

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухов Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета
Дата подписания: 19.09.2023 11:25:07
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «Инженерная реология»

для студентов направления подготовки /специальности

19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания»

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

№ п/п	Наименование	Стр.
1	Предисловие	
Тема 1. Научные основы инженерной реологии		
2	Практическая работа № 1 Определение плотности сухих и влажных молочных продуктов	
3	Практическая работа 2 Определение вязкости молочных продуктов	
Тема 2. Основные структурно-механические свойства пищевых продуктов		
4	Практическая работа 3 Определение сдвиговых структурно-механических свойств сырья и готовой продукции	
5	Практическая работа 4 Определение компрессионных и поверхностных структурномеханических свойств сырья и готовой продукции	
6	Практическая работа 5 Влияние длительности куттерования на структурномеханические показатели фарша	
Тема 3. Методы и приборы для измерения структурно-механических свойств пищевых продуктов		
	Практическая работа 6 Влияние пищевых добавок животного происхождения на структурно-механические показатели пищевых продуктов	
	Практическая работа 7 Влияние пищевых добавок растительного происхождения на структурно-механические показатели пищевых продуктов	
7	Практическая работа 8 Изучение адгезионных и когезионных процессов в пищевых продуктах	
8	Практическая работа 9 Определение липкости пищевых продуктов	
9	Практическая работа 10 Реодинамические расчеты трубопроводов и транспортных устройств	
11	Список литературы	

Предисловие

Целью изучения дисциплины «Инженерная реология» является формирование общекультурных и профессиональных компетенций будущего бакалавра в области использования современных методов исследования структурно-механических свойств различных типов структур для моделирования свойств реальных пищевых продуктов.

Основными задачами изучения дисциплины «Инженерная реология» являются:

- изучение роли инженерной реологии в обеспечении контроля, регулирования и управления качеством сырья и готовой продукции; применения реологических моделей для описания свойств реальных пищевых масс; методов и приборов для измерения структурно-механических характеристик пищевых систем растительного происхождения (сырье, полуфабрикаты, готовые продукты) и изменения компонентов сырья в ходе технологической обработки и хранения;
- дать представление о взаимосвязи структуры и свойств пищевых веществ, их влияния на структурно-механические показатели продуктов питания;
- научить проводить определение сдвиговых, компрессионных и поверхностных характеристик пищевых продуктов химического состава сырья и продуктов питания, физико-химических показателей качества пищевых продуктов.

В результате изучения дисциплины «Реология» студент должен

Знать:

- теоретические основы структурообразования; и поведения пищевого сырья в ходе технологической обработки;
- классификацию основных структурно-механических свойств пищевых материалов;

- методы и приборы для определения структурно-механических характеристик пищевого сырья, полуфабрикатов и готовой продукции;
- методы расчета измерений, построение зависимостей структурномеханических характеристик от технологических параметров;
- основные направления в области оптимизации, контроля и управления технологическими процессами для обеспечения получения продукции высокого качества.

Уметь:

- определять структурно-механические свойства пищевого сырья, полуфабрикатов и готовой продукции;
- проводить анализ характера изменения структурно-механических свойств пищевого сырья при технологической обработке и давать рекомендации по их регулированию.

Владеть:

- методами и приборами для измерения структурно-механических свойств пищевого сырья, полуфабрикатов и готовой продукции;
- методологией анализа влияния технологических факторов на характер изменения структурно-механических свойств пищевого сырья, полуфабрикатов и готовой продукции

Тема 1. Научные основы инженерной реологии

Практическая работа 1 Определение плотности сухих и влажных молочных продуктов

1. Цель и содержание

1.1. Изучить устройство, принцип работы капиллярных вискозиметров и ротационного вискозиметра РВ-8.

1.2. Овладеть методиками определения плотности и вязкости пищевых продуктов.

1.3. Определить плотность и вязкость пищевых продуктов по предложенным вариантам.

1.4. Сделать сравнительный анализ полученных экспериментальных и литературных данных.

2. Теоретическое обоснование

Сырье, используемое в мясной промышленности, в зависимости от консистенции подразделяется на твердое, пастообразное и жидкое. Консистенция продукта отличается для разных состояний пищевых продуктов и обусловлена плотностью, вязкостью, поверхностным натяжением и т.д. При характеристике консистенции чаще всего пользуются терминами жесткость, мягкость, сочность, зернистость, крошливость и другими. Для мяса и продуктов животного происхождения употребляют термины нежность, сочность, грубое, жесткое.

К физическим свойствам пищевых продуктов, характеризующих их консистенцию, относят вязкость, упругость, размеры частиц, липкость, предельное напряжение сдвига, степень пенетрации и другие.

Плотность – это отношение массы вещества (M) к единице его объема (V)

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1)$$

В качестве сырья для производства мясных продуктов часто используются сыпучие материалы (пищевые добавки, пряности, специи и др.). При расчете дозаторов, трубопроводов по перемещению данных продуктов, необходимо знать их плотность. Для характеристики сыпучих продуктов (сухого молока, белковых препаратов, сахарного песка, специй и др.) используется насыпная (видимая) плотность, зависящая от действительной плотности материала частиц и пустот между ними. Она определяется по формуле:

$$\rho_n = (1 - \varepsilon) \rho_r \quad (2)$$

где ρ_n – насыпная плотность сыпучего продукта, кг/м^3
 ε – пористость сыпучего материала
 ρ_r – действительная плотность материала частиц, кг/м^3

11

Пористость сыпучего материала определяется как отношение объема пустот свободно насыпанного (без уплотнения) материала к объему свободно насыпанного материала.

Для идеально сыпучего материала, состоящего из одинаковых шарообразных частиц, возможны два предельно допустимых варианта укладки частиц: свободная и плотная. При свободной укладке, когда центры соприкасающихся шаров образуют куб, плотность определяется по формуле:

$$\rho_n = 0,523 \rho_r \quad (3)$$

При плотной укладке, когда центры соприкасающихся шаров образуют ромбоэдр, плотность рассчитывается по формуле:

$$\rho_n = 0,744 \rho_r \quad (4)$$

Для большинства сыпучих тел насыпная плотность составляет 0,576 от действительной плотности частиц материала, для свободно насыпных материалов - обычно находится в пределах 0,32-0,42.

Плотность ряда белковых систем (мясного бульона, крови, молока и др.) в зависимости от концентрации описывается эмпирическим уравнением:

$$\rho_c = \rho_{0t} + ac \quad (5)$$

где ρ_c – плотность при данной температуре t_c и концентрации c , кг сухих веществ на 1 кг продукта, кг/м³;

ρ_{0t} – плотность при концентрации, равной нулю и той же температуре, кг/м³;

a – эмпирический коэффициент, кг/м³ (приведены в Табл.1);

Таблица 1

Продукт	Температура, $t_c, ^\circ\text{C}$	Пределы концентрации, $c, \text{кг/кг}$	Коэффициент $a, \text{кг/м}^3$	Плотность, $\rho_{0t}, \text{кг/м}^3$
Мясной бульон	40	0 – 0,20	300	992
Дефибринированная кровь	40	0 – 0,20	300	992
Молоко	20	0 – 0,12	115	998
Молоко	20	0,25-0,70	350	998

При более высоких температурах t_c плотность растворов данной концентрации можно определять по формуле:

$$\rho_t = \frac{\rho_c}{1 + \beta_t(t - t_c)} \quad (6)$$

где β_t – коэффициент температурного расширения.

Для интервала температур 40-95°C среднее значение коэффициента температурного расширения многих белковых систем такое же, как для воды: $\beta_{\text{т}} = 568 \cdot 10^{-5}$.

Вязкость - это свойство системы оказывать сопротивление относительному смещению её слоев, представляющему внутреннее трение.

Твердость - характеристика структуры пищевых продуктов, зависящая от модулей упругости, пределов упругости.

Размеры частиц - характеризуют степень дисперсности пищевых продуктов и также влияют на их твердость.

Для определения вязкости вязких и плотных пищевых продуктов используют ротационные вискозиметры.

Наибольшее распространение в пищевой промышленности получили ротационные вискозиметры с коаксиально-цилиндрическими комбинированными поверхностями. В РВ-8 внешний цилиндр неподвижен, а внутренний приводится во вращение с помощью падающего груза. Диаметр внутреннего зазора можно менять в зависимости от степени измельчения продукта, во избежание заклинивания вращения. Экспериментально получают зависимости крутящих моментов от угловой скорости вращения измерительной поверхности. В том случае, когда сдвиг распространяется на всю толщину исследуемого продукта, эффективную вязкость $\eta_{\text{эф}}$ и ПНС (Θ_0) определяют по формулам:

$$\eta_{\text{эф}} = k \frac{M}{N} \quad \text{и} \quad \Theta_0 = K_0 M_0 \quad (7)$$

K и K_0 - константы прибора, зависящие от его геометрических размеров и высоты, на которую загружается исследуемый продукт, $\text{м}^{-1} \text{с}^{-2}$;

M - масса вращающихся грузов, кг;

M_0 - масса грузов, при которой начинается сдвиг;

N - частота вращения ротора, об/с

Заполняют внутренний неподвижный цилиндр исследуемым продуктом на определенную высоту, измеряя её. Устанавливают на чаши гири, постепенно повышая их массу до начала вращения внутреннего цилиндра, превышая силу сцепления частиц, отмечают число оборотов этого вала и определяют массу груза. Подставляя указанные величины в формулы, определяют показатели.

