

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»

С. В. АГАФОНОВА

РЕОМЕТРИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ»
в качестве учебно-методического пособия по лабораторным работам
для студентов бакалавриата по направлению подготовки
19.03.01 «Биотехнология»
(профиль подготовки – «Пищевая биотехнология»)



Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»

С. В. АГАФОНОВА

РЕОМЕТРИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ»
в качестве учебно-методического пособия по лабораторным работам
для студентов бакалавриата по направлению подготовки
19.03.01 «Биотехнология»
(профиль подготовки – «Пищевая биотехнология»)

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 664-4

РЕЦЕНЗЕНТ:

профессор, д-р техн. наук, зав. кафедрой пищевой биотехнологии
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
Мезенова О.Я.

Агафонова, С. В.

Реометрия пищевых продуктов: учеб.-методич. пособие по лаб. работам для студ. бакалавриата по направлению подгот. 19.03.01 – Биотехнология (профиль «Пищевая биотехнология») по дисциплинам «Реометрия продуктов из растительного сырья», «Реометрия продуктов из сырья животного происхождения» / **С.В. Агафонова.** – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», 2022. – 44 с.

Учебно-методическое пособие содержит методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Реометрия продуктов из растительного сырья», «Реометрия продуктов из сырья животного происхождения». Лабораторные работы посвящены изучению измерительных приборов и методов анализа реологических свойств пищевого сырья и продуктов питания.

Рис. – 17, табл. – 10, список лит. – 7 наименований

Учебное пособие рассмотрено и одобрено кафедрой пищевой биотехнологии 18 февраля 2022 г., протокол № 6

Учебное пособие рассмотрено и одобрено методической комиссией ученого совета института агроинженерии и пищевых систем 01 февраля 2022 г., протокол № 01.

УДК 664-4

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2022 г.
© Агафонова С. В., 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
<i>Лабораторная работа № 1</i> Определение условной вязкости пищевых продуктов с помощью вискозиметра ВЗ-246 (4 ч).....	7
<i>Лабораторная работа № 2</i> Исследование зависимости вязкости пищевых продуктов от температуры с помощью ротационного вискозиметра (4 ч).....	13
<i>Лабораторная работа № 3</i> Изучение тиксотропных свойств пищевых продуктов (4 ч).....	21
<i>Лабораторная работа № 4</i> Исследование структурно-механических свойств пищевых продуктов с помощью пенетрометра (4 ч).....	28
<i>Лабораторная работа № 5</i> Исследование поверхностных и структурных свойств пищевых продуктов с помощью анализатора текстуры СТЗ (4 ч)	35
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	44

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 19.03.01 «Биотехнология» (профиль «Пищевая биотехнология»), выполняющих лабораторные работы по дисциплинам «Реометрия продуктов из растительного сырья», «Реометрия продуктов из сырья животного происхождения». Знания, приобретенные по данной дисциплине, являются базовыми при подготовке биотехнологов, ориентированных на профессиональную деятельность в пищевой промышленности.

В результате освоения знаний по представленному разделу дисциплины обучающийся должен:

- освоить основные принципы работы с приборами, предназначенными для измерения структурно-механических свойств пищевого сырья и продуктов питания;

- приобрести навыки измерения структурно-механических свойств пищевого сырья и продуктов питания с помощью реометрического оборудования.

Представленные лабораторные работы являются важной частью дисциплин «Реометрия продуктов из растительного сырья», «Реометрия продуктов из сырья животного происхождения». Их выполнение позволит обучающимся приобрести необходимые знания и навыки для практической деятельности.

Результатами освоения дисциплин «Реометрия продуктов из растительного сырья», «Реометрия продуктов из сырья животного происхождения» являются следующие компетенции:

- владение основными методами и приемами проведения экспериментальных исследований в своей профессиональной области; способность проводить стандартные и сертификационные испытания сырья, готовой продукции и технологических процессов;

- способность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров биотехнологических процессов, свойств сырья и продукции;

- способность участвовать в разработке технологических проектов в составе авторского коллектива.

Отчеты о выполнении лабораторных работ формируются студентами в рабочей тетради. Отчет должен включать:

- название лабораторной работы;
- цель;
- порядок действий при проведении каждого опыта (ход работы), формулы для расчета;

- таблицы и рисунки с полученными в ходе лабораторной работы данными;
- вывод по лабораторной работе.

Преподаватель проверяет усвоение студентами теоретического материала, знание методов анализа, оценивает уровень оформления работы и при его соответствии подписывает отчет. Лабораторные работы должны выполняться с соблюдением требований техники безопасности при работе в химической лаборатории.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНОЙ ВЯЗКОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С ПОМОЩЬЮ ВИСКОЗИМЕТРА ВЗ-246 (4 Ч)

Цель занятия: формирование знаний, умений и навыков по работе с вискозиметром истечения при определении вязкости пищевых продуктов.

Задания:

- 1) изучить теоретический материал, представленный в разделе 1.2;
- 2) изучить устройство и порядок работы с вискозиметром ВЗ-246;
- 3) измерить условную вязкость пищевых продуктов с помощью вискозиметра ВЗ-246 и рассчитать кинематическую вязкость;
- 4) измерить относительную плотность пищевых продуктов пикнометрическим методом и рассчитать динамическую вязкость.

1.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Приборы и оборудование: вискозиметр ВЗ-246; лабораторные стаканы; водяная баня; термометр; стеклянная палочка; стеклянная или пластиковая пластинка; секундомер; пикнометры; шприцы или дозаторы; весы аналитические; сушижаровой шкаф.

Материалы и реактивы: вода дистиллированная; пищевые продукты из растительного сырья (осветленный сок, сахарный раствор, подсолнечное масло) или из сырья животного происхождения (обезжиренное молоко, обезжиренный бульон, рыбный жир); фильтровальная бумага.

Вискозиметр ВЗ-246 относится к условным реологическим приборам и предназначен для измерения условной вязкости (времени истечения) жидкостей, относящихся к ньютоновским или приближенным к ним.

Вискозиметр ВЗ-246 представляет собой цилиндрический резервуар, на конце конической части которого устанавливается сопло и закрепляется с помощью гайки. Вискозиметр изготавливается в соответствии с ГОСТ 9070-75. Верхний край резервуара имеет кольцевой желобок для слива избытка испытуемой жидкости. Резервуар устанавливается на штативе тремя наконечникам. При прокручивании наконечников можно добиться, чтобы верхняя поверхность резервуара находилась в горизонтальной плоскости. Отверстие сопла снизу закрывается пальцами. Конструкция и схема вискозиметра ВЗ-246 представлены на рисунке 1.1.

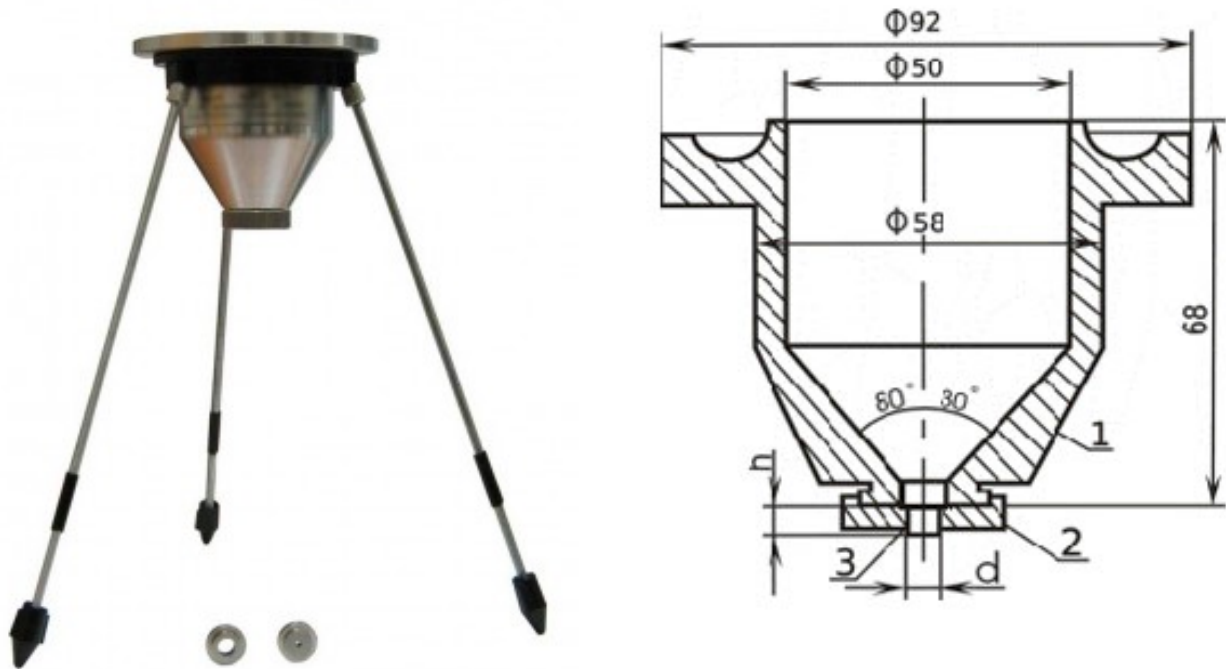


Рисунок 1.1 – Вискозиметр ВЗ-246
1 – резервуар; 2 – гайка; 3 – сопло

Таблица 1.1 – Технические характеристики вискозиметра ВЗ-246

Вместимость резервуара, см ³	100±1
Диапазон времени истечения, с	12-200
Диаметр сопла, мм	4
Высота сопла, мм	4
Масса, кг	0,2

Порядок работы при измерении условной вязкости с помощью вискозиметра ВЗ-246.

1) Резервуар и сопло тщательно промывают, протирают спиртом или бензином и вытирают мягкой тканью.

2) Выдерживают вискозиметр 15-20 мин при температуре (20±0,2) °С.

3) Закрепляют вставку-сопло в резервуаре с использованием прижимной гайки.

4) Прибор устанавливают на стол, регулируют уровень подкручиванием наконечников. Под сопло прибора помещают стакан вместимостью не менее 100 мл.

5) Закрывают выходное отверстие вставки-сопла резервуара пальцем для исключения вытекания жидкости из резервуара и медленно, чтобы избежать

образования пузырьков, наливают жидкость до верхней кромки с избытком до образования выпуклого мениска. Мениск удаляют стеклянной пластинкой.

б) Открывают выходное отверстие сопла и при начале истечения жидкости включают секундомер. В момент первого прерывания струи останавливают секундомер. Время истечения определяют с погрешностью не более 0,5 с. За результат испытаний принимают среднее арифметическое величин результатов 3-5 измерений времени истечения в секундах.

7) После проведения испытаний вискозиметр тщательно промывают и протирают мягкой тканью.

1. Измерение условной вязкости с помощью вискозиметра ВЗ-246

Ход работы. Вначале проводят калибровку прибора, измеряя время истечения эталонной жидкости – дистиллированной воды температурой $(20 \pm 0,2)$ °С. Проводят три параллельных измерения.

Затем измеряют время истечения предложенных пищевых продуктов, термостатированных при $(20 \pm 0,2)$ °С с помощью водяной бани. Предварительно пробы аккуратно перемешивают стеклянной палочкой для удаления пузырьков воздуха. Проводят три параллельных измерения.

Условную вязкость в градусах Энглера, °E, рассчитывают по формуле 1.1.

$$^{\circ}E = \frac{t}{t_0}, \quad (1.1)$$

где t – среднее арифметическое значение времени истечения исследуемой жидкости, с;

t_0 – среднее арифметическое значение времени истечения эталонной жидкости, с.

