

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
БИОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РЕОЛОГИЯ
Методические рекомендации
по выполнению практических работ, самостоятельной и
контрольной работы

НОВОСИБИРСК 2015

УДК 532.135 (07)

ББК 22.251, Л7

Р 40

Кафедра технологии и товароведения пищевой продукции

Составители: Рявкин О.В., Гаптар С.Л., Сороколетов О.Н.

Рецензент: канд. биол. наук, проф. Л.А. Литвина

РЕОЛОГИЯ: методические рекомендации по выполнению практических работ, самостоятельной и контрольной работы / Новосиб. гос. аграр. ун-т., Биолого-технол. ф-т; сост.: О.В. Рявкин, С.Л. Гаптар, О.Н. Сороколетов – Новосибирск, 2015. – ...с.

Методические рекомендации разработаны в соответствии с требованиями образовательных стандартов бакалавриата по направлению подготовки 19.03.03 – Продукты питания животного происхождения.

Содержат правила выполнения практических работ, вопросы самоконтроля для закрепления теоретического материала, темы самостоятельных контрольных работ, библиографический список и приложения.

Утверждены и рекомендованы к изданию учебно-методическим советом Биолого-технологического факультета НГАУ

(протокол № ____ от _____ г.

Содержание

Введение

Лабораторная работа № 1 «Определение относительных реологических характеристик сыпучих пищевых масс»

Лабораторная работа № 2 «Определение показателей вязкости и напряжения сдвига пищевых масс с помощью ротационного вискозиметра «Реотест – 2» 7

Лабораторная работа № 3 «Определение реологических свойств Гелей и эмульсий с применением фаринографа»

Лабораторная работа № 4 «Определение реологических свойств Мышечной ткани с применением экстенсографа»

Список рекомендуемой литературы

ТЕРМИНЫ и Определения

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

Свободнодисперсные системы — системы, в которых частицы дисперсной фазы в состоянии свободно перемещаться по всему объему системы. **Связнодисперсные системы** — системы, в которых частицы дисперсной фазы связаны между собой и не способны перемещаться относительно друг друга.

Тиксотропия — способность структурированных систем восстанавливаться после разрушения.

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

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

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

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

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

Пневмотранспорт — транспортирование сыпучих пищевых масс по материалопроводам под давлением.

Слеживание — нахождение сыпучих пищевых масс в неподвижном состоянии.

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

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

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

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

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

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

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

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

Ползучесть — перемещение, при котором структура пищевой массы не разрушается, а наблюдается смещение частиц относительно друг друга. **Релаксация** — переход системы (пищевой массы) из неравновесного состояния, вызванного внешним воздействием, в состояние термодинамического равновесия.

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

Кривая течения — график зависимости скорости деформации от напряжения.

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

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

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

Гели — дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой, в которой частицы дисперсной фазы образуют пространственную структурную сетку. **Желатинирование** — процесс образования гелей из коллоидных растворов. **Застудневание** — процесс образования студней из растворов высокомолекулярных соединений.

Холодное отверждение — гелеобразование, вызываемое охлаждением. Характерно для биополимерных гелей, которые встречаются в природе и формируют структуры в биологических системах.

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

Гидрогели — гели, дисперсионной средой которых является вода. **Органогели** — гели с углеводородной дисперсионной средой.

Ксерогель — пористое тело, частично сохраняющее трёхмерную структуру сети геля в сжатом или частично разрушенном виде (печенье, сухари); **Аэрогель** — пористое тело, которое в основном сохраняет структуру сети (маленькая плотность, прозрачный).

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

Физические гели – гели, образованные водородными связями. Энергия связей сравнима с энергией теплового движения молекул – лабильные, подвижные связи.

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

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

Вискозиметрия – совокупность методов измерения вязкости жидкости, а также структурированных систем, к которым относятся пищевые массы. **Вискозиметр** – прибор, используемый в вискозиметрии.

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

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

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

Фаринограф – прибор, предназначенный для контроля динамики реологического поведения пшеничного теста в процессе замеса по характеру изменения величины крутящего момента (фаринограмме) на приводе месильных органов тестомесильной емкости и определения параметров муки, теста и процесса его замеса: водопоглотительной способности муки, времени образования теста, устойчивости (стабильности) теста при замесе, сопротивляемости (стойкости) теста при замесе, эластичнос

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

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

автолитическую активность хлебопекарной муки и оценивать качество крахмалсодержащего сырья.

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

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

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

Лабораторная работа 1.

Исследование реологических характеристик на ротационном вискозиметре «Реотест-2»

Цели работы:

1. Теоретические положения

1.1. Особенности деформационного поведения пищевых материалов, обладающих пластическими свойствами

В процессе обработки пищевых сред на промышленном оборудовании они подвергаются воздействию различных сил, приложенных в разных направлениях и изменяющих поведение среды в зависимости от величины силы и ее направления. В тот момент, когда к пищевой среде прикладывается усилие, возникает деформация и сдвиг, т.е. смещение друг относительно друга элементарных слоев материала пищевой среды.

Сдвиг характеризуется напряжением и скоростью сдвига. Можно выделить три основных вида сдвига: простой, чистый и сложный сдвиг, комбинируя которые мы можем получать иные виды сдвига. Плоскую модель простого сдвига, представленную на схеме рис. 1.1 б можно рассматривать как деформацию относительно неподвижной плоскости вследствие действия касательного напряжения. Простой сдвиг представляет собой особый случай ламинарного течения, при котором тело можно считать состоящим из бесконечно тонких слоев, которые не деформируются, а лишь скользят друг по другу.

В том случае, если к телу приложить две касательные силы, направленные перпендикулярно друг другу (рис. 1.1 в), получится чистый сдвиг и тело деформируется в двух плоскостях, следовательно, произойдет не только смещение слоев тела параллельно друг другу, но и поворот этих слоев по направлению воздействия силы.

При одновременном прикладывании сдвигающих усилий по трем взаимоперпендикулярным осям (рис. 1.1 г) мы получим сложный сдвиг, при котором деформируется весь объем тела. При воздействии внешних сил на неньютоновские жидкости они могут течь в стационарном режиме. Различают упруговязкие и пластично вязкие тела. Для упруговязких тел при снятии внешнего воздействия характерно восстановление упругой деформации. Пластичная деформация представляет собой вязкое течение, связанное с необратимым перемещением молекул или их групп на расстояние, превышающее размеры самой молекулы. При невысоких сдвигающих усилиях проявляются в основном упругие деформации, а при превышении определенного значения – пластические. Мерой интенсивности внутренних сил является напряжение.

Различают полное, нормальное и касательное напряжения. Под напряжением сдвига в реологии понимают сопротивление тела касательной составляющей приложенных сил и при сдвиге изменяется форма тела при постоянном объеме.