Вязкость, как и плотность, — важный физико-химический параметр, используемый при проектировании способа транспортировки пищевых материалов и схемы переработки.

Различают динамическую, кинематическую и условную вязкость. Динамическая вязкость η — это отношение действующего касательного напряжения к градиенту скорости при заданной температуре. Единица измерения динамической вязкости — Па·с (паскаль-секунда), на практике используют обычно мПа·с. Величина, обратная динамической вязкости, называется текучестью.

В основе определения динамической вязкости путем измерения времени истечения жидкости через капиллярные трубки лежит формула Пуазейля:

$$\eta = \pi Pr^4 \tau / 8VL \quad (8)$$

где P — давление, при котором происходит истечение жидкости из капилляра; V — объем жидкости, протекающей через капилляр; τ — время истечения жидкости в объеме; L — длина капилляра; r — радиус капилляра.

Возникновение необходимости определения кинематической и условной вязкости связано с тем, что для определения динамической вязкости требуется источник постоянного давления (постоянно приложенного напряжения) на жидкость. Это условие предопределяет дополнительные технические трудности, сложность воспроизведения и трудоемкость анализа.

Кинематическая вязкость γ — это отношение динамической вязкости жидкости к плотности при той же температуре:

$$\gamma = \eta / \rho \quad (9)$$

Единица кинематической вязкости $\text{м}^2/\text{с}$, на практике используют обычно $\text{мм}^2/\text{с}$.

Сущность метода определения кинематической вязкости заключается в замене постоянного давления (внешней силы) давлением столба жидкости, равным произведению высоты столба жидкости, плотности жидкости и ускорения силы тяжести. Эта замена привела к значительному упрощению и распространению метода определения кинематической вязкости в стеклянных капиллярных вискозиметрах.

Определение условной вязкости также основано на истечении жидкости (через трубку с диаметром отверстия 5 мм) под влиянием силы тяжести. Условная вязкость — отношение времени истечения продукта при заданной температуре ко времени истечения дистиллированной воды при 20 °С. Единица измерения — условные градусы (°ВУ). Метод определения условной вязкости применяется для продуктов, дающих непрерывную струю в течение всего испытания и для которых нельзя определить кинематическую вязкость по ГОСТ 33—82.

Для определения динамической вязкости жидких продуктов, имеющих вязкость от 1 до $6 \cdot 10^3$ Па·с, применяют автоматический капиллярный вискозиметр (ГОСТ 7163—84). Динамическую вязкость неньютоновских жидкостей определяют в ротационных вискозиметрах.

3. Аппаратура и материалы

Аппаратура: ареометры, мерные цилиндры, пикнометры, капиллярные вискозиметры, ротационный вискозиметр, весы аналитические, шкаф сушильный электрический с терморегулятором, секундомер.

Материалы: пищевые продукты: растворы, сухие порошки.

4. Организация работы

Работа выполняется бригадами из 3-4 студентов по предложенным преподавателем вариантам с образцами пищевых продуктов.

5. Методики исследования и порядок выполнения работы

5.1. Определение содержания сухих веществ по плотности

5.1.1. Определение плотности жидких пищевых материалов

Плотность жидких веществ определяется с помощью ареометров. Приступая к измерению плотности ареометром, необходимо подобрать стеклянный цилиндр, диаметр которого в 2-3 раза больше утолщенной части ареометра; ополоснуть его дистиллированной водой, а затем исследуемой жидкостью. Устанавливается цилиндр на горизонтальной поверхности. Осторожно, чтобы не образовалась пена, по стенке в цилиндр наливают исследуемую жидкость, предварительно доведя её до 20⁰С. Ареометры подбирают таким образом, чтобы при погружении в анализируемые продукты они не тонули и не всплывали бы выше той части, где нанесена градуировочная шкала плотности. Определение плотности ареометром основано на законе Архимеда. Совершенно чистый и сухой ареометр осторожно опускают в жидкость, не касаясь стенок цилиндра. Когда ареометр примет устойчивое положение, отсчитывают его показания по нижнему мениску с точностью до 0,001. Если анализируемая жидкость интенсивно окрашена, показания ареометра отсчитывают по верхнему мениску, увеличивая полученное значение плотности на 0,0002.

По таблице зависимости между плотностью и массовой долей сухих веществ (Табл.2), определяют их содержание.

Таблица 2

Зависимость между плотностью и массовой долей сухих веществ

Плотность	Массовая доля сухих веществ, %	Плотность	Массовая доля сухих веществ, %
1,0121	3,1	1,0509	12,6
1,0125	3,2	1,0513	12,7
1,0129	3,3	1,0517	12,8
1,0133	3,4	1,0522	12,9
1,0137	3,5	1,0526	13,0
1,0141	3,6	1,0530	13,1
1,0145	3,7	1,0534	13,2
1,0149	3,8	1,0539	13,3
1,0153	3,9	1,0543	13,4
1,0157	4,0	1,0547	13,5
1,0161	4,1	1,0551	13,6

Определение массовой доли сухих веществ

Исследуемый образец	№ пробы	Плотность	Массовая доля сухих веществ, %

5.1.2. Определение плотности сухих сыпучих пищевых материалов

Методика определения. Отбирают пробу сыпучего материала методом квартования конусов крестообразным делителем. Для этого образец сыпучего материала через сухую воронку насыпают на чистый лист бумаги конусом, а затем производят деление на четыре части крестообразным делителем. Две противоположные части смешивают и используют для проведения опытов.

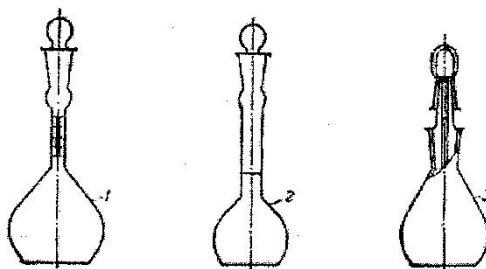


Рис.1 Пикнометры

Плотность порошкообразных материалов определяют обычно жидкостным пикнометром. Метод заключается в определении объема жидкости, вытесненной порошком, масса которого известна. Применяемая жидкость не должна взаимодействовать с порошком. Температура жидкости во время измерения должна быть стабильной, т.к. изменение объема жидкости, вызываемое нестационарностью температуры, служит источником ошибок проводимого опыта.

Вначале измеряют массу пустого пикнометра (P_1) и массу пикнометра, заполненного до метки дистиллированной водой (P_2) с температурой $+20^{\circ}\text{C}$. Затем определяют массу пикнометра (P_3), заполненного до метки жидкостью, выбранной для проведения анализа (гексан, спирт, ацетон и др.). Сливают часть жидкости из пикнометра (от 0,5 до 0,7 объема) и определяют массу пикнометра (P_4), частично заполненного жидкостью. После этого засыпают 3-5 г отобранного квартованием порошка (с точностью до 0,001 г) и производят легкое встряхивание (для удаления воздуха). После этого определяют массу пикнометра с порошком (P_5), частично заполненного жидкостью, доливают жидкостью пикнометр до метки и определяют массу (P_6). По результатам всех взвешиваний определяют массу анализируемого порошка по формуле:

$$P_{\text{н}} = P_5 - P_4 \quad (10)$$

Плотность жидкости определяется по формуле:

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \rho_{\text{с}} \quad (11)$$

По результатам двух-трех измерений определяют среднюю плотность порошка. Все данные заносят в таблицу 4.

Таблица 4

№№	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P _н	$\rho_{\text{ж}}$	$\rho_{\text{ср}}$
1										
2										

5.1.3. Определение насыпной плотности материала

Взвешивают сухой пустой химический мерный цилиндр (стакан, колбу) объемом 100-150 мл и записывают его массу (M_1). Взять навеску сухого материала (M_2), отобранного методом квартования, массой от 30 до 50 г и легким встряхиванием засыпают её в мерный цилиндр. Взвесить наполненный цилиндр с материалом (M_3). Легко постукивая по цилиндру, не разрушая частиц материала, уплотнить структуру и добиться ровной верхней грани поверхности материала. Определить объем материала в цилиндре. Для этого измерить высоту столба материала (h) и площадь дна цилиндра (πr^2)

$$V = \pi r^2 h \quad \rho = \frac{m}{V} \quad (12)$$

После этого, по формуле 2 определить насыпную плотность материала. Повторность опытов 3-кратная. По результатам опытов рассчитать среднюю насыпную плотность материала. Все данные записать в таблицу 5.

Таблица 5

№№	M ₁	M ₂	M ₃	V	$\rho_{\text{н}}$	$\rho_{\text{ср}}$

5.2. Определение вязкости

При определении вязкости чаще всего пользуются вискозиметрами, выбор которых зависит от вида исследуемых пищевых продуктов.

