм<sup>3</sup> воды. Для этого тесто опускают в воду на ладони и разминают его пальцами. Промывную воду меняют 3-4 раза по мере накопления в ней крахмала и оболочек, процеживая ее через сито для улавливания частичек клейковины, которые присоединяются к общей массе клейковины.

Когда большая часть крахмала будет отмыта и клейковина, сначала мягкая и рвущаяся, станет более связанной и упругой, разминание и промывание можно вести энергично до тех пор, пока промывная вода не перестанет быть мутной. Отмывание ведут до тех пор, пока оболочки не будут почти полностью отмыты, и вода, стекающая при отжимании клейковины, не будет прозрачной (без мути).

Отмытую клейковину отжимают прессованием между ладонями, вытирая их сухим полотенцем. При этом клейковину несколько раз

выворачивают и снова отжимают между ладонями, пока она снова не начнет слегка прилипать к рукам.

Отжатую клейковину взвешивают с точностью до второго десятичного знака, затем еще раз промывают в течение 5 мин, вновь отжимают и взвешивают. Если разница между двумя взвешиваниями не превышает 0,1 г, отмывание считают законченным.

Количество сырой клейковины ( $K$ ) выражают в процентах к навеске муки в 25 г, для чего полученную массу клейковины умно **Водопоглотительную способность** клейковины определяют следующим способом. Кусочек клейковины массой 1-2 г взвешивают на аналитических весах, помещают в предварительно высушенный и взвешенный бумажный пакет, высушивают на приборах ПИВИ или «Кварц» в течение 10 мин. (5 мин. с одной стороны, затем пакет переворачивают и сушат 5 мин. с другой стороны), охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Водопоглотительную способность (влагоемкость) ( $BE$ ) клейковины определяют по формуле

$$BE = (m_2 - m_1) \cdot 100 / (m_1 - m), \quad (5)$$

где  $m_2$  – масса бумажного пакета с навеской клейковины до высушивания, г;

$m_1$  – масса бумажного пакета с навеской клейковины после высушивания, г;

$m$  – масса бумажного пакета, г.

Результат, полученный в знаменателе, – это содержание сухой клейковины в том количестве сырой, которое использовалось для анализа (1-2 г). Для определения содержания сухой клейковины в 100 г муки следует составить пропорцию:

$(m_1 - m)$  г сухой клейковины содержится в (1-2) г сырой клейковины,

$X$  г сухой клейковины содержится в ( $K$ ) г сырой клейковины.

жают на 4.

5. Определение реологических (упругих) свойств сырой клейковины  
**Структурно-механические свойства** сырой клейковины (упругие свойства) определяют на приборах ИДК-1 и пенетрометр АП-4/2, её растяжимость – вручную.

Для этого из окончательно отжатой и взвешенной на технических веса клейковины отбирают 3 кусочка массой по 4 г. Два кусочка клейковины обминают пальцами 4-5 раз и формируют в шарики, которые помещают в чашки с водой температурой 18-20 °С на 15 мин. Затем определяют растяжимость клейковины,  $H_{с.ж.}^{АП}$  и  $H_{с.ж.}^{ИДК}$  по известным методикам.

Для определения *растяжимости* клейковину берут тремя пальцами обеих рук и над линейкой с миллиметровыми делениями равномерно растягивают до разрыва так, чтобы все растягивание продолжалось около 10 секунд. При растягивании не допускается подкручивание клейковины. В момент разрыва клейковины отмечают длину, на которую она растянулась. По растяжимости клейковина характеризуется следующим образом: короткая (при растяжимости до 10 см), средняя (от 10 до 20 см) и длинная (свыше 20 см).

Для определения *упругих свойств* сырой клейковины два шарика клейковины массой по 4 г, помещают для отлежки в кювету или чашку с водой температурой от 18 до 20 °С на 15 мин.

**Определение  $H_{с.ж.}^{ИДК}$  проводят на приборе ИДК-1.** После отлежки шарик сырой клейковины вынимают из кюветы или чашки и помещают его основанием в центр столика прибора ИДК-1. Далее нажимают кнопку «Пуск» и, удерживая ее в нажатом состоянии 2-3 с, отпускают. Пуансон опускается и сжимает клейковину в течение 30 с. По истечении указанного времени перемещение пуансона автоматически прекращается, загорается лампочка «Отсчет» и производят снятие показаний на шкале прибора. Затем нажимают кнопку «Тормоз» и поднимают пуансон в верхнее исходное положение, снимают со столика образец клейковины и вытирают сухой мягкой тканью диски пуансона и столика.

За показатель качества клейковины принимают среднеарифметическое двух параллельных определений.