В технической литературе для обозначения скорости сдвига используется символ $\dot{\gamma}$ с точкой, для обозначения напряжения сдвига используются буквы греческого алфавита: Θ (тета) или τ (тау). Оба обозначения имеют равноправное хождение. В методических указаниях обозначается напряжение сдвига греческой буквой Θ .

Значение сдвигающего усилия, при котором начинается пластическая деформация, называется пределом текучести или предельным напряжением сдвига и обозначается символом Θ_0 (читается – тета нулевое).

Для сложносоставных систем характерно отклонение поведения от закона Ньютона, описывающего поведение жидких материалов. Начинки для корпусов готовых завтраков представляют собой дисперсные системы, состоящие из нескольких компонентов растительного масла, кулинарного жира, сахарной пудры и кукурузного крахмала примерно в равных долях, обладающие пределом текучести.

Материалы, обладающие пределом текучести, при прикладывании к ним сдвигающих усилий начинают течь только после того, как сдвигающие усилия достигают определенного порогового значения, разного для разных материалов.

Для описания подобных систем Ю.А. Мачихин рекомендует использовать реологическое уравнение состояния Гершеля-Балкли:

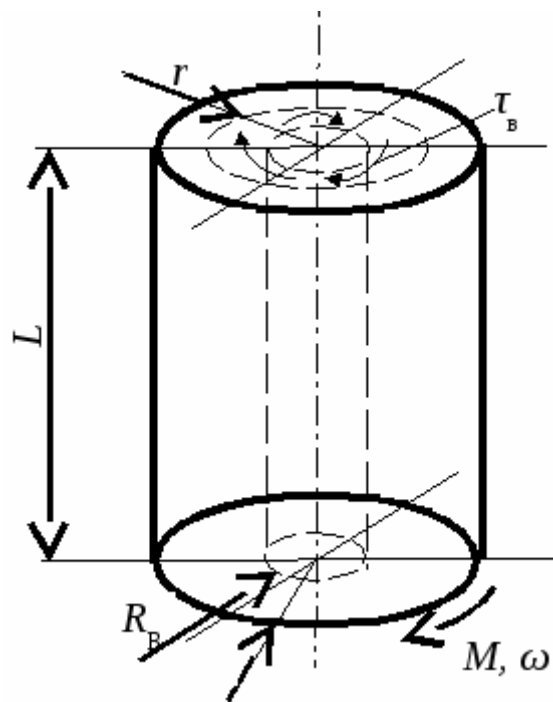
$$\Theta = \pm \Theta_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n, \quad (1.1)$$

которое наиболее точно описывает поведение начинок в условиях сдвигового течения.

1.2. Метод ротационной вискозиметрии

Ротационные вискозиметры широко применяются в отраслях, а именно, в технологических лабораториях предприятий, в научно-исследовательских организациях и учебных заведениях. В ротационных вискозиметрах характер течения пищевых сред близок к простому сдвигу, что упрощает математическую обработку экспериментальных данных. При этом ассортимент пищевых материалов включает сиропы, бражки, молоко, творожные массы, кремы, шоколад, конфетные массы фарши и другие продукты, что указывает на многообразие решаемых задач и необходимость применения данных приборов.

Ротационные вискозиметры просты в обслуживании, надежны в работе и применяются как для экспресс-методов, так и для непрерывного измерения вязкости, что выделяет их неоспоримые преимущества по сравнению с другими приборами. К недостаткам ротационных вискозиметров можно отнести тепловыделение в слое образца, находящегося в тонком кольцевом



зазоре между роторами. Для исключения этого недостатка можно подготовить условия работы, при которых выделение тепла будет пренебрежимо малым или использовать существующие методы пересчета опытных данных с учетом данных тепловых эффектов.

Схема течения в ротационном вискозиметре с коаксиальными цилиндрами. При $\dot{\gamma} = \text{const}$ коэффициент динамической вязкости определяется по формуле Маргулеса:

$$\eta = \frac{M}{\omega} \cdot \frac{R_H^2 - R_B^2}{R_H^2 \cdot R_B^2} \cdot \frac{1}{2\pi L}$$

где: R_B – радиус внутреннего цилиндра, м;

R_H – радиус внешнего цилиндра, м;

M – крутящий момент, приложенный к внешнему цилиндру, об/мин;

ω – угловая скорость наружного цилиндра, рад⁻¹;

L – высота слоя между цилиндрами, м.

При $M = \text{const}$ расчетная формула вискозиметра имеет вид:

$$\dot{\gamma} = \frac{2\omega}{1 - \alpha^2}, \quad (2.2)$$

где: α – геометрический симплекс.

$$\alpha = \frac{R_B}{R_H}. \quad (2.3)$$

Между формулами (2.1 и 2.2) существует следующая связь:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}. \quad (2.4)$$

В основу ротационной вискозиметрии положено определение крутящего момента подвижного ротора 1 (рисунок 1.2) в зависимости от угловой скорости вращения. Для исследования свойств материала методом ротационной вискозиметрии его слой материала 3 (рисунок 1.2) определенной высоты помещают между двумя коаксиальными цилиндрами 1 и 2, которые вращаются один относительно другого, материал воздействует на вращающийся цилиндр таким образом, что возникает крутящий момент, который фиксируется измерительным узлом 4. Обычно зазор между цилиндрами мал, что обеспечивает однородность условий деформирования в исследуемом образце.

Ротационные вискозиметры служат для получения экспериментальной зависимости угловой скорости от касательного напряжения сдвига для одного, двух или нескольких вращающихся роторов вискозиметра, что определяется методом обработки полученных экспериментальных данных. При этом итогом эксперимента должна быть зависимость скорости сдвига от касательного напряжения сдвига в графическом представлении, так называемая, кривая течения.

Вискозиметр "Реотест-RV" ("Реотест-2") позволяет проводить измерения вязкости в пределах от 0,01 до 10000 Па*с; скорости сдвига от 0,1667 до 1458 с⁻¹, напряжения сдвига от 12 до 3000 Па и температуры от –30 до 150 °С.

1.3. Кривые течения и вязкости дисперсных пищевых масс

Кривые течения – это графическая зависимость между напряжением сдвига Θ (Па) и скоростью сдвига $\dot{\gamma}$ (с⁻¹) при сдвиговом течении пищевых масс. Данные полученные в результате ротационной вискозиметрии не могут быть подвергнуты непосредственной обработке, поскольку представлены в виде угла отклонения стрелки регистрирующего прибора вискозиметра. Для получения значения напряжения сдвига необходимо пересчитать значения показаний вискозиметра по формулам, приведенным в инструкции к нему.