Перевод градусов Энглера в единицы кинематической вязкости, ν ($\text{м}^2/\text{с}$), производят по эмпирической формуле Уббелоде 1.2.

$$\nu = \left(7,31 \cdot ^{\circ}E - \frac{6,31}{^{\circ}E} \right) \cdot 10^{-6}. \quad (1.2)$$

2. Определение относительной плотности

Ход работы. Тщательно вымытые и высушенные в сухожаровом шкафу пикнометры взвешивают на аналитических весах. Пикнометр наполняют дистиллированной водой выше метки с помощью шприца и термостатируют при 20 °С в течение 20-30 мин погружением в водяную баню соответствующей температуры. Вода в бане должна покрывать заполненную часть пикнометра. По-

сле этого уровень воды в пикнометре доводят до метки, удаляя избыток воды с помощью полоски фильтровальной бумаги. Пикнометр тщательно вытирают и взвешивают. После удаления воды пикнометр высушивают в сухожаровом шкафу и наполняют исследуемым продуктом. Пикнометр также термостатируют при 20 °С в течение 20-30 мин, после чего доводят до метки при помощи шприцев, пипеток и фильтровальной бумаги. Тщательно вытертый пикнометр взвешивают.

Относительную плотность продукта при 20 °С, кг/м³, рассчитывают по формуле 1.3.

$$\rho = \frac{m_1 - m}{m_2 - m} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot 1000 , \quad (1.3)$$

где m – масса пустого пикнометра, г;

m_1 – масса пикнометра с водой, г;

m_2 – масса пикнометра с продуктом, г;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды при 20 °С, г/см³.

Динамическую вязкость при 20 °С, Па·с, рассчитывают по формуле 1.4.

$$\eta = \nu \cdot \rho , \quad (1.4)$$

где ν – кинематическая вязкость, м²/с;

ρ – относительная плотность продукта, кг/м³.

Полученные данные вносят в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Значения вязкости и плотности пищевых продуктов

Объект	Условная вязкость, °Е	Кинематическая вязкость, м ² /с	Плотность, кг/м ³	Динамическая вязкость, Па·с

Полученные значения кинематической и динамической вязкости сравнивают с литературными значениями для данных продуктов. Делают вывод по работе.

1.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ (СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ)

Вязкость – одно из явлений переноса, свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. В результате работа, затрачиваемая на это перемещение, рассеивается в виде тепла. Вязкость проявляется в том, что при относительном перемещении слоёв жидкости медленнее движущийся слой жидкости «тормозит» слой, движущийся быстрее, и наоборот. Характерной особенностью этого вида трения является то, что оно наблюдается не на границе твердого тела и жидкости, а во всем объеме жидкости. Вязкость обусловлена наличием между отдельными частицами (молекулами) жидкости сил притяжения, которые при перемещении одной части жидкости относительно другой сдерживают движение слоёв. Очевидно, что все жидкости должны быть вязкими, так как между реальными молекулами всегда существуют силы не только притяжения, но и отталкивания. Равновесие между этими силами и определяет равновесное состояние жидкости. Если один из слоёв жидкости вывести из состояния равновесия и перемещать его с некоторой скоростью относительно другого, то силы притяжения частиц будут тормозить это движение. При теоретическом описании вязкости жидкость рассматривают как непрерывную бесструктурную среду. В равновесном состоянии частицы (молекулы) будут располагаться таким образом, что равновесная сила (разность между силами притяжения и отталкивания) будет равна нулю. Если это не соблюдается, то молекулы будут перемещаться относительно друг друга до тех пор, пока вновь не наступит состояние равновесия.

Динамическая вязкость – характеристика вещества, численно равная силе трения, возникающей между двумя слоями жидкости площадью по 1 м^2 каждый при градиенте скорости, равном 1 м/с на метр. Размерность динамической вязкости в Международной системе единиц (СИ) - $[\eta] = [\text{Па} \cdot \text{с}]$, в системе СГС — пуаз; $[\text{Па} \cdot \text{с}] = 10 \text{ пуаз}$. В некоторых случаях принято пользоваться так называемой *кинематической вязкостью*, равной динамической вязкости жидкости, делённой на плотность жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}. \quad (1.5)$$

Жидкости, вязкость которых зависит только от давления и температуры и не зависит ни от каких других параметров (скорость сдвига, напряжение, время действия напряжения и т.д.), называются *ньютоновскими* (идеально вязкими). Для этих жидкостей зависимость скорости сдвига от напряжения сдвига имеет линейный характер, а вязкость остается постоянной при любых скоростях сдвига (рис. 1.2). Примером ньютоновских жидкостей являются рафинированные растительные масла, например, подсолнечное масло.

Вязкость жидкостей определяется при помощи приборов, называемых вискозиметрами. Имеется несколько типов вискозиметров, различных по своей конструкции и принципу действия. Основными из них являются капиллярные вискозиметры, вискозиметры истечения и ротационные вискозиметры. Только ротационные вискозиметры позволяют измерить истинную или абсолютную вязкость жидкости. При исследовании жидкости на капиллярных или вискозиметрах истечения определяется время истечения жидкости заданного объема или по капилляру заданных размеров. Для определения коэффициента вязкости в этом случае необходимо измерить время истечения эталонной жидкости.

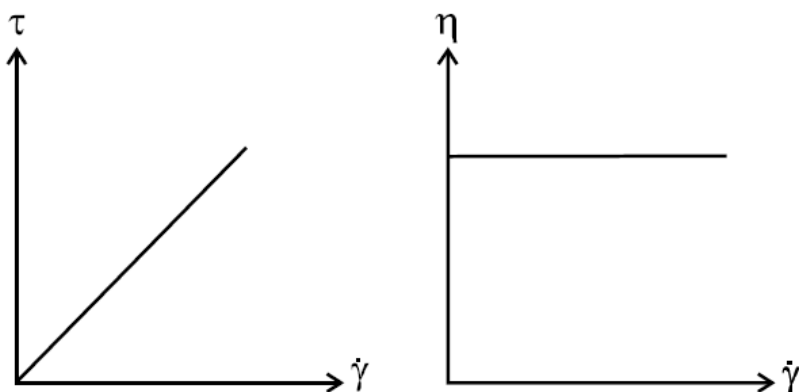


Рисунок 1.2 – Кривые течения и вязкости ньютоновской жидкости

Контрольные вопросы

- 1) Дайте определение понятия вязкости.
- 2) Дайте определение понятия динамической вязкости. В каких единицах она измеряется?
- 3) Дайте определение понятия кинематической вязкости. В каких единицах она измеряется?
- 4) Какие жидкости называются ньютоновскими?
- 5) К какому типу вискозиметров относится вискозиметр ВЗ-246? Опишите порядок действий при работе с ним.

Лабораторная работа № 2
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ПИЩЕВЫХ
ПРОДУКТОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ
РОТАЦИОННОГО ВИСКОЗИМЕТРА (4 Ч)

Цель занятия: формирование знаний, умений и навыков по работе с ротационным вискозиметром при определении вязкости пищевых продуктов.

Задания:

- 1) изучить теоретический материал, представленный в разделе 2.2;
- 2) изучить устройство и порядок работы с ротационным вискозиметром Брукфильда;
- 3) измерить динамическую вязкость предложенных пищевых продуктов при различной температуре;
- 4) построить графики зависимости коэффициентов динамической вязкости пищевых продуктов от температуры.

2.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Приборы и оборудование: ротационный вискозиметр Брукфильда с набором шпинделей и защитной рамкой; стаканы Гриффина объемом 600 мл (внутренний диаметр от 83 мм); термометр; термостат; баня лабораторная ЛБ 13; холодильная камера.

Материалы и реактивы: пищевые продукты из растительного сырья (растительное масло, кетчуп, сок неосветленный, сахарный сироп) или из сырья животного происхождения (рыбный жир, кефир с разрушенной структурой, сгущенное молоко, ряженка с разрушенной структурой).

Вискозиметр Брукфильда (*Brookfield*) – это ротационный вискозиметр, принцип работы которого основан на измерении закручивания калиброванной пружины при вращении шпинделя (цилиндра и др.) в тестируемой жидкости с постоянной скоростью.

Вискозиметры Брукфильда (рис. 2.1) измеряют крутящий момент, возникающий при вращении погружаемого элемента (шпинделя) в жидкости. Двигатель расположен в верхней части прибора. Калиброванная пружина из сплава бериллия с медью одним концом присоединяется к оси шарнира, а другим – к указателю шкалы. Шкала вращается валом двигателя и, в свою очередь, враща-

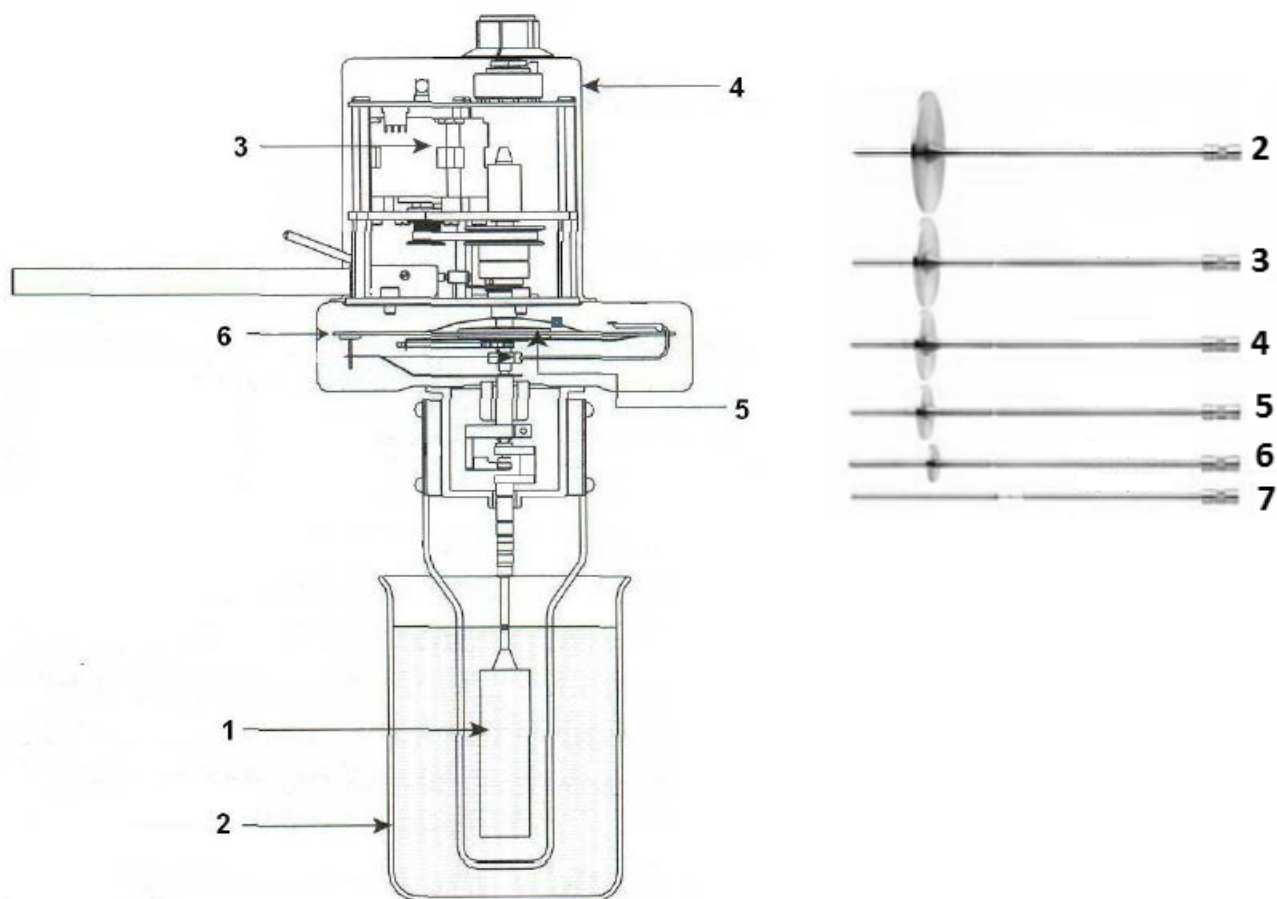
ет ось через пружину. Угловая позиция шарнира оси измеряется с помощью датчика и выводится на дисплей.