Для определения вязкости жидких пищевых продуктов используют вискозиметр Оствальда или Уббелоде, принцип действия которых основан на определении скорости протекания потока жидкости через капиллярную трубку вискозиметра. Эти вискозиметры имеют капиллярную трубку и два полых шарика для жидкости. Движущая сила процесса истечения - перепад давлений, в вискозиметре Оствальда обусловлен разностью высот жидкостей, а в вискозиметре Уббелоде - вакуумом или давлением в одном

колоне трубки. Приборы калибруют по дистиллированной воде. Так как температура оказывает существенное влияние на объем и плотность жидкости, вискозиметр заполняют всегда одинаковым объемом жидкости при одной и той же температуре. Определение вязкости осуществляют по формуле:

$$\eta = K_{\tau} \rho \tau \quad (13)$$

K_{τ} - водная константа при температуре измерения, $\text{м}^2/\text{с}^2$

ρ - плотность жидкости при исследуемой температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$

τ - время истечения, с

Для определения вязкости сгущенных и вязких пищевых продуктов используют вискозиметр Гепплера с падающим шариком. Шарик движется в наклонной трубке, образуя узкую щель со стенкой. Вязкость этих систем определяют по формуле Стокса:

$$\eta = K_{\tau}(\rho_{ш} - \rho) \tau \quad (14)$$

K_{τ} - константа прибора, $\text{м}^2/\text{с}^2$

$\rho_{ш}$ - плотность материала шарика, $\text{кг}/\text{м}^3$

ρ - плотность жидкости при исследуемой температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$

τ - время перемещения шарика на участке h , с

Методика определения кинематической вязкости (ГОСТ 33 — 82)

Сущность метода заключается в измерении времени истечения определенного объема испытуемой жидкости под влиянием силы тяжести. Испытание проводят в капиллярных стеклянных вискозиметрах. Для проведения анализа подбирают вискозиметр с таким диаметром капилляра, чтобы время истечения жидкости составляло не менее 200 с. При этом используют вискозиметры типов ВПЖТ-1, ВПЖТ-2 (ГОСТ 10028 — 81). Допускается использование вискозиметров типов ВПЖ-1, ВПЖ-2, ВПЖ-4, ВНЖ (ГОСТ 10028—81). В лабораторной практике наиболее распространены вискозиметры Пинкевича типа ВПЖТ-4 и ВПЖТ-2 (рис. 1).

Чистый сухой вискозиметр заполняют продуктом. Для этого на отводную трубку 3 надевают резиновую трубку. Далее, зажав пальцем колено 2 и перевернув вискозиметр, опускают колено 1 в сосуд с продуктом и засасывают его с помощью резиновой груши, водоструйного насоса или иным способом до метки M_2 , следя за тем, чтобы в продукте не образовалось пузырьков воздуха.

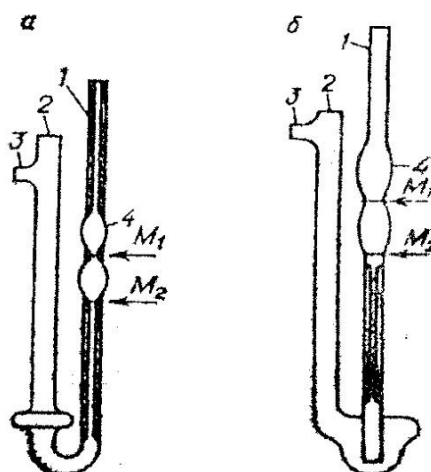


Рис. 2 Вискозиметры Пинкевича:

а — тип ВПЖТ-4; б — тип ВПЖТ-2; 1, 2 — колено; 3 — отводная трубка; 4 — расширение капиллярной трубки

Вынимают вискозиметр из сосуда и быстро возвращают в нормальное положение. Снимают с внешней стороны конца колена 1 избыток продукта и надевают на его конец резиновую трубку. При определении вязкости продукта в зависимости от температуры, вискозиметр устанавливают в термостат (баню) так, чтобы расширение 4 было ниже уровня продукта. После выдержки в термостате не менее 15 мин засасывают исследуемый продукт в колено 1, примерно до $\frac{1}{3}$ высоты расширения 4. Соединяют колено 1 с атмосферой и определяют время перемещения продукта от метки M_1 до M_2 (с погрешностью не более 0,2 с). Если результаты трех последовательных измерений не отличаются более чем на 0,2%, кинематическую вязкость γ , мм²/с, вычисляют как среднее арифметическое по формуле:

$$\nu = C\tau \quad (15)$$

где C — постоянная вискозиметра, зависящая от диаметра капилляра, мм²/с²; τ — среднее время истечения продукта в вискозиметре, с.

Динамическую вязкость η , мПа·с, исследуемой продукта вычисляют по формуле:

$$\eta = \nu\rho, \quad (16)$$

где γ — кинематическая вязкость, мм²/с; ρ — плотность при той же температуре, при которой определялась вязкость, г/см³.

Практическая работа 2

Определение вязкости молочных продуктов

1 Цель и содержание:

ознакомиться с теорией ротационных вискозиметров существующими конструкциями вискозиметров, их принципов работы, методики измерения и расчёта; провести исследование реологических параметров пищевых материалов при разных скоростях сдвига, температурах, построить кривые течения.

Формируемые компетенции: ПК-1, ПК-7

2 Теоретическое обоснование

Вязкость η , Па·с, - это способность тела оказывать сопротивление относительному смещению его слоев. Вязкое течение реализуется в истинновязких, ньютоновских жидкостях при любых, сколь угодно малых напряжениях сдвига, и описывается уравнением Ньютона

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2.8)$$

τ , Па - касательное напряжение сдвига;

η , Па·с – ньютоновская вязкость

$\dot{\gamma}$ – скорость деформации сдвига;

Пищевые продукты представляют собой аномально вязкие системы (неньютоновские структурированные жидкости) поэтому для них чаще используется понятие эффективной вязкости, а для пластических тел – пластическая вязкость. При течении неньютоновских (аномально-вязких) жидкостей вязкость не остается величиной постоянной, она зависит от напряжения сдвига и градиента скорости. В этом случае пользуются понятием **эффективная вязкость** $\eta_{эф}$, Па·с, которая рассчитывается по формуле

$$\eta_{эф} = \tau / \dot{\gamma} \quad (2.9)$$

Различают также **динамическую (μ) и кинематическую (ν) вязкость**. **Динамическая вязкость** - характеризует внутреннюю силу трения среды, которую необходимо преодолеть для перемещения единицы поверхности одного слоя относительно другого при градиенте скорости смещения равном единице. За единицу динамической вязкости принята вязкость такой среды, у которой один слой при действии силы в 1Н на квадратный метр, перемещается со скоростью 1

м/с относительно другого слоя, находящегося на расстоянии 1 м. Измеряется динамическая вязкость в Н·с/м².

Кинематическая вязкость – это величина равная отношению динамической вязкости к плотности среды и выражается в м²/с.

Величина обратная вязкости называется **текучестью**.

На вязкость влияют температура, давление, влажность, жирность, концентрация сухих веществ и другие факторы. Вязкость пищевых продуктов уменьшается при повышении влажности, температуры, жирности и возрастает с увеличением концентрации растворов, степени их дисперсности.

Вязкость крови. Вязкость крови измеряют с помощью вискозиметра Гепплера и реовискозиметра Ротовиско.

Значения вязкости крови убойных животных от концентрации сухих веществ и температуры, представлены в табл. 5.1. Из представленных результатов видно, что вязкость крови убойных животных зависит от концентрации сухих веществ и температуры. При этом, как при снижении концентрации сухих веществ, так и при повышении температуры вязкость крови значительно уменьшается.

Таблица 5.1

Зависимость вязкости крови от концентрации сухих веществ и температуры
(градиент скорости 380 с⁻¹)

Концентрация сухих веществ, кг на 1 кг крови	Вязкость $\square \cdot 10^3$, Па·с, при температуре, °С			
	10	20	30	40
0,261	92	59	46	36
0,213	31	19	14	10
0,182	15	10	7	5
0,152	11	7	6	4

Вязкость топленых животных жиров. Значения вязкости для разных видов топленых животных жиров представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Зависимость вязкости топленых животных жиров от температуры

Жир	Вязкость $\square \cdot 10^3$, Па·с, при температуре, °С						
	40	50	60	70	80	90	100
Говяжий	-	29,0	21,0	15,8	12,5	10,0	8,4
Бараний	-	30,4	22,0	17,3	13,7	11,2	9,4
Свиной	39,0	26,7	19,5	15,0	12,0	9,7	8,2
Костный	36,2	25,1	18,6	14,5	11,6	9,6	8,1

Результаты показывают, что с увеличением температуры от 0 до 100 °С, вязкость всех видов топленых жиров уменьшается и имеет свое максимальное значение при температуре, близкой к температуре затвердевания, причем, для говяжьего и бараньего она не определена, так как жиры переходят в другое аномальное состояние, переставая быть как таковыми жидкостями. Среди жиров наибольшей вязкостью при одном значении температуры имеет жир бараний.

Вязкость мясокостного бульона. Величины вязкости мясокостного бульона при различной концентрации и температуре приведены в табл. 5.3. Данные получены на капиллярных вискозиметрах и вискозиметре Гепплера.