Консистенцией обычно называют меру плотности и твердости материала. В зависимости от консистенции материалы по-разному деформируются при разных видах нагрузки и скорости. При анализе деформационные свойства материала, связанные с консистенцией, можно достаточно точно описать реологическими характеристиками и уравнениями состояния. Коэффициент консистенции является мерой консистенции и зависит от природы материала, вида и размеров измерительной аппаратуры и наиболее чувствителен к изменениям температуры. Индекс течения показывает степень отклонения кривой течения от кривой течения ньютоновской жидкости ($n=1$) и, соответственно, служит мерой отличия свойств и поведения исследуемого неньютоновского материала от свойств и поведения ньютоновской жидкости.

Широкое использование уравнения Освальда-Де-Вилля объясняется тем, что в довольно широком диапазоне скоростей сдвига кривые течения многих неньютоновских материалов, изображенных в логарифмических координатах, представляют собой прямые линии. Так для псевдопластичных материалов, у которых индекс течения меньше 1 ($n < 1$), из уравнения Освальда видно, что вязкость уменьшается с повышением скорости сдвига. Это объясняется тем, что в неподвижной среде расположение частиц характеризуется значительной хаотичностью, а под действием возрастающих сдвигающих усилий происходит все большая ориентация частиц в направлении течения. Отмеченные явления происходят в материале так быстро, что их нельзя проследить во времени в обычных измерительных приборах. Уравнение Освальда также применяется для описания поведения дилатантных материалов, у которых индекс течения больше 1 ($n > 1$). В дилатантных материалах при повышении скорости сдвига непропорционально увеличивается вязкость, а при очень высоких значениях вязкость может стать бесконечно большой, что приведет к разрушению материала.

Закон Освальда-Де-Вилля получил широкое распространение для выражения течения различных неньютоновских пищевых материалов: томатных концентратов, сахарных растворов, абрикосовых пюре, хлебопекарного теста, конфетных масс и других материалов. Модель Освальда-Де-Вилля не отражает всех деталей действительного поведения неньютоновских жидкостей во всем возможном диапазоне скоростей сдвига, а передает лишь отдельные особенности такого поведения на достаточно узком диапазоне скоростей сдвига. При исследовании дисперсных систем было обнаружено отклонение поведения веществ, описываемых законом Освальда-Де-Вилля. Дисперсные системы проявляют как упругие, так и пластические свойства, причем упругие свойства проявляются при воздействии напряжения меньше какого-то определенного значения, после достижения которого наступает пластическое течение, и это напряжение называется пределом текучести или предельным напряжением сдвига.

Уравнение Бингама описывает сдвиговое течение идеально пластичных материалов. В сдвиговом течении идеально пластичных материалов наблюдается пропорциональность между скоростью сдвига $\dot{\gamma}$ и напряжением сдвига Θ после превышения предела текучести Θ_0 . Физическое поведение таких материалов объясняется характером их структуры. Связи внутри материала предотвращает движение при напряжениях меньше предела текучести Θ_0 , а при его превышении структура материала полностью разрушается и испытывает сдвиговое течение. Примером систем довольно близко следующих уравнению Бингама могут служить маргарин, шоколадные смеси, сырково-рожные и пралиновые массы, зубная паста, жидкие мыла и моющих средства.

На основе анализа некоторых существующих моделей течения пищевых материалов можно дать следующую рекомендацию по выбору той или иной математической модели для описания течения исследуемого материала: – применяемая модель должна быть хорошо согласована с теоретическими представлениями о внутренней структуре исследуемой среды, а также с изменениями, происходящими в этой структуре, как под действием приложенного напряжения сдвига, так и в процессе течения, начинающегося после проявления процесса текучести.

3. Подготовка и проведение эксперимента

Ротационную вискозиметрию проводят с образцами пищевых масс: сгущенным молоком, фруктово-ягодными джемами, шоколадными массами и другими образцами на усмотрение преподавателя.

Наиболее распространенным ротационным вискозиметром, работающим с использованием метода $\dot{\gamma} = \text{const}$, является вискозиметр «Reotest» (Германия) и его модификации. Помимо основного набора цилиндрических измерительных элементов, этот прибор снабжен устройством типа конус – плоскость, предназначенным для измерения вязкости при повышенных скоростях сдвига для средне- и высоковязких продуктов. Угол

между плоскостью и образующей конуса составляет $0,3^\circ$. Прибор позволяет измерять скорость сдвига $\dot{\gamma}$ от $0,56$ до 4860 с^{-1} , напряжение сдвига τ – от 40 до $2,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Величина измеряемой вязкости η .

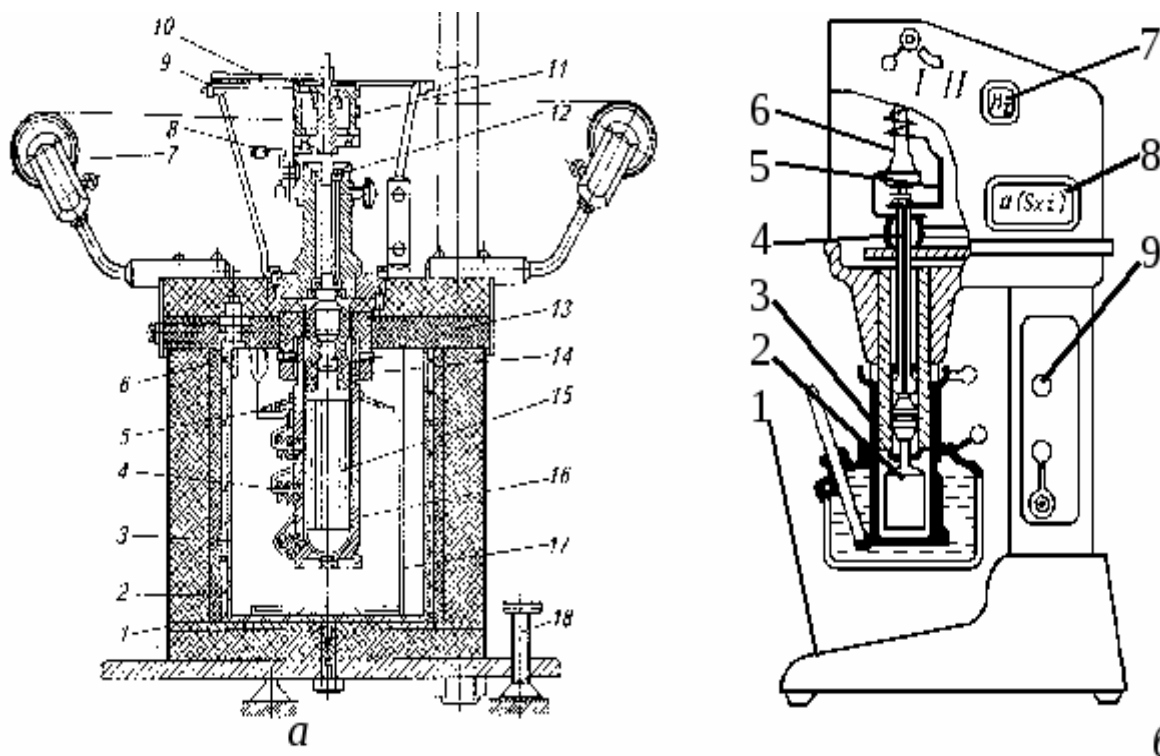


Рис. 2.4. Ротационные вискозиметры:

- а) РВ-8 – системы Воларовича: 1 – корпус со станиной; 2 – асбестовый сосуд; 3 – сосуд для термостатирующей жидкости; 4 – термopapa; 5 – отражательное кольцо; 6 – нагревательный элемент; 7 – шкив; 8 – тормозное приспособление; 9 – шкала; 10 – стрелка; 11 – барабан; 12 – подшипник; 13 – крышка прибора; 14 – обoйма для ротора; 15 – ротор; 16 – стакан; 17 – мешалка; 18 – установочный винт.