Под корпусом расположена чашка шарнира, через которую выходит нижний конец шарнира оси. Внутри чашки расположена опорная подушка, вращающаяся вместе со шкалой и датчиком. На нижнем конце оси расположено резьбовое соединение, на которое накручивается шпindelь.

Для данной вязкости гидравлическое сопротивление (выражающееся в угле поворота пружины) пропорционально скорости вращения шпинделя и зависит от его геометрии (формы и размера). Гидравлическое сопротивление возрастает при увеличении размера шпинделя и/или при увеличении скорости вращения. Таким образом, при данной скорости вращения и геометрии шпинделя увеличение вязкости приводит к увеличению угла поворота пружины.



a)



б)

в)

Рисунок 2.1 – Вискозиметр Брукфильда (а, б) и набор шпинделей (в).
 1 – шпindelь; 2 – сосуд для пробы; 3 – мотор; 4 – корпус; 5 – калиброванная пружина; 6 – дисплей

Для любой модели вискозиметра Брукфильда минимальный диапазон достигается при использовании самого большого шпинделя на максимальной скорости, а максимальный диапазон – при использовании самого маленького шпинделя на минимальной скорости.

Выбор сосуда для образца. Для измерения рекомендуется использовать стаканы Гриффина объемом 600 мл с внутренним диаметром 83 мм или и больше. Использование сосудов меньшего размера может привести к завышенным показаниям, особенно для шпинделя № 2. В случае, если необходимо использовать маленький сосуд, нужно отразить этот факт в отчете. При сравнении вязкости разных образцов необходимо, чтобы все измерения были выполнены в одинаковых сосудах.

Подготовка пробы. Пробу необходимо освободить от пузырьков воздуха аккуратным постукиванием по стенкам сосуда. Температура пробы должна

быть постоянной по всему объему. Для прогрева пробы возможно использование жидкостного термостата. Для достижения равномерности температуры пробу можно перемешивать, однако стоит убедиться, что при этом не произойдет изменения ее вязкости.

Выбор шпинделя и скорости вращения. Вискозиметр Брукфильда поставляется с набором шпинделей (рисунок 1в). Шпиндели идентифицируются по номеру на боковой поверхности соединительной гайки. Выбор шпинделя и скорости вращения для каждого конкретного исследуемого вещества осуществляется путем подбора. Главным критерием при этом является величина крутящего момента, отображаемая на дисплее. Величина момента должна быть в пределах от 10 до 100 %, причем, чем ближе к 100, тем выше точность измерения. При крутящем моменте выше 100 следует выбрать меньший шпиндель или уменьшить скорость вращения. При крутящем моменте меньше 10 следует, наоборот, выбрать больший шпиндель или увеличить скорость вращения. Размер шпинделя и скорость вращения обратно пропорциональны вязкости. Для измерения высокой вязкости стоит выбрать маленький шпиндель и/или низкую скорость вращения.

Максимальную величину вязкости, которую возможно измерить при данной комбинации шпиндель/скорость, можно узнать, нажав на кнопку **AUTORANGE** на корпусе вискозиметра. Эта величина называется также «полная шкала». Минимальная величина вязкости составляет 0,1 полной шкалы.

Шпиндели имеют левую резьбу. При накручивании шпинделя необходимо слегка поднять вал одной рукой, чтобы избежать повреждения шарнира оси и опорной подушки. Следует избегать соприкосновения шпинделя со стенками сосуда. Сначала шпиндель погружают в исследуемый материал, устанавливают в правильную позицию и лишь затем накручивают на вал вискозиметра.

Защитная рамка. Защитная рамка защищает шпиндели от повреждения и оказывает влияние на результаты измерения (при работе со шпинделем № 2). Рекомендуется всегда проводить измерения с установленной защитной рамкой. В случае, если из-за использования меньшего сосуда для пробы установка защитной рамки невозможна, необходимо помнить, что полученные значения динамической вязкости будут отличаться от подлинных. В этом случае необходима перекалибровка вискозиметра.

Считывание показаний вискозиметра. Вид дисплея вискозиметра с отображаемыми показаниями представлен на рисунке 2.2. Значения динамической вязкости снимают после стабилизации показаний, обычно после осуществления 5 оборотов шпинделя. При анализе структурированных жидкостей стоит помнить, что их вязкость может меняться при увеличении времени воздействия.

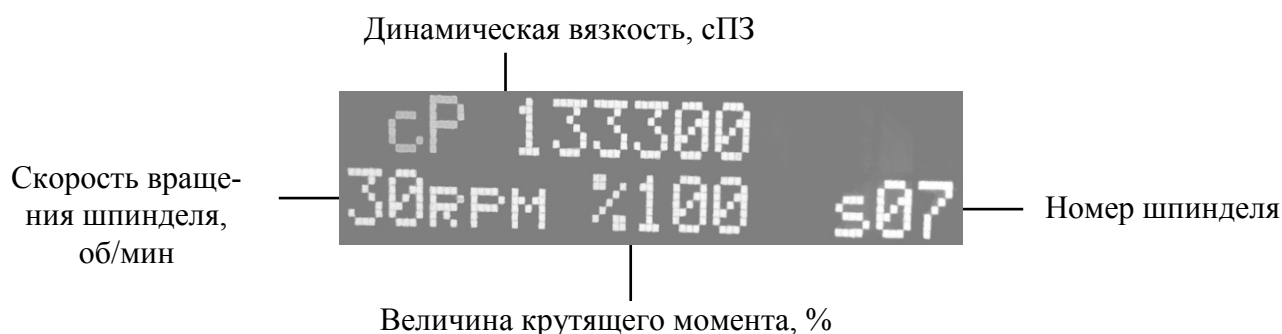


Рисунок 2.2 – Внешний вид дисплея вискозиметра Брукфильда

Погрешность измерений. Для всех вискозиметров Брукфильда гарантируется точность измерений $\pm 1\%$ от полной шкалы для данной комбинации шпиндель/скорость.

Порядок работы при измерении динамической вязкости с помощью вискозиметра Брукфильда.

1) Положение вискозиметра регулируют на штативе по пузырьковому уровню в верхней части прибора (пузырек должен быть в центре).

2) Устанавливают защитную рамку.

3) Шпиндель погружают в жидкость по центру сосуда. Для того, чтобы избежать захвата пузырьков воздуха, шпиндель погружают в жидкость под углом. Уровень жидкости в сосуде должен достигать середины канавки на валу шпинделя. В случае, если при погружении шпинделя структура пробы может быть разрушена, шпиндель погружают в сосуд в самой удаленной точке пробы и затем осторожно подводят в центр сосуда. Вал слегка приподнимают и, удерживая его одной рукой, другой наворачивают на вал шпиндель (левая резьба). Следует избегать приложения боковых усилий к валу прибора.

4) На панели прибора выбирают шпиндель (SELECT SPINDLE) и скорость вращения (SELECT SPEED). Включают двигатель (MOTOR ON) и после стабилизации показаний снимают значение вязкости.

5) При смене двигателя и/или пробы необходимо выключить мотор. При необходимости очистки шпинделя, его обязательно нужно отсоединить.

Ход работы. Измеряют динамическую вязкость предложенных пищевых продуктов при температурах 10, 20, 30 и 40 °С. Для термостатирования проб используют лабораторную баню. Результаты измерений представляют в виде $(\eta \pm \varepsilon)$ сПз, где ε составляет 1 % от верхнего предела диапазона измерений.

Полученные данные вносят в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Зависимость динамической вязкости пищевых продуктов от температуры

Образец	Условия измерения (номер шпинделя, скорость вращения)	Динамическая вязкость			
		t = 10 °C	t = 20 °C	t = 30 °C	t = 40 °C

Строят графики зависимости коэффициента динамической вязкости пищевых продуктов от температуры (рисунок 2.3).

Делают вывод о зависимости вязкости пищевых продуктов от температуры.

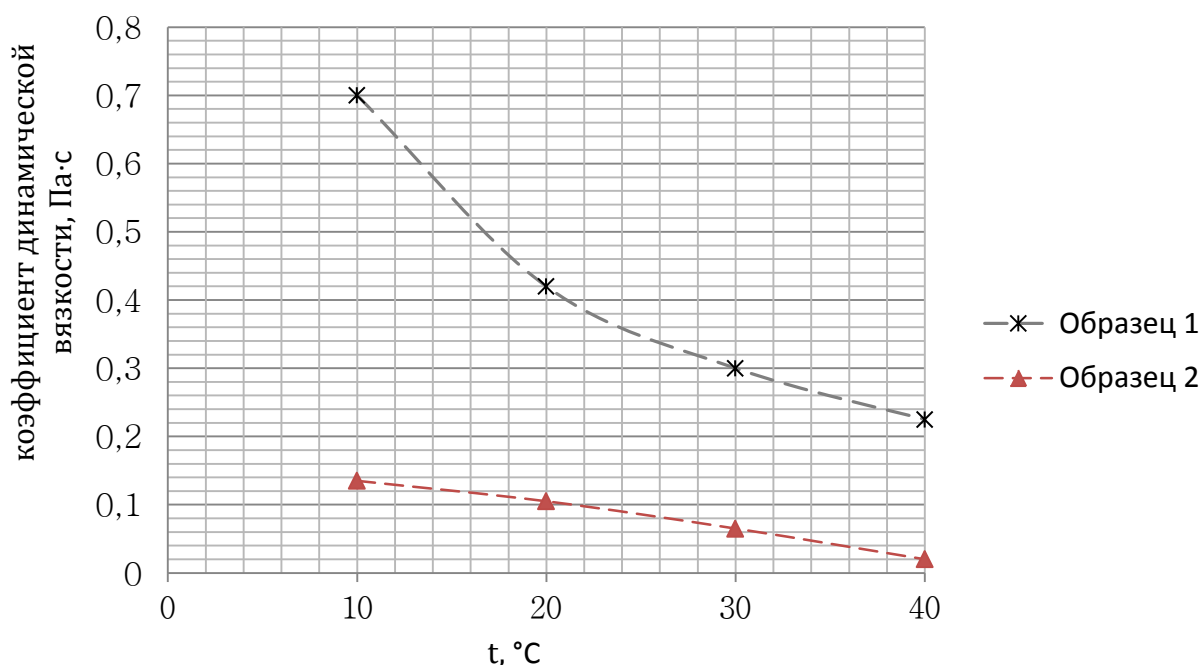


Рисунок 2.3 – Зависимость коэффициента динамической вязкости образцов пищевых продуктов от температуры

2.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ (СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ)

Ротационные вискозиметры позволяют измерять истинную или абсолютную вязкость, широко применяются почти во всех отраслях пищевой промышленности в технологических лабораториях предприятий, в научно-исследовательских организациях, в учебных заведениях. Вискозиметры служат для контроля качества исходного сырья, полуфабрикатов и готового продукта, а также для контроля технологических процессов.

В вискозиметрах с вращающимися роторами, в особенности при малом

зазоре между ними, характер течения продукта близок к простому сдвигу, что упрощает обработку опытных данных. Диапазон материалов, свойства которых контролируются на ротационных вискозиметрах, достаточно широк: сиропы, молоко, бражки, кремы, шоколад и конфетные массы при повышенной температуре, фарши, творожные массы и т.п.

Вискозиметры ротационного типа по сравнению с другими обладают рядом преимуществ, особенно при испытании материалов с большой вязкостью; они надежны в эксплуатации и могут применяться как для экспресс-измерений, так и для непрерывного измерения вязкости с целью регулирования технологического процесса. Обязательным условием процесса измерения является создание и поддержание в рабочем зазоре ламинарного движения продукта. Так как реологические характеристики пищевых материалов в значительной степени зависят от температуры, необходимо обеспечить контроль температуры продукта в измерительном зазоре, а также предусмотреть возможность стабилизации этой температуры. Конструкция вискозиметра должна быть удобной в работе, обеспечивать простоту заправки и очистки измерительного зазора.