Результаты измерений упругих свойств клейковины выражают в условных единицах прибора и в зависимости от их значения клейковину относят к соответствующей группе качества согласно требованиям таблицы 2. Чем выше указанная способность образца, тем меньше он сожмется и тем меньшая величина ( $H_{деф}^{ИДК}$ ) будет зафиксирована на шкале прибора.

Таблица 2 - Качественная характеристика клейковины пшеничной муки по показателю ИДК

Группа качества	Характеристика клейковины	Показания прибора в условных единицах			
		Хлебопекарная мука сортов		Макаронная мука сортов высшего и первого из пшеницы	
		высшего, первого, обойной	второго	твердой	мягкой
III	Неудовлетворительная крепкая	0-30	0-35	-	-
II	Удовлетворительная крепкая	35-50	40-50	-	-
I	Хорошая	55-75	55-75	50-80	50-75
II	Удовлетворительная слабая	80-100		85-105	80-100
III	Неудовлетворительная слабая	105 и более		110 и более	105 и более

Определение  $H_{сж}^{АП}$  на приборе «Пенетрометр АП-4/2». Для определения величины  $H_{сж}^{АП}$  клейковины на стержень тела сжатия надевают дополнительный груз с прорезью массой 74 г. При этом общая масса системы нагружения достигает 100 г.

Определение сжимаемости клейковины проводят в следующем порядке:

- 1) проводят предварительную подготовку прибора к работе, для чего стержень тела сжатия закрепляют стопорным винтом во втулке системы сжатия пенетрометра;
- 2) стержень тела сжатия берут левой рукой, а правой нажимают на красную кнопку, находящуюся на автоматическом регуляторе, растормаживая этим систему нагружения. Придерживая левой рукой, опускают тело сжатия до упора на поверхность опорной плоскости. При этом против контрольной черты смотрового окошка должна

быть расположена линия проекции шкалы, точно соответствующая 200 единицам шкалы прибора. Если эти линии не совпадают, то вращением штурвала перемещают подъемный столик и добиваются их совмещения. Затем систему нагружения поднимают в крайнее верхнее положение. На стержень надевают дополнительный груз;

3) подготовленную клейковину массой 4 г кладут в центр опорной плоскости. Ручку автоматического регулятора устанавливают в положение, соответствующее 5 сек. Растормаживают систему сжатия, нажав зеленую кнопку на автоматическом регуляторе. Она свободно опускается, доходит до шарика клейковины и сжимает его. Через 5 сек. система автоматически затормаживается. При этом в смотровом окошке фиксируется величина перемещения тела сжатия  $H_1$ . Тогда высота пробы клейковины в сжатом состоянии, т.е. величина сжатия,  $H_{сж}^{АП}$ , будет равна  $H_{исх.} - H_1$  единиц шкалы прибора.

По величине  $H_{сж}^{АП}$  клейковину делят на следующие группы в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3 - Характеристика клейковины

Характеристика клейко-	Показания прибора, усл.ед.
Неудовлетворительно	более 85
Удовлетворительно креп-	85. ..70
Хорошая	69. ..55
Удовлетворительно слабая	54... 43
Неудовлетворительно сла-	Менее 43

Результаты всех проведенных экспериментов занести в таблицу 5.

По окончании работы проанализировать данные таблицы 3, сделать вывод о влиянии продолжительности замеса теста на структурно-механические свойства сырой клейковины и обосновать выбор оптимальной продолжительности замеса теста в данных условиях.

Таблица 5 – Свойства сырой клейковины пшеничной муки в зависимости от продолжительности замеса теста

Наименование параметра	Результаты исследований
Продолжительность замеса, сек.	
Массовая доля влаги муки, %	

Температура муки, °С	
Влажность теста после замеса, %: заданная фактическая	
Температура теста после замеса, °С	
Выход сырой клейковины, %	
Выход сухой клейковины, %	
Качество сырой клейковины: растяжимость, см $H_{сж}^{АП}$ , ед.пр. $H_{сж}^{ИДК}$ , ед.пр. влагоемкость, %	

### Контрольные вопросы

1. Что такое клейковина? Какова ее роль в производстве макаронных изделий?
2. Физико-химические и коллоидные процессы, происходящие при замесе макаронного теста.
3. Типы замесов в зависимости от температуры и влажности макаронного теста.
4. Чем определяется продолжительность замеса макаронного теста?
5. Какова продолжительность замеса при использовании макаронной муки, хлебопекарной муки? От чего это зависит?
6. Что такое двухстадийный замес?
7. Как зависят прочностные и пластические свойства сырой клейковины и сырых макаронных изделий от продолжительности замеса?

### Лабораторная работа №8. Определение физико-химических и реологических свойств макаронного теста

**Цель работы:** определение физико-химических и реологических свойств макаронного теста.

**Задачи работы:**

- определить влажность, кислотность и температуру макаронного теста после замеса;

- определить предельное напряжение сдвига уплотненного макаронного теста на приборе пенетрометр АП-4/2.