б) вискозиметр «Reotest»

Вискозиметр «Reotest» представлен на рис. 2.4. Внутри станины 1 прибора установлен синхронный электродвигатель, соединенный с 12-ступенчатой коробкой передач, которая позволяет изменять частоту вращения внутреннего цилиндра 2 от 0 до 1500 с^{-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 прибора 8, а скорость сдвига – 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. Скорость вращения синхронного электродвигателя и, следовательно, внутреннего цилиндра 2, зависит от частоты тока в сети. Отклонения от нормальной частоты 50 Гц фиксируется прибором 7 и учитывается специальным расчетным коэффициентом.

Пределы измерения вязкости: от 10^{-2} до 104 Па·с; скорости сдвига: от 0,1667 до $1,458 \cdot 10^3$ с⁻¹; напряжения сдвига: от 12 до $3 \cdot 10^3$ Па; температуры: от – 30 до 150 °С. Погрешность измерений $\pm 3\%$ (по отношению к ньютоновским жидкостям).

Можно приготовить образец для исследования согласно рецептурам, представленным в таблице 1.1.

Таблица 1.1. *Рецептура пищевых масс для ротационной вискозиметрии*

Наименование образца	Пшеничная Мука, г	Вода, г	Соль, г	Влажность Теста, %
Образец №1	15	15	0,2	49,7
Образец №2	13	17	0,2	56,3
Образец №3	11	19	0,2	62,9
Образец №4	9	21	0,2	69,5
Образец №5	7	23	0,2	76,2

Перед началом эксперимента закрепляют ротор вискозиметра 2 в специальном замке и помещают образец исследуемой массы в цилиндр вискозиметра. Заполненный цилиндр устанавливают соосно ротору и закрепляют гайкой.

Внимание! На каждом цилиндре есть его обозначение. В зависимости от типа цилиндра – это «Н», «S1», «S2», «S3». При установке на вискозиметр ориентирует цилиндр таким образом, чтобы обозначение оказалось справа, если смотреть на вискозиметр спереди.

При установке цилиндра происходит заполнения кольцевого зазора.

4. Методика проведения эксперимента

Перед началом эксперимента на контактном термометре, находящемся в термостате, устанавливают необходимую температуру, которую контролируют термометром в водяной рубашке вискозиметра, и темперируют вискозиметр с объектом.

Исследования проводятся при комнатной температуре. Для получения первой кривой течения включают измерительный блок с частотомером 11 и потенциометром 12 (рис. 1.3), при этом на указателе ступеней передач 4 рычагом 5 фиксируют первую ступень. Ротор 7 начинает угловое движение с наименьшей частотой вращения. После достижения стационарного вращения снимают показания величины крутящего момента в единицах прибора со шкалы потенциометра 12 измерительного блока. Затем повышают частоту вращения ротора 7 переключением рычага 5 фиксатора ступеней передач во второе положение, что контролируется в окне указателя 4, и так далее. Сняв показания крутящего момента по возможности со всех 12 положений, соответствующих 12 фиксированным скоростям сдвига, цилиндр и ротор вискозиметра очищают, используя мягкую ткань.

Экспериментальные данные записывают в таблицу 1.2.

После завершения измерений вискозиметр отключают. Снимают цилиндр. Моют цилиндр и ротор от остатков продукта. Сдают цилиндр и ротор преподавателю.

5. Обработка результатов эксперимента

По экспериментальным данным крутящего момента (таблица 1.2) на вращающемся роторе вискозиметра рассчитывают величины касательного напряжения, соответствующие фиксированным значениям скорости сдвига. С этой целью из паспорта

вискозиметра берут значения постоянной Z , которые соответствуют выбранному сменному ротору, и подставляют в расчетную формулу определения касательного напряжения сдвига Θ (Па): $\tau = Z\omega$ (1.19)

Вязкость определяют по формуле (1.8). Рассчитанные значения касательного напряжения сдвига и вязкости также заносят в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 Экспериментальные и расчетные данные ротационной вискозиметрии

Тип продукта _____

Температура ____ оС

Тип ротора/цилиндра _____

Положение рычага 5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Крутящий момент А единицы прибора												
Скорость сдвига												
Напряжение сдвига τ , Па												
Вязкость η , Па*с												

По полученным экспериментальным данным строят кривые течения и зависимости вязкости от скорости сдвига в логарифмических координатах для разных экспериментальных образцов (таблица 1.1). Затем кривые течения описывают реологическими уравнениями состояния (РУС) и определяют численные значения параметров этих уравнений.

6. Построение кривой течения

Кривые течения строят на логарифмической миллиметровке (Приложение А). Для этого наносят экспериментальные точки скоростей и напряжений сдвига. После чего соединяют их плавной кривой по лекалу.

Для каждой построенной кривой определяют ее характер и выбирают реологическое уравнение состояния (РУС), которое наиболее точно описывает кривую течения. В отчете к лабораторной работе обосновать свой выбор РУС.

Находят параметры РУС графоаналитическим способом, который описан в п. 2. Для каждой кривой течения записывают параметры РУС исследованного образца в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

Параметры реологического уравнения состояния

Наименование образца	Параметры реологического уравнения состояния		
	Предельное напряжение сдвига Θ_0	Коэффициент консистенции k	Индекс течения n
	Па	Па*С	—

7. Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет к лабораторной работе должен содержать:

- название работы, цель и задачи работы;
- краткий конспект теоретических положений, а именно
 - ☐ что такое простой, чистый и сложный сдвиг;
 - ☐ виды напряжений при сдвиговой деформации;
 - ☐ что такое кривая течения;
 - ☐ что такое точка перегиба;
 - ☐ что такое вязкость пищевых материалов;
 - ☐ реологические уравнения Бингама, Гершеля-Балкли и трехпараметрическое;
- описание графоаналитического метода определения параметров РУС;

8. Контрольные вопросы

1. Что такое простой сдвиг?
2. Что такое чистый сдвиг?
3. Что такое сложный сдвиг?
4. Что называют кривой течения и как ее построить?
5. Какие виды пищевых дисперсных масс вы знаете?
6. Что такое реологическое уравнение состояния (РУС)?
7. В чем заключается сущность графоаналитического метода определения параметров РУС?
8. Почему закон Освальда-де-Вилля не желательно использовать для описания дисперсных пищевых материалов?
9. Почему размерность коэффициента консистенции k в РУС Гершеля-Балкли $[Pa \cdot sn]$?
10. Каким образом выбирается знак перед предельным напряжением сдвига Θ_0 в РУС Гершеля-Балкли, а каким образом в трехпараметрическом РУС?
11. Каким методом проводилось исследование свойства пищевых масс в лабораторной работе?
12. Из каких узлов состоит ротационный вискозиметр?
13. Для чего проводится термостатирование пищевой массы?