Для получения достоверных данных необходимо, чтобы вискозиметр обладал высокой степенью надежности в работе. Обязательным требованием, предъявляемым к ротационным вискозиметрам, особенно индивидуального изготовления, является метрологическая обеспеченность поверки характеристик прибора.

Наряду со многими достоинствами ротационные вискозиметры имеют и недостатки, вызываемые тепловыделениями в слое испытываемой пищевой массы, находящейся в узком кольцевом зазоре. Поэтому необходимо работать в условиях, при которых выделение теплоты заведомо ничтожно, либо пользоваться методами пересчета экспериментальных данных с учетом тепловыделений.

Вязкость η (Па·с) продукта при сдвиге и момент на бесконечно длинном роторе связаны следующим образом:

$$\eta = K \cdot \frac{M}{\omega}, \quad (2.1)$$

где M – крутящий момент, Н·м;

K – постоянная прибора, зависящая от геометрических размеров и формы поверхностей, соприкасающихся с продуктом;

ω – угловая скорость внутреннего цилиндра, с⁻¹.

Из (2.1) следует, что для определения вязкости продукта необходимо

знать M , K и ω . Обычно для данного типоразмера воспринимающего элемента вискозиметра коэффициент K известен; задаются ω и определяют момент на воспринимающем элементе при помощи чувствительного элемента или задаются M (например, при помощи падающих грузов) и определяют угловую скорость.

Преобразовательные элементы ротационных вискозиметров можно условно разделить на следующие виды: воспринимающий — соприкасающееся с продуктом тело; чувствительный – устройство, уравнивающее момент на воспринимающем элементе; элемент отсчета – устройство, преобразующее сигнал чувствительного элемента в отклонение указателя регистрирующего прибора.

Точность вискозиметров оценивается методом подсчета погрешности измерения по воспроизводимости. Этот метод позволяет определить статические погрешности приборов. Однако практически контроль характеристик ротационных вискозиметров ведется по эталонным жидкостям, которые имеют стабильную зависимость вязкости от температуры.

Таковыми свойствами обладают трансформаторное масло, медицинское касторовое масло, глицерин. Из маловязких жидкостей стабильные вязкостные характеристики имеют этиловый и изопропиловый спирты.

Контрольные вопросы

- 1) К какому типу вискозиметров относится вискозиметр Брукфильда? Как он устроен?
- 2) Как осуществляется пробоподготовка для измерения вязкости с помощью вискозиметра Брукфильда?
- 3) Опишите порядок действий при измерении вязкости с помощью вискозиметра Брукфильда.
- 4) Как определяется погрешность измерения вязкости с помощью вискозиметра Брукфильда?

Лабораторная работа № 3
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТИКСОТРОПНЫХ СВОЙСТВ ПИЩЕВЫХ
ПРОДУКТОВ (4 Ч)**

Цель занятия: формирование знаний, умений и навыков при исследовании тиксотропных свойств пищевых продуктов.

Задания:

- 1) изучить теоретический материал, представленный в разделе 3.3;
- 2) измерить вязкость пищевых продуктов при действии постоянного однородного поля сдвига и построить графики зависимости вязкости пищевых продуктов от времени действия нагрузки;
- 3) рассчитать показатели, характеризующие тиксотропные свойства пищевых систем;
- 4) измерить вязкость пищевых продуктов при возрастании и убывании скорости сдвига, построить графики зависимости вязкости пищевых продуктов от скорости сдвига.

**3.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

Приборы и оборудование: ротационный вискозиметр Брукфильда с набором шпинделей и защитной рамкой; стаканы Гриффина объемом 600 мл (внутренний диаметр от 83 мм); термометр; термостат; водяная баня; секундомер.

Материалы и реактивы: продукты питания из растительного сырья (майонез, тесто с различной массовой долей жира, подсолнечное масло) или из сырья животного происхождения (сметана, йогурт с различной массовой долей жира, рыбный жир).

1. Установление тиксотропных свойств пищевых продуктов

Ход работы. Пробы пищевых продуктов термостатируют при 20 °С с помощью лабораторной бани. Затем измеряют динамическую вязкость с помощью ротационного вискозиметра Брукфильда (см. лабораторную работу № 2) следующим образом. Начинают измерения при низкой скорости вращения шпинделя и записывают показания прибора. Затем последовательно увеличивают скорость вращения до максимальной или до того, пока не будет достигнут верхний предел (крутящий момент больше 100 %). При каждом увеличении скорости записывают показания прибора. Затем, не выключая прибора, после-

довательно уменьшают скорость вращения вплоть до начального значения. Показания прибора записывают.

Полученные данные вносят в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Зависимость вязкости пищевых продуктов от скорости сдвига
Образец _____

Скорость вращения шпинделя, об/мин	6	10	12	...
Динамическая вязкость, сПз, при увеличении скорости вращения				
Динамическая вязкость, сПз, при уменьшении скорости вращения				
Тип жидкости				

По полученным значениям строят графики зависимости динамической вязкости от скорости сдвига (рисунок 3.1).

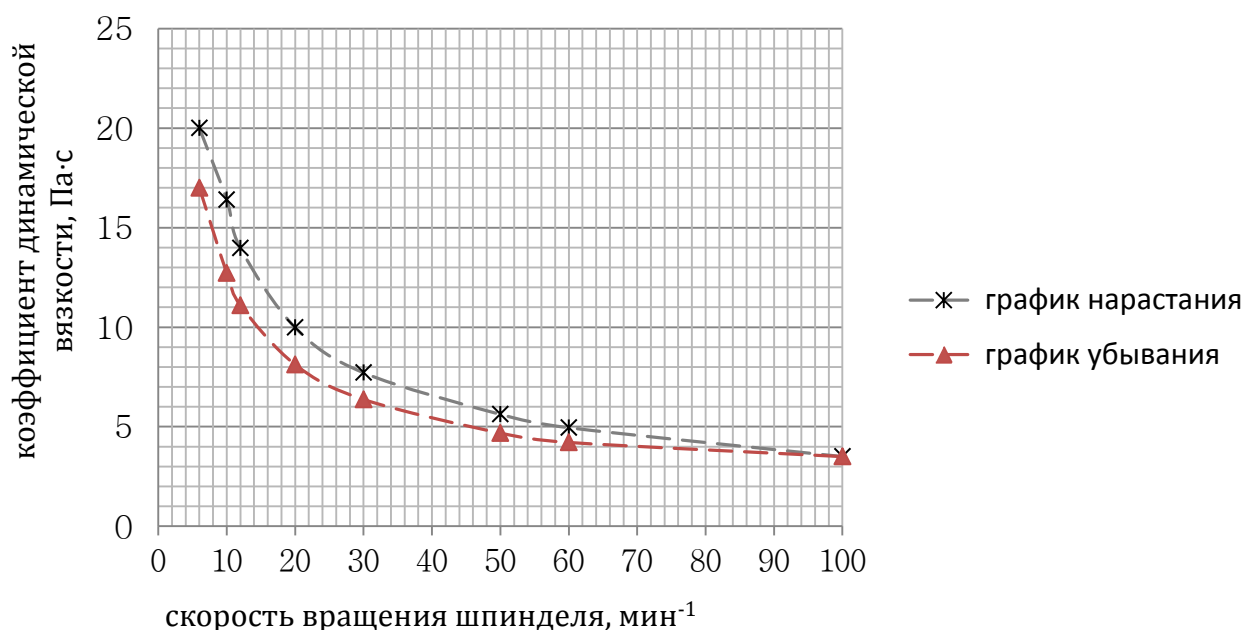


Рисунок 3.1 – Графики нарастания и убывания для тиксотропной жидкости

График, построенный по значениям, снятым при увеличении скорости сдвига, называется *графиком нарастания*. График, полученный по значениям при уменьшении скорости сдвига – *график убывания*. Взаимное расположение этих графиков характеризует свойства жидкости. Если графики совпадают, то свойства жидкости не зависят от времени действия нагрузки. Если график нарастания располагается выше графика убывания, то жидкость относится к

тиксотропным, если наоборот – к реопексным. Площадь между графиками нарастания и убывания свидетельствует о способности структуры к восстановлению. Чем эта площадь меньше, тем выше способность продукта к восстановлению структуры, а значит, тем больше выражены его тиксотропные свойства.

Делают вывод о свойствах исследованных жидкообразных пищевых продуктов.

2 Исследование зависимости структурно-механических свойств пищевых продуктов от массовой доли жира

Ход работы. Пробы пищевых продуктов с различной массовой долей жира термостатируют при 20 °С с помощью лабораторной бани. Затем измеряют динамическую вязкость с помощью ротационного вискозиметра Брукфильда при постоянном действии однородного поля сдвига в течение 2 мин. Значение вязкости фиксируют через каждые 15 сек. Затем вискозиметр выключают, пробу оставляют в покое и спустя 15 мин вновь измеряют коэффициент вязкости.

Полученные данные вносят в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Зависимость вязкости пищевых продуктов от времени

Образец	Условия измерения	Показания прибора										Через 15 мин	П _η , %	В _η , %
		0 с	15 с	30 с	45 с	60 с	75 с	90 с	105 с	120 с				

Строят графики зависимости вязкости жидкостей от температуры (рис. 3.2).

Рассчитывают показатели, характеризующие устойчивость пищевых систем к прилагаемой нагрузке, и их тиксотропные свойства:

коэффициент потерь вязкости, %:

$$P_{\eta} = \frac{\eta_n - \eta_p}{\eta_n} \cdot 100, \quad (3.1)$$

где η_n – начальная вязкость неразрушенной структуры продукта, Па·с;
 η_p – вязкость разрушенной структуры (через 2 мин), Па·с.

восстановление структуры, %:

$$B_{\eta} = \frac{\eta_{\text{в}}}{\eta_{\text{н}}} \cdot 100, \quad (3.2)$$

где $\eta_{\text{в}}$ – вязкость восстановленной структуры пищевого продукта (через 15 мин).

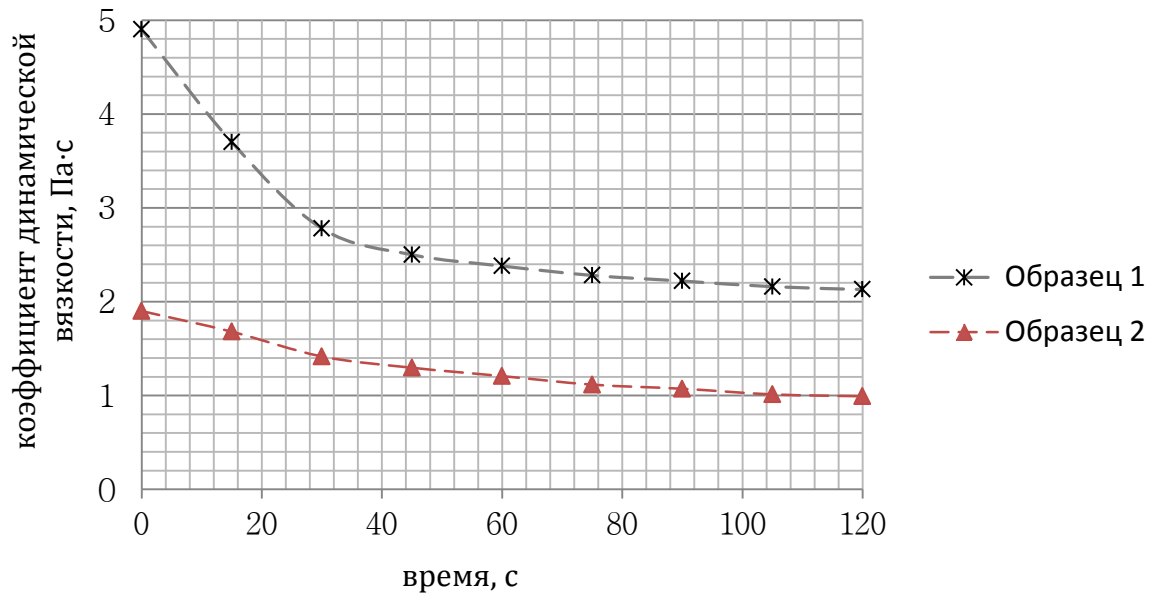


Рисунок 3.2 – Зависимость коэффициента вязкости от времени

Делают вывод о влиянии массовой доли жира на устойчивость пищевых продуктов к механической нагрузке и на способность к восстановлению структуры.