Таблица 5.3

Зависимость мясокостного бульона от концентрации и температуры

Концентрация сухих веществ, кг на 1 кг бульона	Вязкость $\eta \cdot 10^3$, Па·с, при температуре, °С					
	40	50	60	70	80	90
0,20	11,99	9,23	7,45	6,22	5,32	4,63
0,18	8,94	6,92	5,62	4,71	4,04	3,53
0,16	6,67	5,19	4,23	3,56	3,07	2,69
0,14	4,98	3,89	3,19	2,69	2,33	2,05
0,10	2,77	2,19	1,81	1,54	1,34	1,19
0,06	1,54	1,23	1,03	0,88	0,77	0,69
0,02	0,86	0,70	0,59	0,51	0,45	0,40
0,01	0,74	0,60	0,51	0,44	0,39	0,35
0	0,64	0,52	0,44	0,38	0,34	0,30

Результаты таблицы показывают, что при повышении температуры вязкость мясокостного бульона уменьшается, а также отмечается резкое снижение вязкости при уменьшении сухого остатка.

3 Оборудование, аппаратура и материалы:

Ротационный вискозиметр «Реотест-2»

4. Указания по технике безопасности

К работе допускаются обучающиеся, прошедшие инструктаж по технике безопасности работы в химических лабораториях, с электроприборами и аппаратурой, о чем должна быть соответствующая запись в журнале.

5. Методика выполнения работы.

1. Ознакомиться с теоретической частью работы (прослушав преподавателя и самостоятельно). 2. Подготовить лабораторную установку к проведению исследований (выставить на «ноль», заправить материал, провести термостатирование). 3. Провести измерения в трёх

повторностях, данные занести в таблицу 8.1. 4. Построить зависимость предельного напряжения сдвига τ от скорости сдвига $\dot{\gamma}$. 5. Сделать выводы по лабораторной работе.

Методика проведения эксперимента. Опыты проводятся на ротационном вискозиметре «Реотест-2», рисунок которого и описание конструкции приведены в разделе 2.3.1 (рис. 2.4).

1. Перед началом опыта порцию исследуемой массы помещают в наружный цилиндр 3 (при этом внутренний цилиндр 2 уже должен быть закреплен на ведущем валу 6) и устанавливают его в рабочее положение коаксиально цилиндру 2. При этом происходит заполнение исследуемой массой кольцевого зазора. После установки цилиндров при необходимости проводят термостатирование материала и коаксиальных цилиндров, для чего в конструкции прибора предусмотрен ультратермостат, сосуд которого надевается поверх наружного цилиндра и крепится при помощи специального замка. Термостатирование необходимо проводить не менее 20 мин., что позволяет равномерно прогреть не только исследуемый материал, но и рабочие цилиндры 2 и 3.

2. После выполнения приведенных выше операций начинают снимать показания, для чего устанавливают рукоятку переключения скоростей на первую скорость, выбирают жесткость измерительной пружины, переводя переключатель на отметку I или II (начинают обычно с I диапазона). После включения прибора внутренний цилиндр начинает вращение. Вращение на данной скорости проводят до стабилизации положения показаний вторичного прибора, измеряющего угол α относительного поворота цилиндров 2 и 3. Показания прибора записывают в таблицу 2.1. включают последовательно следующие скорости сдвига (их 12) и по выше описанной методике получают соответствующие данные, которые также записывают в таблицу.

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

3. Для получения достоверных данных необходимо провести эксперимент в трех повторностях по представленной выше схеме. Данные с каждого измерения заносятся в таблицу 2.1.

Таблица 2.1. Экспериментальные данные

№	Скорость сдвига $\dot{\gamma}$, с^{-1}	Показания прибора, α , деления								$\tau \downarrow$	$\tau \uparrow$
		$\alpha_1 \downarrow$	$\alpha_1 \uparrow$	$\alpha_2 \downarrow$	$\alpha_2 \uparrow$	$\alpha_3 \downarrow$	$\alpha_3 \uparrow$	$\alpha_{\text{ср}} \downarrow$	$\alpha_{\text{ср}} \uparrow$		
1	1,0										
2	1,8										
3	3,0										
4	5,4										
5	9,0										
6	16,2										
7	27,0										
8	48,6										
9	81,0										
10	145,7										
11	243,0										
12	437,4										

Обработка результатов эксперимента. Напряжение сдвига вычисляют по формуле:

$$\tau = \alpha \cdot z, \quad (2.1)$$

где: z – константа измерительного цилиндра, Па на ед. шкалы (таблица 2.1.1). α – показания вторичного прибора, деления.

Таблица 2.2. Константы вискозиметра «Реотест-2»

Измерительный цилиндр	Соотношение радиусов цилиндров	Константы цилиндров, Па на ед. шкалы		Пределы измерения градиента скорости
		диапазон I	диапазон II	
S_1	0,98	1,19	5,92	1,5 – 1310
S_2	0,94	1,23	6,16	0,5 – 437

S_3	0,81	1,69	8,45	1/6 – 146
H	0,81	5,89	29,29	1/6 – 146

После расчета напряжений сдвига необходимо построить кривую течения материала в координатах $\tau - \dot{\gamma}$. Данный график поможет определить к какому типу материалов относится исследуемая масса и спрогнозировать ее поведение при тех или иных нагрузках (см. раздел 1.3).

Пример: цель – исследование структурно-механических свойств сливочного масла в зависимости от вида облепиховой добавки; определение реологической модели.

Для исследования было взято сливочное масло «Крестьянское» с различными видами облепиховой добавки: 2% облепихового масла, полученного экстракцией н-гексаном, и 1,5% водно-спиртового экстракта (в обоих случаях – с полным удалением экстрагента).

Исследования выполнены на ротационном вискозиметре «Реотест-2» при температуре исследуемых образцов $(20 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$. Эта температура выбрана вследствие того, что до $25 ^\circ\text{C}$ сливочное масло ведет себя как вязкопластичная жидкость. При этом диапазон температур ниже $25 ^\circ\text{C}$ оптимален также с точки зрения потребления продукта. Исследовали образцы сливочного масла без добавки (контроль), с добавлением облепихового масла и водно-спиртового экстракта. Были получены, кривые течения в координатах: $\tau - \dot{\gamma}$. При этом скорости сдвига $\dot{\gamma}$ изменяли в диапазоне $(0,1666 \leq \dot{\gamma} \leq 145,8) \text{ c}^{-1}$. Все опыты проведены в трёх повторностях.

Полученные кривые течения, представленные на рис. 8.1, показали, что все образцы типичны для вязкопластичных жидкостей и могут быть описаны уравнением Шведова – Бингама:

$$\tau = \theta_0 + \eta_{\text{пл}} \cdot \dot{\gamma}, \quad (2.2)$$

где: θ_0 – динамическое предельное напряжение сдвига, (рис. 2.1); $\eta_{\text{пл}}$ – пластическая (бингамовская) вязкость: $\eta_{\text{пл}} = (\tau_d - \theta_0) \dot{\gamma}_d$.

(2.3)

Для более полной характеристики структурно-механических свойств исследованных образцов, по кривым течения также определяли: динамическое предельное напряжение сдвига θ_0 ; вязкость пластического

течения (бингамовскую вязкость) $\eta_{пл}$; наибольшую ньютоновскую вязкость η_0 ; минимальную эффективную вязкость разрушенной структуры η_m ; коэффициент глубины разрушения структуры K ; пластичность Π по Воляровичу. Рассчитанные характеристики приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Результаты исследований

Характеристики сливочного масла	Контроль	Вид биодобавки	
		облепиховое масло, (2 %)	концентрат водноспиртового экстракта (1,5 %)
θ_0 , Па	320 ± 12	230 ± 9	394 ± 14
$\eta_{пл}$, Па·с	$1,61 \pm 0,06$	$1,51 \pm 0,05$	$1,68 \pm 0,06$
η_0 , Па·с	1277 ± 35	773 ± 20	1920 ± 49
η_m , Па·с	$3,81 \pm 0,15$	$3,10 \pm 0,12$	$4,92 \pm 0,16$
K	335 ± 13	249 ± 8	390 ± 14
Π , с ⁻¹	199 ± 8	152 ± 6	234 ± 10

Анализ результатов исследований показывает, что образцы с облепиховым маслом имеют более низкие значения структурномеханических характеристик, чем контрольные образцы, а с концентратом водно-спиртового экстракта – более высокие. Первый экстракт содержит преимущественно малополярные, водонерастворимые компоненты, второй, наоборот – преимущественно полярные. Очевидно, что последние способствуют упрочнению структуры масла. Так, в сравнении с контрольным образцом, у масла с водно-спиртовым экстрактом, видим увеличение значений: динамического предельного напряжения θ_0 в 1,23 раза, коэффициента глубины разрушения структуры K в 1,16 раза, показателя пластичности Π в 1,17 раза. Внесение же биодобавки в виде облепихового масла наоборот приводит к снижению этих параметров: динамического предельного напряжения θ_0 в 1,39 раза, коэффициента глубины разрушения структуры K в 1,34 раза, показателя пластичности Π в 1,31 раза.