Данные экспериментов свести в таблицу 6.

**Сырье и оборудование:** мука-крупка, полукрупка или хлебопекарная в/с (по выбору преподавателя) - 400 г; дополнительное сырье и обогащающие добавки (по выбору преподавателя или студентов); аналитические и теххимические весы; мерный цилиндр (100 мл) - 4 шт.; лабораторная месильная машина; приборы ПИВИ, «Кварц» или влагомер; бумага для пакетов; эксикатор; химические стаканы (100 мл) - 8 шт., прибор пенетрометр АП-4/2.

### Ход работы

1. Рассчитать рецептуру макаронного теста с учетом влажности пшеничной муки, заданной влажности теста, количества и влажности дополнительного сырья и обогащающих добавок, заданной температуры теста.

2. Определить температуру и влажность макаронного теста после замеса. Сравнить полученные результаты с заданными значениями. Определить кислотность макаронного теста. Сравнить значения данного показателя для традиционного теста и теста с добавками.

3. Для определения предельного напряжения сдвига в образцах теста различной влажности и при внесении различных наименований дополнительного сырья и обогащающих добавок на пенетрометре АП-4/2\_ готовят образцы теста различной влажности, замешанного из муки и воды, и образцы теста, замешанного из муки, воды и дополнительного сырья или обогащающих добавок.

Непосредственно перед испытанием определяют влажность муки.

Количество муки для замеса теста для одного определения – 40 г.

Влажность теста принимают по заданию преподавателя:

I вариант - 39,5 %;

II вариант - 42,5 %;

III вариант - 44,5 %.

Количество воды, необходимое для приготовления теста, ( $B$ ) определяют по формуле

$$B = M \cdot (W_m - W_{\text{м}}) / (100 - W_m), \quad (8)$$

где  $M$  — дозировка муки, кг;

$W_m$  и  $W_{\text{м}}$  - влажность соответственно теста и муки, %.

Количество воды, необходимое для приготовления теста с дополнительным сырьём или обогащающими добавками, определяют по формуле

$$B = [M \cdot (W_m - W_M) + D \cdot (W_m - W_D)] / (100 - W_m), \quad (9)$$

где  $M$  — дозировка муки, г;

$W_m$ ,  $W_M$ ,  $W_D$  - влажность соответственно теста, муки и добавок, % (влажность куриных яиц принимают 75 %, всех остальных добавок — по данным лабораторных анализов);

$D$  — дозировка добавок, г.

Замес теста осуществляют на лабораторной месильной машине в течение времени, установленного в лабораторной работе № 2.

Для определения предельного напряжения сдвига образцов теста в качестве системы погружения используют конусы с углом при вершине 30 град.

Исследуемый образец теста поместить во втулку и уплотнить. Втулку установить на опорную плоскость. Система погружения должна находиться в крайнем верхнем положении. Штурвалом переместить подъемный столик с опорной плоскостью и втулкой с образцом до соприкосновения с вершиной конуса.

Ручку автоматического регулятора установить в положение, соответствующее 5 сек. Систему погружения растормозить, в результате конус погружается в образец, через 5 сек. система погружения затормаживается. В смотровом окошке зрительно определить проекцию деления шкалы.

Используя формулу

$$\tau_0 = K_m / h^2, \quad (10)$$

где  $\tau_0$  - предельное напряжение сдвига, Па;

$K$  - постоянная конуса (для конусы с углом при вершине 30 град.  $K = 9,4$ );

$m$  - масса системы погружения, кг (0,026);

$h$  - глубина пенетрации, м<sup>2</sup>,

найти значения предельного напряжения сдвига для исследуемых образцов теста.

Результаты исследований различных образцов теста записать в таблицу 6.

Таблица 6 - Предельное напряжения сдвига образцов теста различной влажности и при внесении различных наименований дополнительного сырья и обогащающих добавок на пенетрометре

Наименование образца	Влажность теста после замеса, %	Кислотность теста, град.	Температура теста после замеса °С	Предельное напряжение сдвига Па

По окончании работы сделать вывод о влиянии влажности или использования дополнительного сырья или обогащающих добавок на физико-химические и реологические свойства теста.

### Контрольные вопросы

1. Назовите показатели, которые определяются при оценке качества макаронного теста?
2. Назовите методы оценки реологических свойств теста?
3. К каким материалам по структурно-механическим свойствам относится тесто из пшеничной муки?
4. Назовите реологические свойства макаронного теста и дайте их определение.

### 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. Малышев. - СПб.: ГИОРД, 2005. - 648 с.
5. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник / Под ред. Ю. А. Мачихина. - М.: ВО Агропромиздат, 1990. - 269 с.