3.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ (СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ)

Для некоторых жидкостей характерно изменение вязкости со временем даже при постоянных условиях измерения.

Для вязкости *тиксотропных* жидкостей характерно уменьшение со временем при постоянной скорости сдвига. Для вязкости *реопексных* жидкостей характерно увеличение со временем при постоянной скорости сдвига (рисунок 3.3). Зависимость от времени может быть различная. Некоторые жидкости достигают конечной вязкости за несколько секунд, другие – за несколько дней. Реопексные жидкости встречаются очень редко, к тиксотропным же относятся многие пищевые системы, например, структурированные продукты, такие, как сметана, йогурт.

Если для тиксотропной жидкости провести измерения при разных скоростях сдвига, можно получить графики, подобные графикам на рисунке 3.4. Ско-

рость сдвига возрастает до некоторой величины, а затем резко падает до начальной. При этом две кривые не совпадают. Такая *петля гистерезиса* связана с тем, что вязкость жидкости уменьшается с увеличением скорости сдвига. Этот эффект может быть обратимым или необратимым.

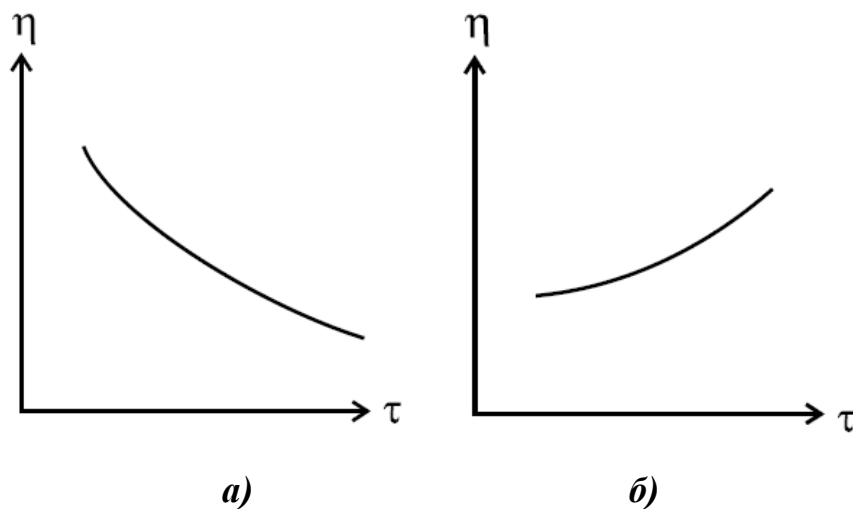


Рисунок 3.3. – Зависимость вязкости от времени для тиксотропной (а) и реопексной (б) жидкости

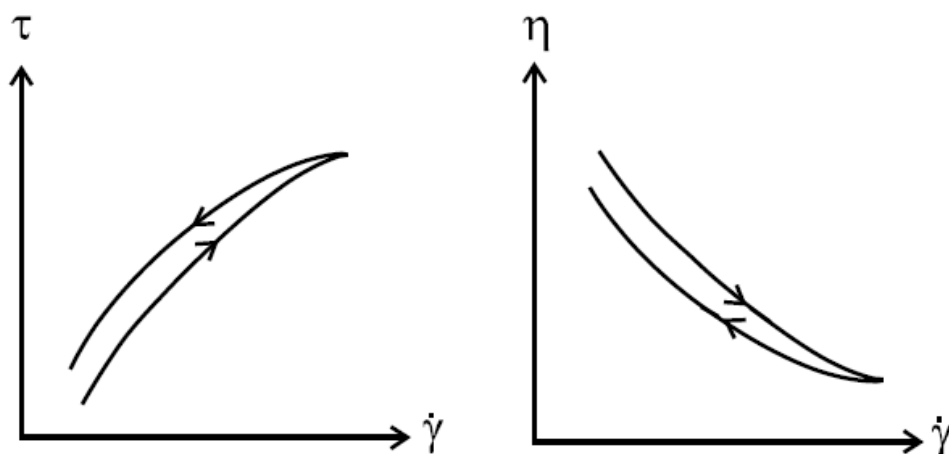


Рисунок 3.4 – Кривые гистерезиса тиксотропной жидкости

Простейший анализ тиксотропных и реопексных жидкостей на ротационном вискозиметре заключается в снятии показаний вязкости через определенные промежутки времени и построении соответствующей зависимости. При этом важно постоянно контролировать температуру, чтобы ее колебания не повлияли на показания.

Другой способ заключается в построении двух графиков зависимости показаний вискозиметра от скорости вращения (при одном и том же шпинделе): графика нарастания и графика убывания. По взаимному расположению двух кривых можно сделать вывод о наличии тиксотропных и реопексных свойств

жидкости. Для тиксотропных график нарастания расположен выше графика убывания, для реопексных – наоборот.

Отдельно можно определить длительность восстановления свойств жидкости, то есть через какой промежуток времени после приложения сдвига вязкость возвращается к начальной величине. Для определения этого параметра выключают мотор вискозиметра после завершения графика убывания, выжидают заданное время, затем включают мотор и сразу выполняют измерение.

Более продвинутый метод анализа заключается в вычислении *коэффициента тиксотропности*. Это число характеризует степень тиксотропности (или реопексности) жидкости. Для определения коэффициента выполняют ряд измерений (с одним шпинделем при постоянной скорости) через одинаковые промежутки времени. Затем строят график зависимости показаний прибора от логарифма времени. Как правило, график представляет собой прямую линию.

Коэффициент тиксотропности определяется по формуле 3.3.

$$Tb = \left(\frac{St_1 - St_2}{\ln \left(\frac{t_2}{t_1} \right)} \right) \cdot F , \quad (3.3)$$

где St_1 – показания прибора ко времени t_1 ;

St_2 – показания прибора ко времени t_2 ;

F – коэффициент вискозиметра для данной комбинации шпиндель/скорость.

Изучение изменений характеристик жидкости со временем также можно использовать для предсказания вероятности образования геля. Один из способов заключается в построении графика зависимости логарифма показаний прибора от времени при одной комбинации шпиндель/скорость. Если график имеет крутой наклон, весьма вероятно образование геля. Если график «выгибается», образование геля маловероятно.

Другой способ заключается в построении графика зависимости времени от обратной величины показаний прибора при одной комбинации шпиндель/скорость. Точка образования геля примерно соответствует пересечению графика с осью показаний вискозиметра. Для жидкостей, не склонных к образованию гелей, график асимптотически приближается к оси.

Контрольные вопросы

- 1) Какое поведение характерно для тиксотропных и реопексных жидкостей при действии на них нагрузки?
- 2) Чем обусловлено тиксотропное и реопексное поведение жидкостей?
- 3) Что такое кривые гистерезиса?
- 4) Приведите примеры тиксотропных и реопексных жидкостей.
- 5) С помощью каких коэффициентов можно охарактеризовать устойчивость тиксотропной структуры к внешнему воздействию?
- 6) Какие существуют подходы при исследовании тиксотропных и реопексных свойств жидкостей с помощью ротационного вискозиметра?

Лабораторная работа № 4
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С ПОМОЩЬЮ ПЕНЕТРОМЕТРА (4 Ч)

Цель занятия: формирование знаний, умений и навыков по работе с пенетрометром при определении структурно-механических свойств пищевых продуктов.

Задания:

- 1) изучить теоретический материал, представленный в разделе 4.2;
- 2) изучить устройство и порядок работы с пенетрометром;
- 3) определить степень пенетрации пищевых продуктов игольчатым индентором;
- 4) определить предельное напряжение сдвига пищевых продуктов при пенетрации их коническим индентором.

4.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Приборы и оборудование: пенетрометр ручной К19500 с набором чаш, грузов, игольчатым и коническим инденторами; шпатель; секундомер; транспортер; кастрюля; электрическая плитка.

Материалы и реактивы: пищевые продукты из растительного сырья (плоды и овощи, спред, бисквиты) или из сырья животного происхождения (мясной фарш, сливочное масло, мясо).

На рисунке 4.1 представлено устройство ручного пенетрометра модели К19500. Пенетрометр позволяет определить структурно-механические свойства твердообразных пищевых продуктов путем измерения глубины проникновения в них индентора.

Порядок работы с пенетрометром.

- 1) Положение прибора регулируют на столе с помощью винтов (13). При этом пузырек должен находиться в центре индикатора уровня (12).
- 2) В нижнюю часть плунжера (1) устанавливают индентор и закрепляют его с помощью фиксирующего винта (6).
- 3) Образец пищевого продукта помещают в пенетрационную чашку, выравнивают толщину по верхнему краю чашки. Чашку помещают на столик пенетрометра и центрируют.

4) При необходимости закрепляют дополнительные грузики (50 и 100 г) на (7).

5) Острые индентора подводят к поверхности образца с помощью регулирующей ручки (8). Острые индентора должно слегка касаться поверхности продукта.

6) Для того, чтобы начать испытание и опустить плунжер с индентором, нажимают кнопку (2) и удерживают какое-то время в зависимости от методики испытания. Затем кнопку отпускают, тем самым фиксируя положение плунжера.

Спускают рейку кремальеры (5) на основание плунжера и считывают показания по индикатору (3). Результаты измерения в градусах выражают в мм ($1^\circ=0,1$ мм).