Лабораторная работа №2

Исследование влияния температуры на вязкостные свойства пищевых сред

Цель работы – построение кривых течения и зависимостей вязкости от скорости сдвига при разных значениях температур; определение зависимостей параметров РУС объектов исследования от температуры.

1 Постановка задачи

Определение влияния температуры на физико-механические свойства пищевых материалов представляет особый интерес, так как при стандартной рецептуре в производственных условиях управление технологическими процессами может быть осуществлено только в результате изменения температурного режима.

Многочисленными экспериментами было установлено значительное разнохарактерное влияние температуры на реологические свойства пищевых материалов. Для всего ассортимента сгущенных молочных продуктов с сахаром промышленного производства существует единая температурно-инвариантная характеристика вязкости. При повышении температуры пищевых масс силы взаимодействия между дисперсными частицами

ослабевают, и вязкость значительно понижается по нелинейной закономерности. Однако такая закономерность, например, для сливочной помадки при повышении температуры с 20 до 32 °С не соблюдается. Для нее в указанном диапазоне температур характерна линейная зависимость вязкости от температуры.

Исследование физико-механических свойств бараночного теста показало, что вязкость, предельное напряжение сдвига, модули упругости и другие характеристики с повышением температуры от 30 до 40 °С понижаются. При этом изменение физико-механических свойств для данного диапазона в два раза превышает изменение в диапазоне температур от 40 до 60 °С, что очень важно, поскольку формование бараночных изделий в делительно-закаточной машине происходит при 30-35 °С.

Таким образом, для научно обоснованного выбора технологических режимов производства продукции на предприятиях пищевых производств, а также совершенствования технологического оборудования необходимо знать закономерности изменения физико-механических свойств пищевых материалов от температурного влияния.

2. Теоретические положения

К результатам реологических исследований течения пищевых материалов в коаксиальном зазоре ротационного вискозиметра применим принцип температурно-временной суперпозиции, который подтверждает, что аномальность вязкости при стационарном течении определяет релаксационный механизм. Данное утверждение основано на эластодинамическом подходе к аномалии вязкостного течения различных материалов, объясняющем уменьшение эффективной вязкости путем проведения аналогии между динамическим режимом деформации и стационарным течением.

Была теоретически обоснована возможность распространения принципа температурно-временной суперпозиции на результаты реологических экспериментов, сущность которых состоит в следующем. Экспериментальные данные зависимостей логарифма напряжений сдвига от логарифма скорости сдвига, полученные при различных температурах, могут быть сдвинуты перемещением вдоль оси скорости сдвига на величину $\lg a_0$ и расположены на одной кривой течения.

3. Описание экспериментальной установки

Для определения влияния температурного фактора на вязкостные свойства пищевых сред целесообразно, хотя и не обязательно, применять ротационные вискозиметры типа "Реотест" (рис. 1.3), позволяющие проводить опыты с фиксированными значениями скоростей сдвига, что упрощает обработку экспериментальных данных. В состав экспериментальной установки входят вискозиметр "Реотест-RV" и водяной термостат. Описание устройства вискозиметра "Реотест-RV" (рис. 1.3, 1.5) подробно приведено в лабораторной работе № 1. С помощью экспериментальной установки, применяемой в настоящей работе, также можно проводить исследования по изучению влияния температуры на тиксотропные свойства пищевых сред при атмосферном давлении.

4 Методика проведения эксперимента

Перед началом опыта на контактном термометре, находящемся в термостате, устанавливают нужную температуру, которую контролируют термометром в водяной рубашке вискозиметра, и темперируют вискозиметр с объектом (рис. 1.5). Для получения первой кривой течения включают измерительный блок с частотомером 8 и потенциометром 9, при этом на указателе ступеней передач 10 рычагом 11 фиксируют первую ступень. Ротор 2 начинает угловое движение с наименьшей частотой вращения. После достижения стационарного вращения снимают показания величины крутящего момента в единицах прибора со шкалы потенциометра 9 измерительного блока. Затем повышают частоту вращения ротора 2 переключением рычага 11 фиксатора ступеней

передач во второе положение, что контролируется в окне указателя 10, и так далее. Сняв показания крутящего момента по возможности со всех 12 положений, соответствующих 12 фиксированным скоростям сдвига, эксперимент продолжают при новом значении температуры, которое задают на контактном термометре, установленном на термостате.

Диапазон температур выбирают, исходя из инженерных задач. Как правило, он содержит значения, которые перекрывают диапазон заданных температур. Шаг численных значений температур выбирают с учетом физико-механических свойств объектов исследования.

5 Обработка результатов эксперимента

Рекомендуется перед началом экспериментов заготовить несколько таблиц для записи данных (таблица 2.1). Количество таблиц равно количеству значений температур, при которых будет проводиться исследование пищевой среды.

Исходные экспериментальные данные заносят в таблицу 2.1.

Лабораторные работы

Расчёт трубопровода.

При переработке мясного сырья в качестве межоперационного транспорта применяется *трубопроводный* транспорт.

Перед проектированием трубопроводного транспорта необходимо определить следующие параметры: диаметр трубопровода, давление продукта на входе в трубу и мощность для выполнения прочностных расчётов и для подбора двигателя.

Исходные параметры.

1. Рецепттура.

2. Производительность трубопровода M_C , кг/с:

$$M_C = \frac{M_{CM}}{3600 \cdot t_p}, \quad (5.1)$$

где: M_{CM} – выработка за смену, кг;

t_p – эффективное время работы в смену, ч.

3. Общая длина трубопровода l , м, с учётом поворотов (отношение радиуса закругления к диаметру трубы должно быть больше *шести*, с тем чтобы не учитывать потери в местных сопротивлениях).

4. Выбираемые параметры.

Скорость движения продукта по трубопроводу w_0 , м/с, (чем больше вязкость продукта, тем меньше скорость).

5. Расчётные параметры.