Вывод: таким образом, можно утверждать, что внесение в сливочное масло добавки в виде 1,5% концентрата водно-спиртового экстракта приводит к упрочнению первичной структуры продукта, а внесение 2% облепихового масла, полученного экстракцией гексаном, в некоторой степени разупрочняет его структуру, снижает показатели прочности и пластичности более чем на 30%.

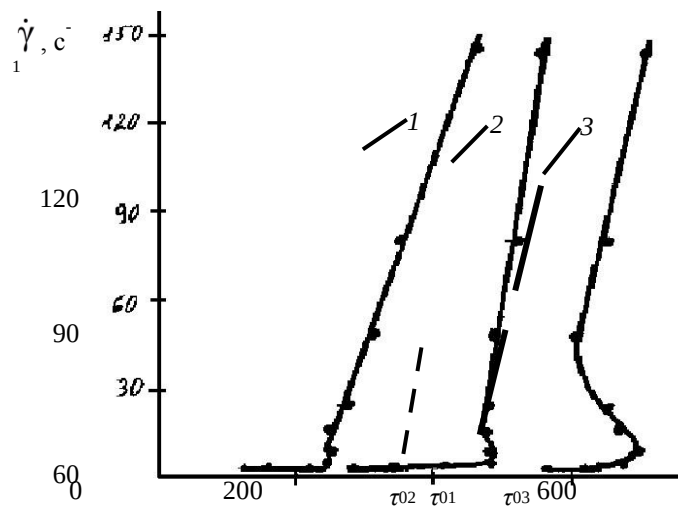


Рис. 2.1. Кривые течения сливочного масла с добавками:
1 – контроль; 2 – облепиховое масло;
3 – водно-спиртовой экстракт

6 Содержание отчета и его форма

Работа должна быть оформлена в виде отчета на листах формата А4, А5. В содержание отчета должны быть включены следующие разделы:

1. Тема работы.
2. Краткое обоснование работы.
3. Цель работы.
4. Формулы для расчетов и необходимые расчеты.
5. Результаты расчетов и выводы.

Выводы об итогах представляют собой сравнительный анализ полученных результатов и литературных данных.

7 Вопросы для защиты работы

1. Какова цель работы.

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

Тема 2. Основные структурно-механические свойства пищевых продуктов

Практическая работа 3 Определение сдвиговых структурно-механических свойств сырья и готовой продукции

1. Цель и содержание

- 1.1. Изучить устройство, принцип работы вискозиметров, пенетрометров и консистометров.
- 1.2. Овладеть методиками определения пластичности, предельного напряжения сдвига, степени пенетрации.
- 1.3. Определить пластичность, предельное напряжение сдвига, степень пенетрации пищевых продуктов по предложенным вариантам.
- 1.4. Сделать сравнительный анализ полученных экспериментальных и литературных данных.

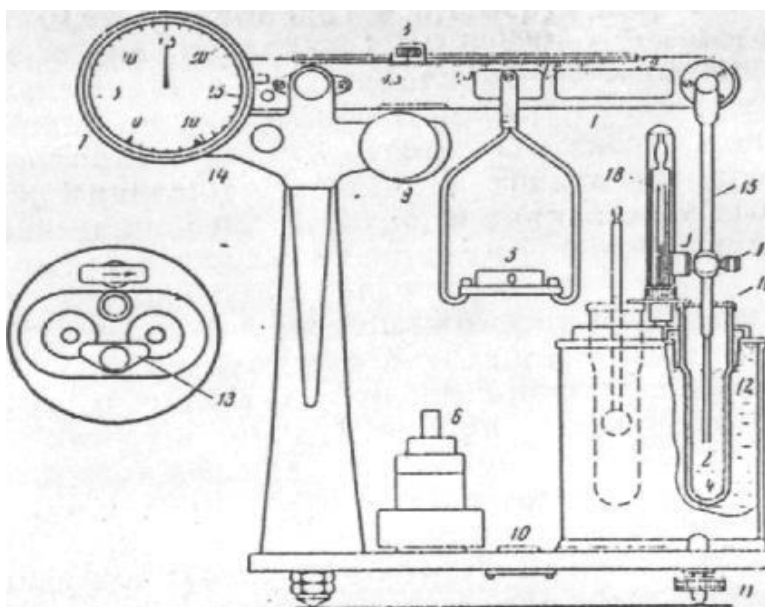
2. Теоретическое обоснование

Структурно-механические свойства характеризуют поведение мяса и мясопродуктов в условиях напряженного состояния, основными показателями которого при приложении силы являются напряжение, величина и скорость деформации. В зависимости от характера приложения усилий свойства делятся на сдвиговые (касательные напряжения), компрессионные (нормальные напряжения растяжения-сжатия) и поверхностные (нормальные и касательные напряжения на границе раздела фаз).

В реальных условиях имеет место сочетание всех свойств, в то же время в зависимости от направленности процесса превалирует одно из них.

Сдвиговые свойства проявляются при касательном смещении слоев продукта, который может представлять собой жидко- или твердообразную систему, включая также твердое тело, т.е. неразрушенную среду (нативные ткани и органы, кость, сыр, твердый жир и другие). Приборы для измерения сдвиговых свойств по принципу действия делят на следующие группы:

- ротационные; -
- капиллярные;
- пенетрометры
- и
- пластометры.



Сдвиговые реологические свойства: предельное напряжение сдвига Π_0 (Па), $\Pi_{эф}$ (Па*с) и пластическая вязкость Π (Па*с), период релаксации Π_r (с) – наиболее полно отражают внутреннюю сущность объекта, поэтому их принято считать основными. С их помощью рассчитывают течение продуктов по трубопроводам,

определяют необходимое усилие для перемещения продукта, рабочие органы машин и аппаратов, обосновывают оптимальные технологические условия процесса.

3. Аппаратура и материалы

Аппаратура: консистометр, весы аналитические, шкаф сушильный электрический с терморегулятором, секундомер.

Материалы: пищевые продукты: нативное и измельченное мясное сырье, растворы, сухие порошки.

4. Организация работы

Работа выполняется бригадами из 3-4 студентов по предложенным преподавателем вариантам с образцами пищевых продуктов.

5. Методики исследования и порядок выполнения работы

5.1. Определение пластичности

Навеску мясного фарша (0,3 г) отвешивают на торсионных весах на кружке из полиэтилена диаметром 15-20 мм и переносят ее на беззольный фильтр так, чтобы навеска оказалась под кружком полиэтилена. Сверху и снизу навески устанавливают стеклянную пластинку 10x10см, на которую устанавливают груз массой 1 кг и продолжают прессование 10 мин. После этого фильтр с навеской освобождают от нагрузки, а затем химическим карандашом очерчивают контур пятна вокруг прессованного мяса.

С помощью миллиметровой бумаги определяют площадь пятна образованного мясом, которая и определяет пластичность мяса.

5.2. Определение предельного напряжения сдвига (ПНС)

Определение ПНС проводится на консистометре Гепплера. Емкость для продукта заполняется исследуемым образцом, поверхность разравнивается шпателем или ножом, устанавливая её уровень относительно нулевого деления шкалы прибора. По шкале определяют глубину погружения конуса в продукт (в мм), устанавливая и подбирая определённый груз. Предельное напряжение сдвига определяют по формуле:

$$\sigma_i = \frac{m}{h_2^2} K$$

σ_0 - предельное напряжение сдвига, Па K - константа конуса, для $\alpha = 60^\circ$, $K = 2,1 \text{ м/кг м}$ - масса конуса со штангой и дополнительным грузом, кг h - глубина погружения конуса, м

Таблица 2

Продукт	Масса конуса, кг	Константа конуса, м/кг	Глубина погружения конуса, м	ПНС, Па	Средне-арифм.	Средне-квадр.

5.3. Определение консистенции

Приборы для определения консистенции плотных пищевых продуктов отличаются большим разнообразием. Пенетрометры и консисометры оборудуются рабочими органами (плунжерами) различной формы и размеров (иглы, пластины, конусы, трубчатые, фигурные и т.д.). В этих приборах определяется или глубина проникновения плунжера в продукт, или измеряется сила сжатия (раздавливания), или сопротивление прониканию через продукт. Сравнивая полученные результаты, делают вывод о консистенции исследуемых продуктов.

Установив в рабочем органе консисометра Гепплера иглу (набор игл) определяют **степень пенетрации** по глубине проникновения иглы в исследуемый продукт (в мм).

6. Варианты лабораторной работы

6.1. Определение степени пенетрации мышечной ткани в сыром и вареном виде (вдоль и поперек волокон).

6.2. Определение пластичности и предельного напряжения сдвига в зависимости от:

- степени измельчения мясного сырья;
- наличия соли или фосфатов;
- уровня замены мяса белковыми препаратами растительного и животного происхождения.

7 Содержание отчета и его форма

В содержание отчета о работе должны быть включены следующие разделы: тема, краткое теоретическое обоснование, цель, методики проведения опытов, результаты органолептической оценки и химических исследований, выводы. Результаты работы оформляются в виде таблицы и текста.