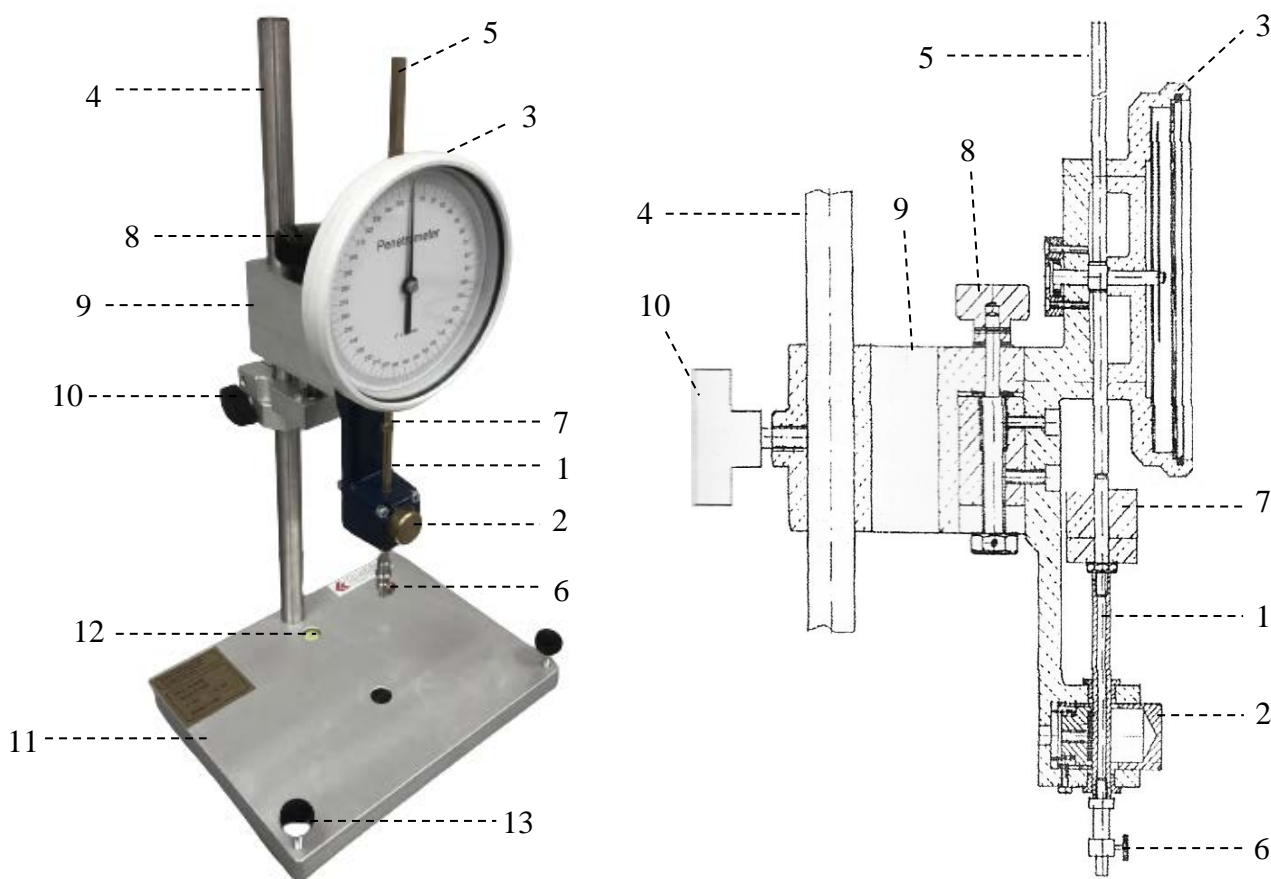


Рисунок 4.1 – Ручной пенетромтр K19500:

1 – плунжер; 2 – кнопка регулировки положения иглы; 3 – индикатор часового типа для определения глубины проникания иглы с точностью до 0,1 мм; 4 – стержень; 5 – рейка кремальеры; 6 – фиксирующий винт, крепящий иглу или конус к плунжеру; 7 – место для размещения грузов; 8 – регулирующая ручка; 9 – корпус прибора; 10 – винт, фиксирующий положение прибора на стержне; 11 – столик; 12 – индикатор уровня; 13 – винты для регулировки уровня прибора

1. Определение степени пенетрации пищевых продуктов игольчатым индентором

Ход работы. Пенетрация игольчатым индентором подходит для исследования твердообразных пищевых продуктов.

В плунжер пенетрометра устанавливают игольчатый индентор, размещают дополнительные грузы 50 и 100 г. Суммарная масса приложенной нагрузки к исследуемому продукту определяется как масса плунжера (47 г) с иглой и грузами.

Исследуют глубину пенетрации продуктов из растительного сырья (плодов, овощей, бисквитов, спредов).

Исследуют глубину пенетрации мяса вдоль и поперек волокон в сыром виде и после термической обработки.

Продолжительность пенетрации (время удерживания кнопки) может различаться для пищевых продуктов. Например, пенетрацию мяса проводят в течение 180 с.

Полученные данные вносят в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Глубина пенетрации пищевых продуктов игольчатым индентором

Образец	Общая масса плунжера с индентором и дополнительными грузами, г	Время пенетрации, с	Глубина пенетрации, мм

Делают вывод о влиянии различных факторов (тепловой обработки, свежести, состава и т.д.) на глубину пенетрации пищевых продуктов.

2. Определение предельного напряжения сдвига пищевых продуктов при пенетрации их коническим индентором

Ход работы. Пенетрация коническим индентором подходит для исследования вязкопластичных пищевых систем, например, мясного фарша, сливочного масла.

Образец фарша помещают в пенетрационную чашу, выравнивая шпателем толщину слоя по размеру чаши. В плунжер пенетрометра закрепляют конический индентор. Выбирают индентор с наименьшим углом при вершине, например, $\alpha=30^\circ$. Продолжительность погружения индентора составляет 30-180 с. Для правильного измерения глубина погружения конуса $h_{\text{конус}}$ в продукт высотой h должна удовлетворять условию $0,33h \leq h_{\text{конус}} \leq 0,75h$. Если по-

гружение происходит на большую величину, необходимо выбрать конус с большим углом при вершине.

Предельное напряжение сдвига, Па, рассчитывают по формуле:

$$\theta_0^H = \frac{K_\alpha \cdot m \cdot g}{h^2}, \quad (4.1)$$

где K_α – константа конуса;

m – масса конуса вместе с плунжером, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

h – глубина погружения конуса в продукт, м.

Константу конуса принимают в соответствии с таблицей 4.3.

Полученные данные вносят в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Предельное напряжение сдвига пищевых продуктов

Образец	Общая масса плунжера с индентором и дополнительными грузами, г	Угол α при вершине конуса	Время пенетрации, с	Глубина пенетрации, мм	Предельное напряжение сдвига, Па

Делают вывод о влиянии состава пищевых продуктов на предельное напряжение сдвига при пенетрации.

4.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ (СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ)

Пенетрацией называется метод исследования структурно-механических свойств полутвердых и твердых пищевых продуктов путем определения сопротивления продуктов проникновению в них инденторов (конус, шар, игла, цилиндр) со строго определенными размерами, массой, материалом при точно определенной температуре за определенное время.

При исследовании продукта на пенетрометре можно определить степень пенетрации или предельное напряжение сдвига. *Предельное напряжение сдвига* – это такое напряжение, при котором в материале, проявляющем упругие свойства, начинаются сдвиговые деформации (пластическое течение). Для некоторых пищевых продуктов, например, мясного фарша, предельное напряжение сдвига является характеристикой, наиболее чувствительной к изменению тех-

нологических режимов, а потому может быть использовано для оценки их качества.

Приборы, с помощью которых определяется пенетрация, называются пенетрометрами. По измеряемым и фиксируемым величинам они подразделяются на три группы:

- с постоянным усилием пенетрации F (при этом определяется глубина пенетрации h);
- с постоянной глубиной погружения h (измеряется усилие F);
- с постоянной скоростью погружения (регистрируется усилие в зависимости от глубины погружения).

Метод погружения конуса для измерения структурно-механических свойств вязко-пластических тел предложен П.А. Ребиндером и Н.А. Семененко. Согласно теории конических пластометров, разработанной академиком П.А. Ребиндером, процесс погружения конуса в продукт представляет следующее. За начальное граничное условие принята точка касания вершины конуса с поверхностью продукта. При этом его движение во время испытаний должно быть строго вертикальным. Кинетика погружения конуса характеризуется кривой и представлена на рисунке 4.2. В момент начала погружения конуса в продукт напряжение бесконечно велико (площадь касания равна нулю), а ускорение соответствует ускорению силы тяжести. Поскольку сила, действующая на конус (равна массе подвижных частей системы), за все время погружения остается постоянной, а площадь соприкосновения конуса с продуктом увеличивается, то напряжение сдвига в системе конус-продукт уменьшается.

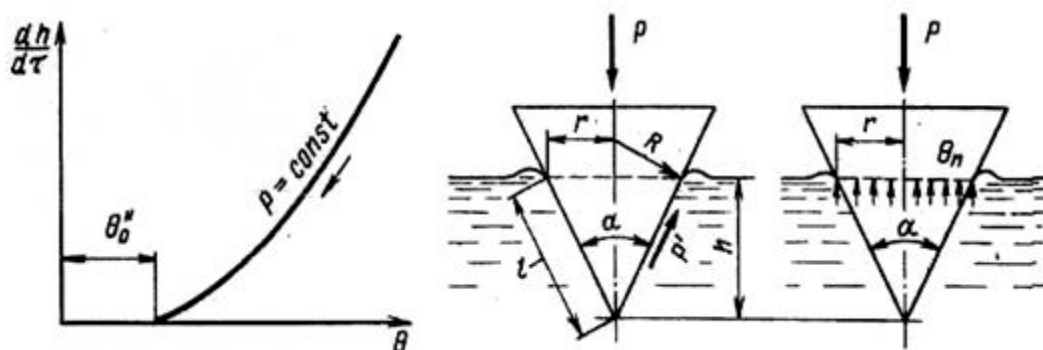


Рисунок 4.2 – Погружение конуса в продукт

При остановке конуса ($dh/dt = 0$) погружение будет предельным, и внешняя сила уравнивается пластической прочностью структуры. Для этого случая отсчитывается предельное напряжение сдвига (отношение силы у «смоченной» части боковой поверхности конуса) или предельное давление (отношение силы к горизонтальной площади сечения конуса, которое проходит по

поверхности продукта). Выталкивающей силой продукта (Архимедова сила) пренебрегают вследствие ее малости.

При определении предельного напряжения сдвига предполагается, что продукт течет вдоль образующей поверхности конуса. Условия равновесия сил на поверхности конуса можно получить, проектируя на образующую конуса l движущую силу P и приравнивая ее силе сопротивления P' :

$$P' = P \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (4.2)$$

Предельное напряжение сдвига θ_0^H , Па, представляет собой отношение силы сопротивления P' вдоль боковой поверхности конуса к площади F этой поверхности:

$$\theta_0^H = \frac{P'}{F} = \frac{P \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\pi \cdot r \cdot l} = \frac{K_\alpha \cdot m \cdot g}{h^2}, \quad (4.3)$$

где K_α – константа конуса;

α – угол при вершине конуса, град;

m – масса конуса вместе с плунжером, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

h – глубина погружения конуса в продукт, м.

Таблица 4.3 – Константы конусов по данным разных исследователей

Угол при вершине конуса (α)°	30	40	45	60	90
Константа конуса по данным П.А. Ребиндера, Б.Я. Ямпольского	1,109	0,658	0,413	0,159	0,0459
Константа конуса по данным Н.Н. Аграната, М.П. Воларовича, М.Ф. Широкого	0,959	0,416	0,214	0,073	0,0217
Константа конуса по данным В.А. Арета	0,456	0,268	0,164	0,0657	0,0209

Значения константы конуса, полученные разными учеными, отличаются в связи с использованием разных формул для расчета данной константы с целью получить результаты инвариантные по отношению к геометрии конусов, т.е. снизить влияние угла α при вершине конуса.

Контрольные вопросы

- 1) Что такое пенетрация?
- 2) Опишите устройство и порядок действий при работе с пенетрометром.
- 3) Какие типы инденторов используются при определении структурно-механических свойств пищевых продуктов?
- 4) Что такое предельное напряжение сдвига? Как оно определяется?
- 5) Каким образом величина предельного напряжения сдвига зависит от геометрической формы индентора?

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗАТОРА ТЕКСТУРЫ СТЗ (4 Ч)

Цель занятия: формирование знаний, умений и навыков по работе с анализатором структуры СТЗ при изучении поверхностных и структурных свойств пищевых продуктов.

Задания:

- 1) изучить теоретический материал, представленный в разделе 5.2;
- 2) изучить устройство и порядок работы с анализатором текстуры СТЗ;
- 3) изучить влияние усилия и продолжительности контакта зонда с адгезивом на величину адгезии, построить графики соответствующих зависимостей;
- 4) получить кривые консистенции пищевых продуктов и описать их.

5.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Приборы и оборудование: анализатор текстуры *Brookfield* СТЗ; набор зондов; контейнер для образцов; шпатель.

Материалы и реактивы: пищевые продукты из растительного сырья (джемы, тесто, тертый хрен, майонез) или из сырья животного происхождения (мясной фарш, паштет, творог, сметана).

Принцип работы анализатора текстуры (рис. 5.1) заключается в том, что образец подвергается действию контролируемых сил при сжатии с использованием зонда (индентора). Сопротивление материала этим силам измеряется с помощью калиброванного динамометрического датчика и отображается в граммах или Ньютонах. Эти силы являются функцией свойств образца и параметров метода испытания.