Объёмный расход V_C , м³/с:

$$V_C = \frac{M_C}{\rho}. \quad (5.2)$$

Диаметр трубопровода d_0 , м:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4V_C}{\pi w_0}}. \quad (5.3)$$

По значению диаметра d_0 по ГОСТу выбирают ближайшую величину d , м. Действительную среднюю скорость w , м/с, вычисляют по формуле:

$$w = \frac{4V_C}{\pi d^2} \quad (5.4)$$

Консистентную переменную (градиент скорости) $\dot{\epsilon}$, 1/с, вычисляют по формуле:

$$\dot{\epsilon} = \frac{8w}{d} \quad (5.5)$$

Безразмерная консистентная переменная:

$$\dot{\epsilon}_* = \frac{8w}{\dot{\epsilon}_1 d} \quad (5.6)$$

где: $\dot{\epsilon}_1 = 1$, т.е. градиент скорости, равный единице его измерения.

Консистентную переменную (напряжение сдвига) τ , Па, определяют по формуле:

$$\tau = A_1 \dot{\epsilon}_*^n = A_1 \left(\frac{8w}{\dot{\epsilon}_1 d} \right)^n \quad (5.7)$$

или

$$\tau = \frac{pd}{4l} \quad (5.8)$$

где: A_1 – напряжение сдвига при единичном значении градиента скорости, Па;

n – индекс течения;

p – потери давления или давление на выходе из насоса, Па.

Величины A_1 и n выбирают по таблицам или определяют по формулам:

$$A_1 = B_0^* \dot{\epsilon}_1 \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n \quad (5.9)$$

$$n = 1 - m \quad (5.10)$$

где: B_0^* – эффективная вязкость, Па·с, при единичном значении градиента скорости;

m – темп разрушения структуры соответственно.

Потери давления p , Па – давление продукта на выходе из насоса, определяют по формуле:

$$p = \frac{4l\tau}{d} \quad (5.11)$$

Полезная мощность насоса N , кВт:

$$N = pV_C \cdot 10^{-3}. \quad (5.12)$$

Выбор оборудования.

1. Насос выбирают по требуемой производительности трубопровода M_C или $M_{\text{ч}} = 3600 M_C$, принимая во внимание, что объёмный к.п.д. составляет $0,5 \div 0,6$.

Мощность электродвигателя $N_{\text{эд}}$, кВт:

$$N_{\text{эд}} = \frac{\alpha}{K_{\text{п}}} \left(\frac{N}{K_{\text{н}}} + \frac{N_{\text{ш}}}{K_{\text{ш}}} \right), \quad (5.13)$$

где α – коэффициент запаса мощности (для коротких трубопроводов до 5 м $\alpha = 1,2$; для длинных $\alpha = 1,5$);

$K_{\text{п}}, K_{\text{н}}, K_{\text{ш}}$ – к.п.д. соответственно механических передач от электродвигателя к насосу, насоса и шнеков (питателей);

$N, N_{\text{ш}}$ – полезная мощность, развиваемая насосом и шнеком соответственно, кВт.

Электродвигатель выбирают по каталогу.

2 Расчёты процессов дозирования

Процессы дозирования по назначению чрезвычайно многообразны. Одной из основных задач дозирования является создание базы для механизации и автоматизации производственных процессов при одновременном обеспечении точности и соблюдения рецептуры. Наиболее типичными функциями дозирования являются отмеривание продукта по заданному объёму, массе, длине и поддержке заданного объёмного или массового расхода.

Различают два метода дозирования: по объёму и по массе. При объёмном дозировании реологические свойства продукта и способ заполнения формы определяют процесс и конструкцию машины, при массовом – имеют второстепенное значение. Поэтому рассмотрим только первый способ на примере дозирования пластично-вязких масс. Схематически метод объёмного дозирования можно представить как отмеривание определённого объёма продукта и заполнение тары. В одну тару можно дозировать несколько компонентов. Поскольку продукты являются труднотекучими, то их подачу в рабочие органы следует осуществлять принудительно: с помощью напорных шнеков или лопастей, насосов или поршневых шприцев.

При конструировании дозирующих устройств обычно исходят из кинематики питающих устройств, не увязывая кинетические расчёты с динамикой течения продукта и его реологическими свойствами. Заполнение формы пластично-вязким продуктом представляет собой нестационарный процесс. Продукт, подходя к форме, деформируется и движется в ней, имея выпуклую верхнюю поверхность. При подходе к крышке или дну формы скорость продукта замедляется и начинается заполнение углового пространства. Процесс считается законченным, когда весь объём формы занят продуктом. Необходимое для этого давление складывается из следующих составляющих: потери в местных сопротивлениях – внезапное сужение на входе в форму $p_{\text{м}}$; потери при движении по длине формы $p_{\text{дл}}$ и давление, необходимое для окончательного заполнения формы $p_{\text{сж}}$ (его

величину определяют в центре крышки, когда угловые пространства заполнены продуктом).

Продолжительность заполнения формы обычно известна. Поэтому в качестве основной расчётной величины можно принять полное давление, которое необходимо создать перед формой для её заполнения в заданный промежуток времени. Если давление превышает необходимое, то продукт сжимается, плотность его увеличивается, что приводит к увеличению массы дозы. При недостаточном давлении масса дозы получается меньше установленной.

Таким образом, полное оптимальное давление p , Па, перед входом в форму составит:

$$p = p_M + p_{ДЛ} + p_{СЖ}. \quad (5.14)$$

Составляющие общего давления вычисляют по зависимостям:

$$p_M = A_2 \theta_0^{0,4} d_{\Xi}^{-0,86} w^{0,56}; \quad (5.15)$$

$$p_{ДЛ} = C_1 l d_{\Xi}^{-1} \eta_{\text{ЭФ}} \rho_{\text{ОТН}} w; \quad (5.16)$$

$$p_{СЖ} = D \cdot 10^{a^w}, \quad (5.17)$$

где: A_2 , C_1 , D – эмпирические коэффициенты;

l , d_{Ξ} – длина дозатора и эквивалентный диаметр поперечного сечения;

w – средняя скорость заполнения дозатора, м/с;

w^* – кинематический коэффициент, зависящий от средней скорости движения продукта в дозаторе;

a – геометрический коэффициент, зависящий от площади сечения дозатора F , м, его формы и специфики заполнения углового пространства у дна, последнее отражается величиной a^* .

$$w^* = w + 0,004, \quad (5.18)$$

$$a = 56 (F \cdot 10^2)^{2,5} + a^*. \quad (5.19)$$

Предельное напряжение сдвига и эффективную вязкость берут из таблиц или рассчитывают на основе экспериментальных данных.

3.

Исследование адгезионных свойств

Цель работы: ознакомиться с поверхностными характеристиками пищевых материалов, способами и приборами для их измерения; провести исследование адгезионных свойств различных пищевых материалов.