8 Вопросы для защиты работы

1. Характеристика сдвиговых характеристик пищевых продуктов.
2. Влияние технологических факторов на сдвиговые характеристики мяса и мясопродуктов.
3. Принцип работы и устройство капиллярных вискозиметров.
4. Принцип работы и устройство ротационных вискозиметров.
5. Принцип работы и устройство пенетрометров и пластометров.
6. Методика определения пластичности пищевых продуктов.
7. Методика определения предельного напряжения сдвига пищевых продуктов.
8. Методика определения степени пенетрации пищевых продуктов.

Практическая работа 4 Определение компрессионных и поверхностных структурно-механических свойств сырья и готовой продукции

1. Цель и содержание

- 1.1. Изучить устройство, принцип работы приборов для определения компрессионных и поверхностных структурно-механических характеристик.
- 1.2. Овладеть методиками определения относительной деформации при растяжении и сжатии, упругости, напряжения среза, внешнего трения.
- 1.3. Определить относительную деформацию при растяжении и сжатии, упругость, напряжение среза, внешнее трение пищевых продуктов по предложенным вариантам.
- 1.4. Сделать сравнительный анализ полученных экспериментальных и литературных данных.

Формируемые компетенции: ПК-1, ПК-17

2. Теоретическое обоснование

Структурно-механические свойства характеризуют поведение мяса и мясопродуктов в условиях напряженного состояния, основными показателями которого при приложении силы являются напряжение, величина и скорость деформации. В зависимости от характера приложения усилий свойства делятся на

сдвиговые (касательные напряжения), компрессионные (нормальные напряжения растяжения-сжатия) и поверхностные (нормальные и касательные напряжения на границе раздела фаз).

В реальных условиях имеет место сочетание всех свойств, в то же время в зависимости от направленности процесса превалирует одно из них.

Компрессионные свойства проявляются при воздействии на продукт нормальных напряжений (перпендикулярно продукту). Основными типами механической деформации продуктов являются осевое сжатие (растяжение) или объемное сжатие. Продукты при их обработке в ряде видов технологического оборудования (волчки, прессы, шприцы, дозаторы и др.) находятся под повышенным давлением, что приводит к изменению их первоначального объема и плотности. Приборы для измерения компрессионных свойств по принципу действия делят на следующие группы:

- дефометры;
- универсальные приборы;
- консистометры;
- приборы для испытания на срез.

Для проведения оценки нежности мяса до и после тепловой обработки применяются: объективные методы - физические (инструментальные) и химические, связанные с физическими и биохимическими процессами, происходящими в нем, и основанные на определении усилия резания, проникающего усилия, усилия раскусывания, измельчения, растяжения мяса, силы сжатия, содержания соединительной ткани, степени атакуемости белков ферментами пищеварительного тракта и других показателей; субъективные методы - органолептические, как сочность, мягкость, легкость пережевывания и количество остатка после жевания.

Из физических методов оценки нежности мяса наибольшее распространение получили приборы, основанные на определении усилия резания (среза). Однако, следует отметить недостаток этого метода, который заключается в трудности контроля направления мышечных волокон при резании, соблюдения идентичной температуры образцов, остроты лезвия.

При определении усилия резания определяют максимальное усилие резания $P_{\text{ср}}$, которое фиксируется динамометром.

К приборам для определения нежности мяса, работающих по принципу резания можно отнести: прибор Леймана, прибор Уорнера-Брацлера, прибор Крамера, прибор ПМ - 3 Большакова А.С. и др., прибор фирмы Инстрон и ряд других.

3. Аппаратура и материалы

Аппаратура: консистометр, прибор для определения усилия среза, весы аналитические, электрическая плитка, шкаф сушильный электрический с терморегулятором, секундомер.

Материалы: пищевые продукты: нативное и измельченное мясное сырье, растворы, сухие порошки.

4. Организация работы

Работа выполняется бригадами из 3-4 студентов по предложенным преподавателем вариантам с образцами пищевых продуктов.

5. Методики исследования и порядок выполнения работы

5.1. Определение напряжения среза

Изучить назначение и конструкцию прибора.

Назначение. Лабораторный прибор предназначен для определения усилия среза и напряжения среза для целых тканей мяса, а также для определения усилия среза (нежности) колбасных и других мясных изделий.

Конструкция прибора. Общий вид конструкции лабораторного прибора представлен на рис. 3.1. Прибор состоит из основания (1), П - образной вертикальной стойки (2), на которой в верхней части закреплен держатель образцов (3), подвижной планки (4), в которой установлен режущий орган (5), динамометра (6) и нити (7).

Вначале проверяют правильность установки прибора. Проверяют заточку ножа, его крепление в держателе. Правильность установки нуля на динамометре, прочность крепления динамометра к подвижной планке прибора.

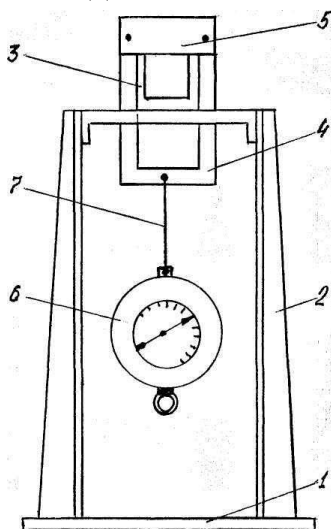


Рис. 4.1 Лабораторный прибор для определения усилия среза

Перед началом испытаний производят выбор режущего органа (ножа), который затем закрепляется с помощью винтов к планке прибора. Подготовленный образец закладывают в держатель и, взявшись пальцем руки за кольцо

динамометра, производят движение ножа вниз. Резание рекомендуется производить без рывков и не слишком медленно, стараясь соблюдать одинаковую скорость движения ножа. В процессе резания по показанию максимальной силы фиксируют значение усилия среза. По окончании процесса резания производят подъем ножа в исходное положение и одновременно осуществляют перемещение испытываемого образца вдоль держателя под лезвие ножа и снова проводят испытание.

Для испытаний готовят 5 образцов вдоль волокон по длине и 5 образцов поперек волокон по длине массой около 100 г. Взвешивают, упаковывают в фольгу и помещают их одновременно в емкость с водой, имеющей температуру 90 °С, и варят: первый - 10 мин, второй - 20 мин, третий - 30 мин, четвертый - 60 мин и пятый - 90 мин. После образец вынимают, разворачивают, остужают до комнатной температуры. Далее из каждого куска вырезают 2-3 образца прямоугольной формы размерами 10×10×40 мм. При вырезании необходимо следить, чтобы направление мышечных волокон в образце было строго параллельно или перпендикулярно направлению движения режущего органа.

На одном образце делают измерение 3-5 раз, каждый раз снимая показания динамометра. Таким же образом проводят испытания и для других кусков мяса. Проведите испытания образцов и результаты измерения запишите в табл.

3.1.

Таблица 4.1

Образец	Время варки, $\square$, мин	Поперек волокон P_{cp} , Н	Среднее значение P_{cp} , Н	Вдоль волокон P_{cp} , Н	Среднее значение P_{cp} , Н
1	10	1 2 3 4 5		1 2 3 4 5	
2	20	1 2 3 4 5		1 2 3 4 5	
3	30				
4	60				
5	90				

По результатам испытаний (табл. 4.1) построить график изменения усилия среза P_{cp} , от продолжительности варки $\square$. Сделать вывод.

5.1. Определение пластичности

Навеску мясного фарша (0,3 г) отвешивают на торсионных весах на кружке из полиэтилена диаметром 15-20 мм и переносят ее на беззольный фильтр так, чтобы навеска оказалась под кружком полиэтилена. Сверху и снизу навески устанавливают стеклянную пластинку 10х10см, на которую устанавливают груз массой 1 кг и продолжают прессование 10 мин. После этого фильтр с навеской освобождают от нагрузки, а затем химическим карандашом очерчивают контур пятна вокруг прессованного мяса.

С помощью миллиметровой бумаги определяют площадь пятна образованного мясом, которая и определяет пластичность мяса.

5.3. Определение консистенции

Приборы для определения консистенции плотных пищевых продуктов отличаются большим разнообразием. Пенетromетры и консистометры оборудуются рабочими органами (плунжерами) различной формы и размеров (иглы, пластины, конусы, трубчатые, фигурные и т.д.). В этих приборах определяется или глубина проникновения плунжера в продукт, или измеряется сила сжатия (раздавливания), или сопротивление прониканию через продукт. Сравнивая полученные результаты, делают вывод о консистенции исследуемых продуктов.

Установив в рабочем органе консистометра Гепплера иглу (набор игл) определяют **степень пенетрации** по глубине проникновения иглы в исследуемый продукт (в мм).

6. Варианты лабораторной работы

6.1. Определение напряжения среза, степени пенетрации мышечной ткани в сыром и вареном виде (вдоль и поперек волокон).

6.2. Определение напряжения среза и степени пенетрации в зависимости от:

- вида мясного сырья;
- анатомического расположения мышц;
- наличия соли или фосфатов;

7 Содержание отчета и его форма

В содержание отчета о работе должны быть включены следующие разделы: тема, краткое теоретическое обоснование, цель, методики проведения опытов, результаты органолептической оценки и химических исследований, выводы. Результаты работы оформляются в виде таблицы и текста.