Для управления прибором используются две клавиши и ручка, расположенные на панели управления.

Клавиша RESET/STOP (Сброс/Остановка) – служит для остановки выполняемого испытания и возврата в исходное положение.

Клавиша START (Пуск) – служит для запуска испытания. Во время погружения зонда, перед пороговой точкой, эту клавишу можно использовать для увеличения скорости погружения.

Ручка SELECT/SCROLL (Выбор/Прокрутка):

- следует нажать, чтобы выбрать текущий выделенный параметр;
- следует повернуть, чтобы изменить значение выбираемого параметра;
- нажатие на ручку во время испытания позволит вывести на дисплей параметры испытания;
- нажав ручку при включении питания, можно переключать единицы отображения нагрузки между граммами и Ньютонами.

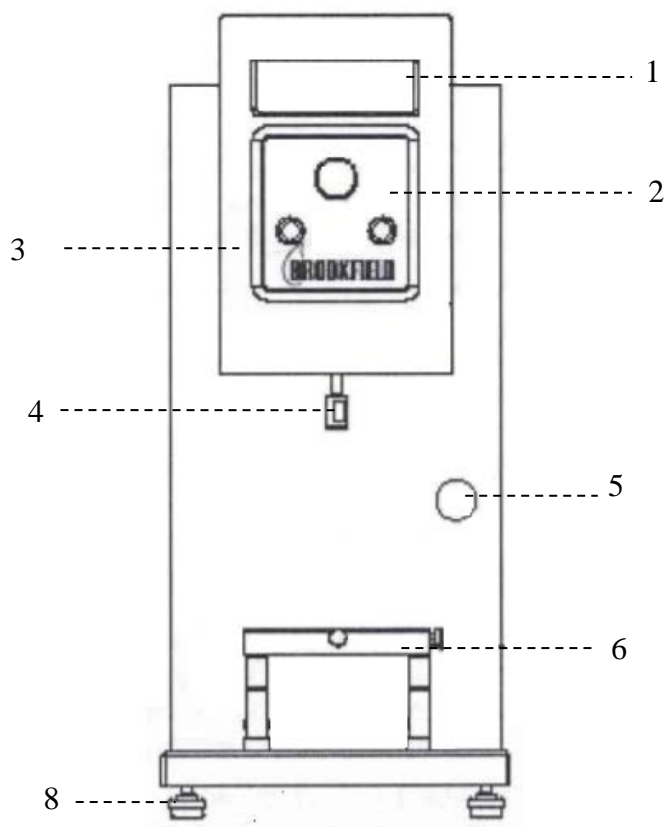


Рисунок 5.1 – Анализатор текстуры СТЗ:

1 – дисплей; 2 – панель управления; 3 – измерительная головка; 4 – адаптер для зондов; 5 – аварийная остановка прибора; 6 – столик для размещения образца; 7 – крепление столика; 8 – ножки

1. Исследование адгезии пищевых продуктов

Порядок работы с анализатором текстуры СТЗ при исследовании адгезии пищевых продуктов.

1) Прибор включают, для этого нажимают кнопку на задней поверхности.

2) Образец помещают в контейнер для испытания, поверхность тщательно выравнивают шпателем. Образец может быть намазан тонким слоем на пластинку. В этом случае также необходимо тщательно выровнять поверхность шпателем. Пластинку или контейнер помещают на измерительный столик.

3) Выбирают зонд. Для изучения явления адгезии используют цилиндрический зонд из нержавеющей стали. Зонд наворачивают на адаптер для зонда.

4) Испытание ведут в режиме TARGET HOLD (Удержание цели), при этом продукт находится заданное время под действием заданной нагрузки. На дисплее устанавливают следующие значения (рис. 5.2):

TRGT HLD (Удержание цели) – время действия нагрузки на продукт, с;

TRIGGER (Нагрузка) – нагрузка в граммах, которая указывает, что зонд находится в контакте с образцом. После достижения порогового значения начинается испытание с заданной скоростью. Рекомендуемое значение для СТЗ составляет 10 г.;

TRGT LOAD (Целевая нагрузка) – нагрузка на образец, которая будет поддерживаться заданное время, г.;

SPEED (Скорость) – скорость, с которой будет перемещаться зонд. Рекомендуемое значение составляет 0,5 мм/с.

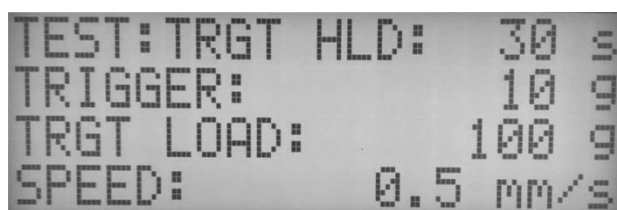


Рисунок 5.2 – Внешний вид дисплея анализатора текстуры СТЗ с заданными параметрами испытания в режиме TARGET HOLD

5) Нужный режим испытания выводят на экран с помощью ручки SELECT/SCROLL и подтверждают выбор нажатием на ручку. После выбора режима испытания курсор переместится на первый параметр. Можно либо выбрать этот параметр, чтобы ввести новые значения, нажав на ручку SELECT/SCROLL, либо перейти к следующему параметру, вращая ручку. При вводе данных каждая цифра задается отдельно.

6) После установки параметров испытания нажимают кнопку START 3 раза, после чего испытание начинается.

Внимание! Следует исключить влияние внешних факторов на зонд во время испытания. Запрещается касаться руками движущегося зонда, подсовывать под него пальцы и посторонние предметы. В случае возникновения проблем при работе с анализатором текстуры используют кнопку аварийной остановки.

7) По окончании испытания на дисплее отображаются результаты измерения: DIST START (Расстояние, преодоленное зондом в образце до достиже-

ния TRIGGER; DIST END (Общее расстояние, преодоленное зондом в образце); DEFORMATION (Деформация – расстояние, преодоленное зондом в образце под действием постоянной нагрузки), мм; ADH. FORCE (Адгезионная сила), г; ADHESION (Адгезия), мДж (рис. 5.3). Для просмотра всех результатов поворачивают ручку SELECT/SCROLL.

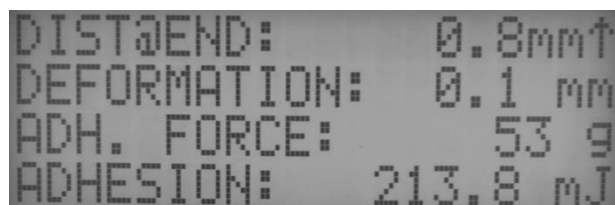


Рисунок 5.3 – Внешний вид дисплея анализатора текстуры СТЗ с результатами испытания в режиме TARGET HOLD

8) По окончании испытаний снимают зонд, промывают его и вытирают салфеткой. Прибор выключают с помощью кнопки на задней поверхности.

Ход работы. Исследуют величину адгезии пищевых продуктов к зонду анализатора текстуры в зависимости от их состава (например, массовой доли жира в продукте). Изменяют также условия испытания, увеличивая продолжительность контакта субстрата с адгезивом с 10 с до 120 с, а также приложенную нагрузку с 20 г до 150 г. После каждого испытания образец тщательно перемешивают и выравнивают поверхность шпателем. В противном случае поверхность пищевого продукта может подсыхать и уплотняться, что приведет к снижению адгезионной способности.

Полученные данные вносят в таблицы 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Зависимость величины адгезии от продолжительности контакта субстрата с адгезивом

Объект	Масса контакта, г	Адгезия, г, при продолжительности контакта:							
		5 с	10 с	20 с	30 с	50 с	60 с	90 с	120 с
...									

Таблица 5.2 – Зависимость величины адгезии от массы контакта субстрата с адгезивом

Объект	Продолжительность контакта, с	Адгезия, г, при массе контакта:						
		20 г	40 г	60 г	90 г	100 г	120 г	150 г
...								

Строят графики зависимости величины адгезии в г от продолжительности контакта и от приложенной нагрузки (рис. 5.4, 5.5).

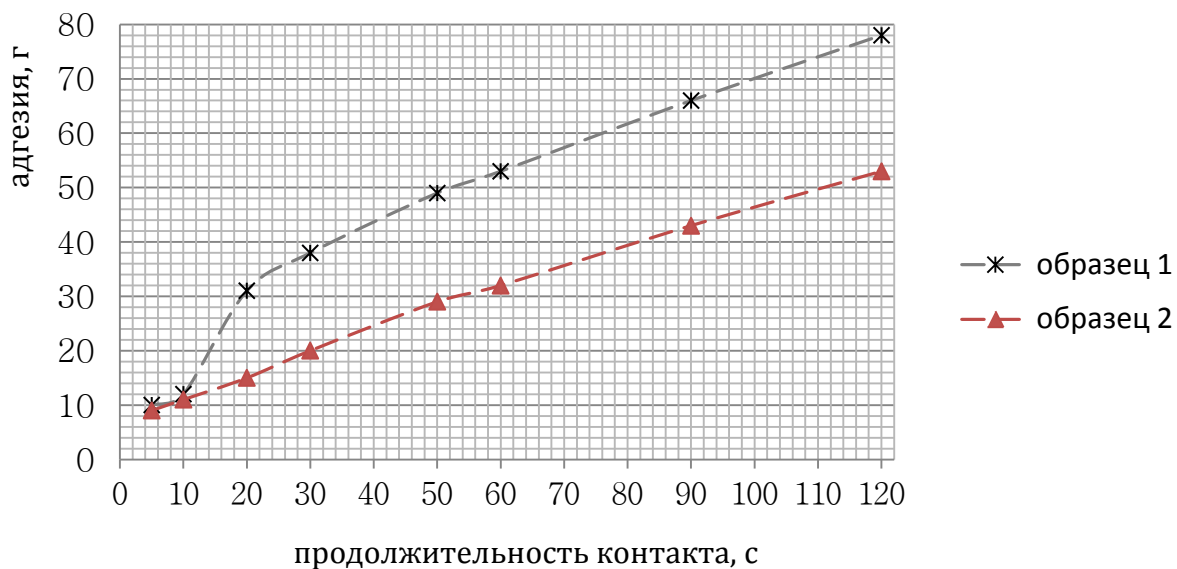


Рисунок 5.4 – Зависимость величины адгезии от продолжительности контакта зонда с адгезивом

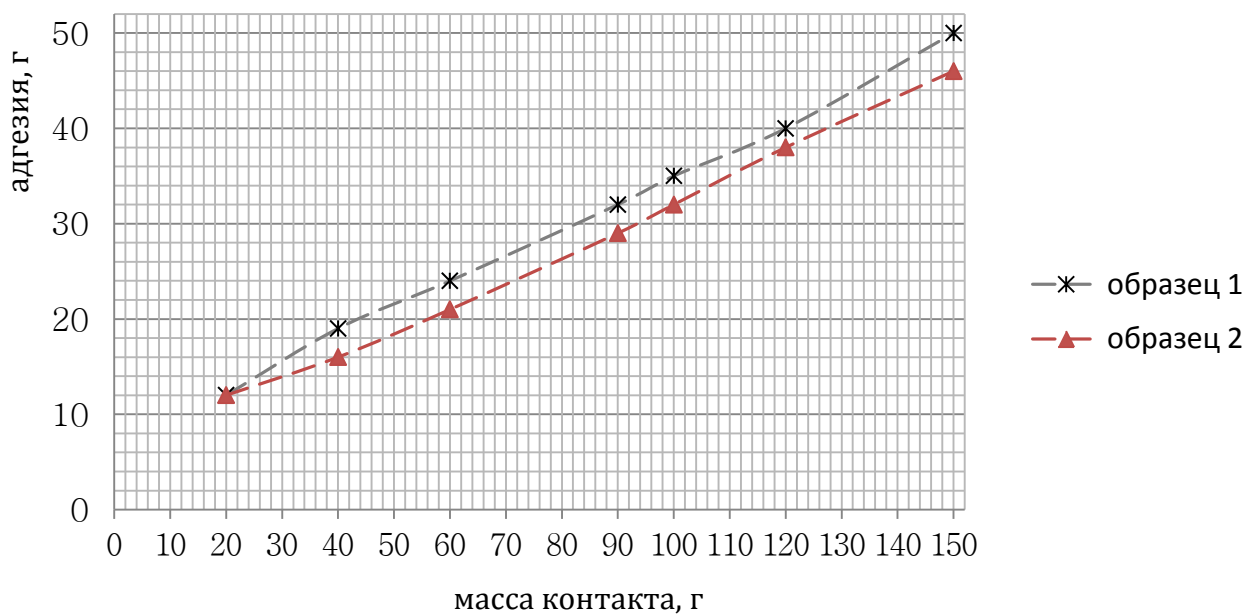


Рисунок 5.5 – Зависимость величины адгезии от массы контакта зонда с адгезивом

2. Исследование структурных свойств пищевых продуктов

Для получения данных о консистенции пищевых продуктов используют прикладное программное обеспечение TexturePro СТ. Анализатор текстуры подключают к компьютеру с помощью кабеля и переводят в режим работы REMOTE.