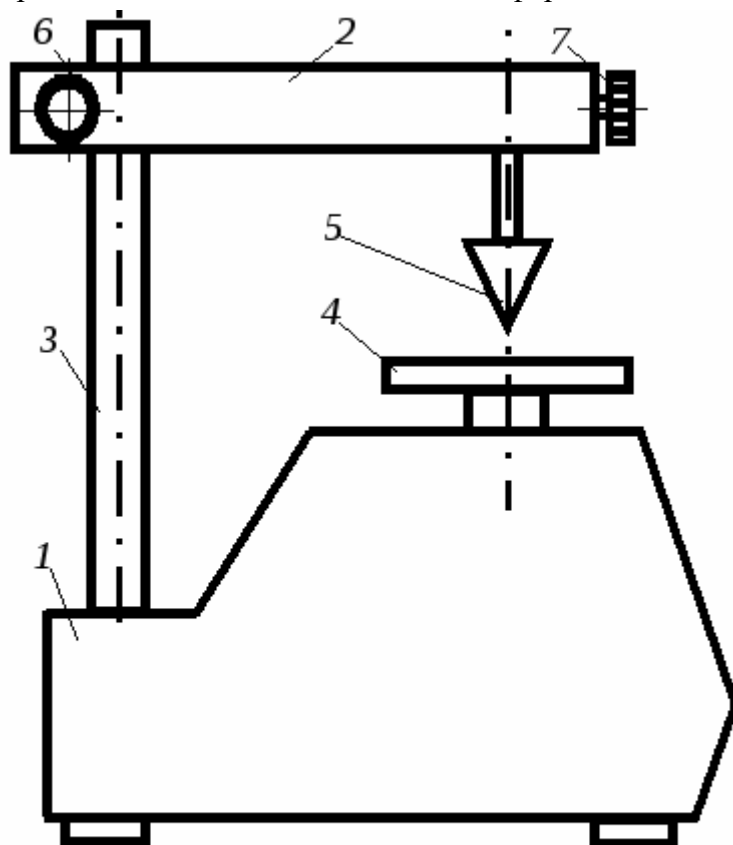
Порядок выполнения лабораторной работы: 1. Ознакомиться с теоретической частью

работы (прослушав преподавателя и самостоятельно). 2. Подготовить лабораторную установку к проведению исследований. 3. Провести измерения в трёх повторностях, данные занести в таблицу 8.7. 4. Сделать выводы по лабораторной работе.

Описание экспериментальной установки. Экспериментальной установкой является «Структурометр-СТ 1», схема которого приведена на рис. 8.4. Структурометр представляет собой устройство, включающее блок управления, сменные измерительные головки и набор сменных инструментов и приспособлений.

Блок управления 1 представляет собой настольный блок, в верхней части которого находится столик 4 и вертикальная штанга 3. При помощи шагового двигателя столик может перемещаться в вертикальном направлении с заданной скоростью. Над столиком размещается измерительная головка 2, которая перемещается вдоль штанги и фиксируется в любом месте с помощью винта 6. Винт 7 служит для закрепления в измерительной головке сменного инструмента 5. На лицевой панели блока размещаются элементы управления и индикации. Матричный индикатор представляет собой строку на 16 знакомест и позволяет выводить буквенно-цифровую информацию. Клавиатура содержит 10 цифровых и 10 функциональных кнопок. Устройство имеет 8 режимов работы:

- режим 1: определение упругих и пластических деформаций;
- режим 2: определение прочностных свойств при изгибе и резании;
- режим 3: определение адгезионных свойств;
- режим 4: исследование релаксационных процессов;
- режим 5: исследование кинетики деформаций;



- режим 6: определение нормальных напряжений;
- режим 7: определение времени релаксации при заданном усилии;
- режим 8: определение времени релаксации при заданном перемещении столика.

В измерительной головке (рис.8.5) размещается «Датчик высокоизмерительный тензорезисторный ЛУ.04П.11.000.00 и схема усиления аналогового сигнала. В передней части датчика находится гнездо 4 для установки инструмента. Сменный инструмент устанавливается в гнездо и фиксируется винтом 2. При измерении усилий более 10 Н переключатель 3 должен

Рис. 8.4. Структурометр-СТ 1
1 – блок управления; 2 – измерительная головка; 3 – штанга; 4 – столик;
5 – инструмент; 6 – винт; 7 – винт

находиться в положении 1 : 1. В этом случае значения, отображаемые на индикаторе прибора будут соответствовать реальному усилию. При измерении усилий менее 10 Н переключатель 3 должен находиться в положении 10 : 1. В этом случае для получения реального значения усилия необходимо значения, отображаемые на индикаторе прибора, разделить на 10. Компенсировать температурный дрейф измерительной головки, или компенсировать вес инструмента можно с помощью резистора 5 «Уст. 0». Данную операцию можно выполнять после выбора любого из режима и задания параметров (до нажатия кнопки «СТАРТ»). В этом состоянии на индикатор прибора выводится значение перемещения и значение усилия. Вращая ось резистора по или часовой стрелки можно добиться нулевых значений усилия. Компенсацию дрейфа «0» или компенсацию веса инструмента выполнять необязательно: на результат измерений это влияния не оказывает, так как в начале любого режима (после нажатия кнопки «СТАРТ») происходит автоматическое обнуление значений перемещения и усилия.

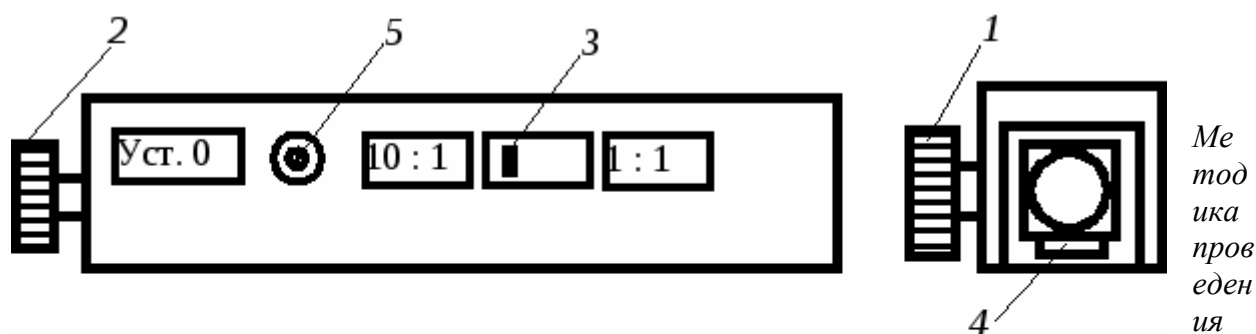


Рис. 8.5. Измерительная головка
1 – винт, фиксирующий головку на штанге; 2 – винт, фиксирующий сменный инструмент; 3 – переключатель коэффициента усилия; 5 – резистор установки «0»

Методика проведения эксперимента.
 1. Пер

ед началом проведения опыта необходимо подготовить прибор, для чего требуемый инструмент устанавливают в гнездо 4 измерительной головки и закрепляют его с помощью винтов 2 (рис. 8.4). Подготовленный исследуемый образец устанавливают на столик строго по оси инструмента. Если необходимо приблизить инструмент к образцу, то это можно сделать следующим образом:

1. либо опустить измерительную головку вниз вдоль штанги;
2. либо поднять столик.