9 Вопросы для защиты работы

1. Что понимают под нежностью мяса, продуктов?
2. Перечислите инструментальные методы, с помощью которых оценивается нежность мяса и мясопродуктов.
3. Органолептическая оценка нежности мяса и мясных продуктов, ее недостатки.
4. Проанализируйте устройство и принцип работы лабораторного прибора для определения нежности мяса.
5. Дайте описание методике измерения усилия среза.
6. Дайте объяснение полученным результатам испытаний.
7. Назовите, какие прижизненные факторы влияют на нежность мяса.
8. Перечислите, от каких послеубойных факторов зависит нежность мяса.
9. Какие современные способы механической обработки используются в технологиях для придания мясу нежности.

Практическая работа 5 Влияние длительности куттерования на структурно-механические показатели фарша

1. Цель и содержание

- 1.1. Изучить изменения качественных показателей мясных фаршевых систем в процессе куттерования.
- 1.2. Овладеть методиками определения содержания влаги, водосвязывающей способности и предельного напряжения сдвига.
- 1.3. Определить изменение содержания влаги, водосвязывающей способности и предельного напряжения сдвига в зависимости от длительности куттерования по предложенным вариантам.
- 1.4. Построить график зависимости изменения водосвязывающей способности и предельного напряжения сдвига мясного фарша в зависимости от длительности куттерования
- 1.4. Сделать сравнительный анализ полученных экспериментальных и литературных данных.

Формируемые компетенции: ПК-1, ПК-17

2. Теоретическое обоснование

С целью получения однородного монолитного фарша нежной консистенции при производстве вареных колбас, сосисок, сарделек, ливерных колбас и паштетов мясо подвергают тонкому измельчению (куттерованию), при котором происходит

значительное разрушение структуры клеток и волокон. При этом обеспечивается равномерное перемешивание компонентов фарша, высокая его вязкость и влагоудерживающая способность. Режущий механизм куттера состоит из серповидных ножей, вращающихся со скоростью от 1500 до 4000 об/мин. При обработке на куттере мясной фарш нагревается, поэтому в процессе куттерования добавляют холодную воду и лед, а также контролируют температуру фарша, которая не должна превышать 12⁰С. Продолжительность куттерования составляет 5-8 мин в зависимости от вида мясного сырья и получаемого продукта, а также используемого оборудования. Мясо загружают в куттер в определенной последовательности: вначале говядину или нежирную свинину, а затем полужирную свинину, белковые препараты. Крахмал, специи, пряности и шпик рекомендуется вносить на заключительной стадии куттерования.

Процесс куттерования вызывает не только механическое разрушение мышечной ткани, но и обуславливает химические изменения, что ведет к связыванию воды с белком и эмульгирование жира. Важное значение для этих процессов имеет содержание миофибриллярных белков в мышечной ткани (актина, миозина, актомиозина). В процессе куттерования к фаршу добавляют фосфаты, которые способствуют расщеплению актомиозина на актин и миозин, которые лучше поглощают и удерживают воду, а также легче переводятся в растворимое состояние. Для получения стабильной системы необходимо достижение оптимальной степени измельчения и конечной температуры фарша.

Процесс куттерования состоит из трех основных периодов. В начальный период куттерования размеры частиц уменьшаются незначительно, т.к. добавляемая в куттер вода перемешивается с частицами фарша, образуя вокруг них толстые прослойки, что облегчает деформацию частиц, а предельное напряжение сдвига в конце этого периода имеет минимальное значение. На втором (основном) этапе куттерования осуществляется интенсивное разрезание частиц, их общая поверхность значительно увеличивается, влага из свободной переходит в поверхностно-связанную и предельное напряжение сдвига достигает максимального значения. Дальнейшее продолжение процесса (следующий период) ведет к перекуттерованию фарша, чрезмерному измельчению волокон, резкому повышению температуры, аэрированию фарша и слиянию частиц жира, а также падению ПНС.

3. Аппаратура и материалы

Аппаратура: электромясорубка, микроизмельчитель или куттер, пенетрометр, торсионные весы, шкаф сушильный электрический с терморегулятором, секундомер.

Материалы: нативное и измельченное мясное сырье, бюксы, стеклянные пластины, фильтровальная бумага.

4. Организация работы

Работа выполняется бригадами из 3-4 студентов по предложенным преподавателем вариантам. Через определенные промежутки времени куттерования проводится отбор проб фарша для определения в них качественных показателей, указанных в разделе 5.

5. Методики исследования и порядок выполнения работы

5.1. Определение массовой доли влаги

Определение массовой доли влаги в продукте осуществляется методом высушивания навески в сушильном шкафу при температуре 130⁰С в течение одного часа.

Навеску измельченного продукта массой 3 г, взвешенную в бюксе с точностью до 0,0002 г, высушивают при указанных параметрах. После охлаждения бюксы в эксикаторе и взвешивания, рассчитывают массовую долю влаги по следующей формуле:

$$A = (m_1 - m_2) \cdot 100 / (m_1 - m),$$

где A – массовая доля влаги в продукте, %; m –

масса бюксы, г; m₁ – масса навески с бюксой до

высушивания, г; m₂ – масса навески с бюксой

после высушивания, г.

Полученные результаты экспериментальных исследований заносятся в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты исследований массовой доли влаги в образцах модельных фаршевых систем

Образцы	Масса бюксы, г	Масса бюксы с навеской, г	Масса навески, г	Масса бюксы с навеской после	Содержание влаги, %
---------	----------------	---------------------------	------------------	------------------------------	---------------------

высуши-

5.3 Определение водосвязывающей способности (ВСС) фарша

Метод основан на определении количества воды, выделяемой из мяса при легком прессовании, которая впитывается фильтровальной бумагой, образуя влажное пятно.

Перед исследованием фильтр помещают на стеклянную пластинку 10x10. Навеску мясного фарша (0,3 г) отвешивают на торзионных весах на кусочке из полиэтилена размером 30-40 мм и переносят ее на беззольный фильтр так, чтобы

навеска оказалась под кружком полиэтилена. Сверху навеску покрывают такой же пластинкой и устанавливают на нее груз массой 1 кг и продолжают прессование 10 мин. После этого фильтр с навеской освобождают от нагрузки, а затем химическим карандашом очеркивают контур пятна вокруг прессованного мяса. Внешний контур вырисовывают при высыхании фильтровальной бумаги на воздухе.

С помощью миллиметрированной бумаги определяют площади пятна, образованного мясом и выделившейся влагой, впитанной фильтровальной бумагой.

Размер влажного пятна вычисляют по разности между общей площадью и площадью пятна, образованного мясом.

Экспериментально установлено, что 1 см² площади влажного пятна фильтра соответствует 8,4 мг воды.

Содержание связанной влаги вычисляем по формулам:

$$X = \frac{A - 8,4B}{100, m} \cdot 100, \quad X_2 = \frac{A - 8,4B}{100, m} \cdot 100$$

где X – содержание связанной влаги, % к навеске;

A – общая массовая доля влаги в навеске, мг;

B – площадь влажного пятна, см²;

m – масса навески мяса, мг;

X_2 – массовая доля связанной влаги, % к общей влаге.

Результаты исследований образцов модельных фаршевых систем сводятся в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты исследований ВСС и ВУС в образцах модельных фаршевых систем

Образцы	Масса навески, г	Массовая доля общей влаги, %	Массовая доля влаги в навеске, %	Площадь влажного пятна, см ²	ВСС, % к навеске	ВСС, % к общей влаге

5.2. Определение предельного напряжения сдвига (ПНС)

Определение ПНС проводится на консистометре Гепплера. Емкость для продукта заполняется исследуемым образцом, поверхность разравнивается шпателем или ножом, устанавливая её уровень относительно нулевого деления шкалы прибора. По шкале определяют глубину погружения конуса в продукт (в мм), устанавливая и подбирая определённый груз. Предельное напряжение сдвига определяют по формуле:

$$m$$

$$\sigma_i \sigma^K \text{ --- } h_2, \text{ где}$$

σ_0 - предельное напряжение сдвига, Па σ - константа конуса, для $\sigma = 60^\circ$, $\sigma = 2,1 \text{ м/кг м}$ - масса конуса со штангой и дополнительным грузом, кг h - глубина погружения конуса, м

Результаты исследования сводят в табл.5.3

Таблица 5.3

Исследуемый продукт	Масса конуса, кг	Константа конуса, м/кг	Глубина погружения конуса, м	ПНС, Па	Среднеарифм.

6. Содержание отчета и его форма

В содержание отчета о работе должны быть включены следующие разделы: тема, краткое теоретическое обоснование, цель, методики проведения опытов, результаты экспериментальных исследований, график зависимости изменения исследуемых показателей от длительности куттерования, выводы. Результаты работы оформляются в виде таблиц, графика и текста.

7. Вопросы для защиты работы

1. Принцип работы и устройство куттера.
2. Порядок закладки сырья в куттер.
3. Изменение физико-химических и структурно-механических характеристик в процессе куттерования.
4. Регулирование структурно-механических характеристик фарша в процессе куттерования.
5. Методика определения массовой доли влаги в пищевых продуктах.
6. Методика определения предельного напряжения сдвига пищевых продуктов.
7. Методика определения влагосвязывающей способности фарша.