Испытание ведут при следующих параметрах:

Test Type (Тип теста): Compression (Сжатие)

Test Target (Целевой параметр): Distance (Дистанция)

Target Value (Целевое значение, дистанция зонда): mm, зависит от исследуемого объекта

Trigger Load (Пусковая нагрузка): 10 g

Test Speed (Скорость теста): 1,00 mm/s

Суть испытания заключается в том, что оценивается прочность и консистенция пищевого продукта при проникновении в него зонда на определенную глубину (Distance). В результате получают кривую, характеризующую консистенцию продукта (рис. 5.6).

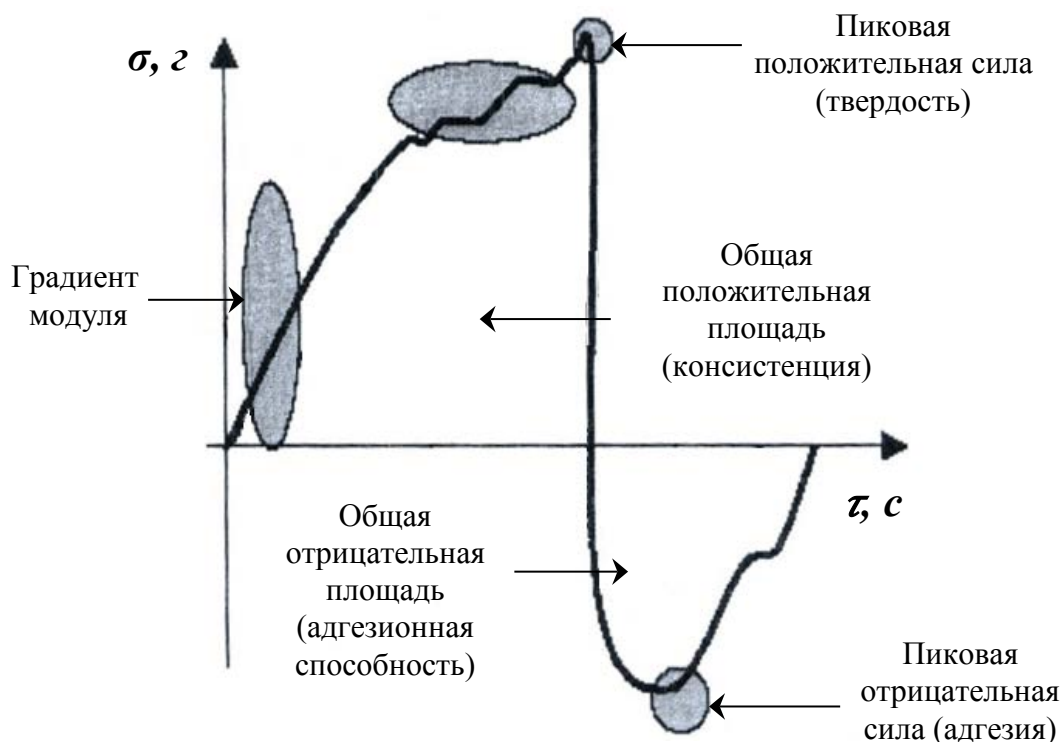


Рисунок 5.6 – Кривая консистенции пищевого продукта, полученная на анализаторе текстуры СТЗ

Когда достигается поверхностный предел 10 г, зонд продолжает вдавливать в образец на заданную глубину. Образец при этом деформируется, сжимается, усилие при этом неуклонно увеличивается и начинается экструзия. Когда усилие увеличивается до максимальной точки, наблюдается плато. Максимальное положительное усилие на графике характеризует прочность (твердость) образца. Когда зонд возвращается в исходное положение, начальный подъем веса образца составляет отрицательную часть графика. Это дает представление об адгезии/когезии образца и сопротивлению образца стеканию с поверхности зонда. Максимальное отрицательное усилие на графике указывает на силу сцепления образца. Чем выше значение, тем больше энергии требуется для разрыва контакта зонда с образцом при извлечении зонда.

Ход работы. Исследуют консистенцию предложенных пищевых продуктов, получают кривые консистенции и описывают их. Делают вывод о влиянии различных факторов (свежести, содержания жира и т.д.) на консистенцию пищевых продуктов.

5.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ (СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ)

Адгезией, или *прилипанием*, называют явление, которое возникает при контакте двух разнородных тел. Этот контакт происходит на границе раздела фаз. Адгезия относится к поверхностным явлениям. Она характеризует связь между двумя телами; для нарушения этой связи необходимо внешнее воздействие. Адгезия возникает при контакте двух твердых тел, а также при контакте жидкостей с твердыми телами. Она определяет связь пищевых масс с поверхностями технологического оборудования (емкости, транспортеры, трубопроводы, арматура) и выступает как сопутствующее явление по отношению практически ко всем пищевым массам. Адгезия наблюдается на всех стадиях технологического процесса: при транспортировке и переработке сырья, на промежуточных стадиях, при упаковке и хранении готового продукта и т.д.

Величину адгезии двух тел принято характеризовать: силой отрыва; удельной работой отрыва, отнесенной к единице площади; временем, необходимым для нарушения связи между субстратом и адгезивом под действием определенной нагрузки. Часто адгезию характеризуют минимальной силой, необходимой для отрыва. Эту величину называют адгезионной прочностью, адгезионным давлением (напряжением), давлением прилипания или удельным прилипанием.

При сенсорной или инструментальной оценке качества пищевых продуктов часто определяют их консистенцию и текстуру.

Консистенция – степень плотности, твердости продукта. В зависимости от консистенции продукты по-разному деформируются при избранных видах нагрузки и скорости. Воспроизводимость характерных показателей, полученных при измерении консистенции, гарантирована только в том случае, если все условия измерения постоянны, особенно форма образца и его размеры, вид нагружения и его скорость. Результаты измерений обычно даются в относительных единицах, характерных для применяемого прибора. Обобщение результатов на другие условия измерения невозможно, так как консистенция отражает реологическое свойство в форме, трудно поддающейся математической обработке. При реометрическом анализе деформационные свойства материала, связанные с консистенцией, можно достаточно полно описать реологическими характеристиками или уравнениями состояния.

Сенсорная оценка консистенции, которую можно характеризовать как эмпирическую характеристику деформационного поведения материала, была известна до широкого применения реологического анализа и используется до настоящего времени. Причиной этого является простота и высокая скорость измерений, невысокие требования к приборам и процедурам обработки данных.

Показатели в достаточной мере отражают анализируемые реологические свойства, обеспечивают быстрый контроль пищевых продуктов относительно соответствия или отклонения того или иного параметра от номинального значения.

Пищевые продукты и сырье представляют собой неустойчивые дисперсные системы, часто подвергающиеся быстрым изменениям, влияющим на реологические свойства, поэтому оценка консистенции в некоторых случаях может быть единственным методом реологического анализа.

Пищевые продукты, помимо консистенции, обладают текстурой.

Текстура – физико-структурные свойства вещества, в частности продукта, воспринимаемые органами слуха, зрения и осязания и вызывающие у человека определенные ощущения при потреблении (откусывании, разжевывании, проглатывании). Комплекс ощущений при потреблении пищи, который называется органолептическим, приводит потребителя к предпочтению или отказу от пищевых продуктов. Для создания высококачественных пищевых продуктов необходимо целенаправленно воздействовать на их органолептические свойства. Консистенция и вязкость относятся к текстуре и представляют собой два из множества возможных ее отличительных признаков.

При анализе текстуры определяют кинестетические признаки продукта, связанные с мышечными ощущениями. Инструментальные измерительные методы для определения отдельных кинестетических признаков можно разделить на три группы:

1) методы точного измерения реологических величин – коэффициента вязкости, предела текучести, модуля упругости, прочности на растяжение и др.;

2) эмпирические методы, при которых продукты подвергаются воспроизводимой деформации или нагрузке при помощи измерительных приборов, не позволяющих точно определить реологические свойства. Результаты измерений представляют собой параметры консистенции. Они хорошо коррелируют с признаками текстуры, полученными при органолептической оценке;

3) имитационные методы, при которых пищевые продукты в специальных измерительных приборах подвергаются испытаниям, имитирующим реальные нагрузки при приеме пищи, например с помощью циклических нагрузок имитируется процесс разжевывания пробы. Цель такого анализа текстуры – измерение параметров, которые соответствуют признакам текстуры продукта, полу-

ченными сенсорными методами. Это предполагает полное совпадение вида нагрузки, скорости деформации, температуры и других факторов испытания.

Контрольные вопросы

- 1) Опишите устройство и порядок действий при работе с анализатором текстуры СТЗ.
- 2) Что такое адгезия? Какова роль адгезии в технологических процессах?
- 3) Как можно измерить величину адгезии между двумя телами?
- 4) Какие параметры оказывают влияние на величину адгезии между двумя телами?
- 5) Что такое консистенция и текстура продукта?
- 6) Каким образом кривая, полученная на анализаторе текстуры, характеризует консистенцию пищевого продукта?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арет, В.А. Реология и физико-механические свойства материалов пищевой промышленности: учеб. пособие / В.А. Арет, С.Д. Руднев. – Санкт-Петербург: ИЦ Интермедия, 2014. – 252 с.
2. Доня Д.В. Инженерная реология: учебное пособие / Д.В. Доня, А.А. Леонов. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2008. – 123 с.
3. Забодалова, Л.А. Инженерная реология: учеб.-метод. пособие / Л.А. Забодалова, М.С. Белозерова. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2016. – 41 с.
4. Кузнецов, О.А. Реология пищевых масс: учебное пособие / О.А. Кузнецов, Е.В., Волошин, Р.Ф. Сагитов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. – 106 с.
5. Никитин, В.В. Практикум по реологии / В.В. Никитин. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 108 с.
6. Падохин, В.А. Физико-химические свойства сырья и пищевых продуктов: учеб. пособие / В.А. Падохин, Н.Р. Кокина. – Иван. гос. хим.-технол. ун-т., Институт химии растворов РАН. – Иваново, 2007. – 128 с.
7. Практические приемы работы на вискозиметре Brookfield DV2T: методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Микро- и наносистемы в технике и технологии» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: И.А. Шабанова, А.Е. Кузько, Г.Н. Бельских. – Курск, 2015. – 36 с.

Учебное издание

Светлана Викторовна Агафонова

РЕОМЕТРИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Редактор И. В. Голубева

Подписано в печать 09.03.2022 г. Формат 60 × 90 1/16. Уч.-изд. л. 2,8.
Печ. л. 2,9. Тираж 30 экз. Заказ № 8

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1