Для перемещения столика вверх необходимо нажать кнопку «↑». При кратковременном нажатии столик перемещается на 1 шаг. При нажатии и удержании кнопки столик перемещается с максимальной скоростью, пока кнопка не будет отпущена.

2. После выбора режима задают значения начального усилия F_0 , скорости перемещения столика V , усилия F , до которого будет нагружаться образец. После ввода значения F на индикатор выводится значение паузы:

$T = 100 \text{ СЕК.}$

3. Если данные значения устраивают, нажимают кнопку «ВК».нажатием кнопки

«СТАРТ» запускается обработка режима. Значения F и H обнуляются. Столик движется вверх с заданной скоростью. При достижении F_0 начинается отсчет перемещения. текущие значения F и H выводятся на индикатор и самописец. При достижении заданного значения F столик останавливается. Дается короткий звуковой сигнал. На индикаторе чередуются сообщение «ПАУЗА» и текущее значение усилия и перемещения. Идет отсчет заданного времени паузы. Во время паузы за счет перемещения столика поддерживается постоянное усилие. По окончании паузы дается короткий звуковой сигнал. Столик движется вниз с заданной скоростью V до исходного положения. Фиксируется и выводится на индикатор усилие отрыва инструмента от образца и соответствующее ему значение перемещения. Опыт завершен, данные занести в таблицу 8.7. Опыт необходимо провести в трех повторностях для трех различных материалов, все данные занести в таблицу 8.7.

Таблица 8.7. Экспериментальные данные

Материал	Величина адгезионной прочности, p_0 , Па			
	p_1	p_2	p_3	p_{cp}
№ 1				
№ 2				
№ 3				

2.

4. Проводят анализ полученных результатов и делают выводы о адгезионных свойствах образцов исследованных материалов.

Контрольные вопросы.

1. Какова цель работы?
2. Охарактеризуйте поверхностные характеристики различных материалов.
3. Что называется адгезией?
4. Перечислите виды отрыва материала.
5. Назовите методы испытания адгезии.
6. Назовите факторы, влияющие на величину адгезионной связи.
7. Изложите теории, объясняющие адгезионные явления.
8. Напишите формулы для расчета адгезии.

9. Какова связь адгезии и внешнего трения?

Исследование процесса релаксации

Цель работы: ознакомиться с теорией релаксационных процессов и приборами для их изучения, принципом работы; методиками измерения и расчёта; провести исследование релаксационных процессов твёрдообразных пищевых масс.

Порядок выполнения лабораторной работы: 1. Ознакомиться с теоретической частью работы (прослушав преподавателя и самостоятельно). 2. Подготовить лабораторную установку к проведению исследований. 3. Провести измерения в трёх повторностях, данные занести в таблицу 8.8. 4. Построить релаксационные кривые, определить период релаксации. 5. Сделать выводы по лабораторной работе.

Описание экспериментальной установки. Экспериментальной установкой является структурометр, конструкция которого описана в лабораторной работе 8.3. Подготовка прибора к проведению эксперимента аналогична описанной в разделе 8.3.

Методика проведения эксперимента. 1. После выбора режима задают значения F_0 , V , F . По нажатию кнопки «СТАРТ» значения F и H обнуляются. Столик движется вверх с заданной скоростью. При достижении F_0 начинается отсчет перемещения. Текущие значения усилия и перемещения выводятся на индикатор и самописец. При достижении заданного значения F дается короткий звуковой сигнал, столик останавливается, начинается подсчет времени релаксации. Подсчет времени будет продолжаться до тех пор, пока не установится постоянное значение F . Дается короткий звуковой сигнал. Столик с максимальной скоростью опускается вниз в исходное положение. На индикатор вводятся значение перемещения, при котором усилие равно F , и время релаксации T . Опыт завершен.

2. Опыт необходимо провести в трех повторностях, все данные занести в таблицу 8.8., построить кривую релаксации по осредненным данным эксперимента. Сделать вывод по лабораторной работе.

Таблица 8.8. Экспериментальные данные

Время, T , с

Нагрузка, F , Н.

F_1

F_2

F_3

F_{CP}

3

5

10

Вопросы для самоконтроля

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Опишите основные элементы лабораторной установки.
3. Какова природа процессов релаксации?
4. Какие уравнения применяют для описания процесса релаксации в пищевых системах?
5. Что называется периодом релаксации?
6. Изобразите кривую релаксации, характерную для твердообразных систем.
7. Какая механическая реологическая модель описывает релаксационные процессы?

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

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

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

Ползучесть — перемещение, при котором структура пищевой массы не разрушается, а наблюдается смещение частиц относительно друг друга. **Релаксация** — переход системы (пищевой массы) из неравновесного состояния, вызванного внешним воздействием, в состояние термодинамического равновесия.

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

Кривая течения — график зависимости скорости деформации от напряжения.

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

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

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

Гели — дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой, в которой частицы дисперсной фазы образуют пространственную структурную сетку. **Желатинирование** — процесс образования гелей из коллоидных растворов. **Застудневание** — процесс образования студней из растворов высокомолекулярных соединений.

Холодное отверждение — гелеобразование, вызываемое охлаждением. Характерно для биополимерных гелей, которые встречаются в природе и формируют структуры в биологических системах.

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

Гидрогели — гели, дисперсионной средой которых является вода. **Органогели** — гели с углеводородной дисперсионной средой.

Ксерогель — пористое тело, частично сохраняющее трёхмерную структуру сети геля в сжатом или частично разрушенном виде (печенье, сухари); **Аэрогель** — пористое тело, которое в основном сохраняет структуру сети (маленькая плотность, прозрачный).

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

Физические гели – гели, образованные водородными связями. Энергия связей сравнима с энергией теплового движения молекул – лабильные, подвижные связи.

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

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

Вискозиметрия – совокупность методов измерения вязкости жидкости, а также структурированных систем, к которым относятся пищевые массы. **Вискозиметр** – прибор, используемый в вискозиметрии.

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

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

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

Фаринограф – прибор, предназначенный для контроля динамики реологического поведения пшеничного теста в процессе замеса по характеру изменения величины крутящего момента (фаринограмме) на приводе месильных органов тестомесильной емкости и определения параметров муки, теста и процесса его замеса: водопоглотительной способности муки, времени образования теста, устойчивости (стабильности) теста при замесе, сопротивляемости (стойкости) теста при замесе, эластичнос

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

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

автолитическую активность хлебопекарной муки и оценивать качество крахмалсодержащего сырья.

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

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

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