Тема 3. Методы и приборы для измерения структурно-механических свойств пищевых продуктов
Практическая работа 6 Влияние пищевых добавок животного происхождения на структурномеханические показатели пищевых продуктов

Формируемые компетенции: ПК-1, ПК-17

1. Цель и содержание

1.1. Изучить влияние пищевых добавок животного происхождения на структурно-механические показатели сырых и термообработанных пищевых продуктов.

1.2. Закрепить навыки методик определения содержания влаги, водосвязывающей способности и предельного напряжения сдвига.

1.3. Определить изменение содержания влаги, водосвязывающей способности и предельного напряжения сдвига в зависимости от вида и уровня введения добавок животного происхождения по предложенным вариантам.

1.4. Построить график зависимости изменения водосвязывающей способности и предельного напряжения сдвига мясного фарша в зависимости от вида и уровня введения добавок животного происхождения

1.4. Сделать сравнительный анализ полученных экспериментальных и литературных данных.

2. Теоретическое обоснование

К белковым препаратам животного происхождения относятся как продукты переработки мяса – это гидролизаты из свиной шкурки, так и препараты, вырабатываемые из белков молока.

Молочно-белковые препараты получают из обезжиренного молока или сыворотки, удаляя воду, минеральные вещества, лактозу при одновременном концентрировании белков.

Они должны содержать (по сухому остатку) белка □ 50-75 %, жира □ не более 1,5 %, углеводов □ до 16 %.

Молочно-белковые концентраты делятся на жидкие и пастообразные (влаги до 80%) и сухие (влаги до 12%).

В зависимости от белкового состава выпускают следующие виды молочнобелковых концентратов: пищевой казеин, казеинаты, копреципитаты в нерастворимой и растворимой форме, сывороточные белковые концентраты.

Казеин и казеинаты получают из обезжиренного молока с применением кислотной коагуляции белков, копреципитаты □ термокальциевой и

термокислотной коагуляции.

В отличие от казеината натрия в копреципитатах содержится как казеин, так и сывороточные белки. Сывороточные белки по своему аминокислотному составу значительно богаче, чем казеин, т.к. содержат серосодержащие аминокислоты, что обуславливает их большую пищевую ценность.

Значительные ресурсы ценного животного белка имеются в молочной сыворотке – побочном продукте, получаемом при производстве сыра и творога.

Основные качественные показатели молочно-белковых концентратов приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Качественные показатели молочно-белковых концентратов

Концентрат	Содержание, %						pH	Растворимость
	белка	жира	лактозы	влаги	зола	кальция		
Сухое обезжиренное молоко	40	1,5	52	4-7	8	1,2	-	-
Казеинат натрия	85	1,5-2	0,5-1	6	4-4,5	0,5	6,2-6,9	0,1-0,2
Растворимые копреципитаты:								
-низкокальцевый	80 79,1 72,1	2,1 1,1 1,1	2,5 3,5 5	6 5,7 6,3	6 5,7 6,3	1 2 3	5,8-6 6,9 7,0	1,1 - -
-среднекальцевый								
-высококальцевый.								
Сухой молочный белок	79	1,4	13,5	7	7	1,5	-	-
Гель-форма копреципитата	35	-	1,2	55	5-5,4	0,7-0,8	6,7-7	0,8-1
Сывороточный белковый (КСБ)	40	1,5	40	6-9	8	-	-	-
Сухой молочный продукт	27,7	1,4	48,7	5,5-6	11,8	-	-	-
Бифидогенный концентрат	8,9	1,5	49,2/15,5	6	14,1	-	-	1,4
Концентрат нативного казеина	60	-	18-20	8-10	5-5,5	пектин 5-8	6,8-7	-

Наиболее высокое содержание белка имеют казеинат натрия и копреципитаты, за исключением гель-формы копреципитата. Сывороточные белковые концентраты отличаются повышенным содержанием лактозы.

Отличительной особенностью молочных белков (по сравнению с растительными) является их способность легко расщепляться под действием ферментов желудочно-кишечного тракта и образовывать при этом пептиды и свободные аминокислоты, быстро всасывающиеся в кровь. В отличие от белков мяса молочные белки не содержат пуриновых оснований, избыток которых ухудшает обмен веществ в организме.

По аминокислотному составу молочно-белковые концентраты приближаются к яичному и мясному белку и превосходят многие другие белки. Казеинат натрия обладает высокой эмульгирующей способностью и превышает по этому показателю копреципитаты, цельное молоко, концентрат сывороточных белков, растительные и другие немясные белки. При добавлении поваренной соли стабильность эмульсии с казеинатами повышается. Казеинат натрия имеет высокую растворимость при pH 7,0. Содержание соли не влияет на растворимость казеината натрия и повышает вязкость его растворов. В отличие от соевых белков казеинат натрия не обладает гелеобразующей способностью.

Аминокислотный состав молочно-белковых препаратов представлен в таблице 11.

На водо- и жиरोудерживающую способность молочно-белковых препаратов влияет способ их получения (тепловая или кислотная коагуляция), химический состав, наличие солей, величина pH. Влагосвязывающая способность (ВСС) сухого обезжиренного молока составляет 58%, казеината натрия – 270%. Низкая ВСС сухого обезжиренного молока объясняется высоким содержанием в нем ионов кальция, магния, цинка и лактозы.

Таблица 11 – Аминокислотный состав молочно-белковых препаратов

Показатели	Казеинат натрия	Концентрат сывороточных белков	Копреципитат растворимый	Сухое обезжиренное молоко

Содержание белка, %	85	88	80	37,9
Незаменимые аминокислоты, г на 100 г белка:				
- изолейцин	4,5	5,3	6,8	5,1
- лейцин	7,8	10,8	8,3	9,4
- лизин	7,6	9,4	8,1	6,0
- метионин	2,5	2,8	2,6	2,1
- цистеин	1,0	1,3	1,0	1,0
- фенилаланин	4,4	3,8	4,0	4,7
- треонин	3,8	6,4	4,9	4,5
- триптофан	1,4	1,8	1,4	1,2
- валин	6,0	5,1	5,9	4,6

Благодаря почти полному отсутствию лактозы, кальция и высоким функциональным свойствам казеинат натрия применяют при производстве пищевых продуктов как эмульгатор, а сухое обезжиренное молоко □ как наполнитель. Нерастворимые копреципитаты значительно уступают по всем свойствам казеинату натрия и поэтому имеют ограниченное применение, в основном, как наполнитель. Растворимый низкокальциевый копреципитат несколько превышает казеинат натрия по влагосвязывающей способности, имеет хорошую эмульгирующую способность и лучший вкус.

Сывороточные белковые концентраты обладают высокой эмульгирующей способностью, несколько снижающейся при добавлении соли. При нагревании они образуют гель, но нестабильный, соль оказывает положительное действие на крепость геля и не влияет на растворимость, набухаемость и вязкость сывороточных белковых концентратов.

Таким образом, молочно-белковые концентраты при производстве пищевых продуктов можно применять как эмульгаторы и связующие вещества.

3. Аппаратура и материалы

Аппаратура: электромясорубка, микроизмельчитель или куттер, пенетромтр, торзионные весы, шкаф сушильный электрический с терморегулятором, секундомер.

Материалы: нативное и измельченное мясное сырье, бюксы, стеклянные пластины, фильтровальная бумага.

4. Организация работы

Работа выполняется бригадами из 3-4 студентов по предложенным преподавателем вариантам. Через определенные промежутки времени

куттерования проводится отбор проб фарша для определения в них качественных показателей, указанных в разделе 5.

5. Методики исследования и порядок выполнения работы

5.1. Определение массовой доли влаги

Определение массовой доли влаги в продукте осуществляется методом высушивания навески в сушильном шкафу при температуре 130⁰С в течение одного часа.

Навеску измельченного продукта массой 3 г, взвешенную в бюксе с точностью до 0,0002 г, высушивают при указанных параметрах. После охлаждения бюксы в эксикаторе и взвешивания, рассчитывают массовую долю влаги по следующей формуле:

$$A = (m_1 - m_2) \cdot 100 / (m_1 - m),$$

где А – массовая доля влаги в продукте, %; m –

масса бюксы, г; m₁ – масса навески с бюксой до

высушивания, г; m₂ – масса навески с бюксой

после высушивания, г.

Полученные результаты экспериментальных исследований заносятся в таблицу 14.

Таблица 14 – Результаты исследований массовой доли влаги в образцах модельных фаршевых систем

Образцы	Масса бюксы, г	Масса бюксы с навеской, г	Масса навески, г	Масса бюксы с навеской после	Содержание влаги, %
---------	----------------	---------------------------	------------------	------------------------------	---------------------

высуши-

5.3 Определение водосвязывающей способности (ВСС) фарша

Метод основан на определении количества воды, выделяемой из мяса при легком прессовании, которая впитывается фильтровальной бумагой, образуя влажное пятно.

Перед исследованием фильтр помещают на стеклянную пластинку 10х10. Навеску мясного фарша (0,3 г) отвешивают на торсионных весах на кусочке из полиэтилена размером 30-40 мм и переносят ее на беззольный фильтр так, чтобы навеска оказалась под кружком полиэтилена. Сверху навеску покрывают такой же пластинкой и устанавливают на нее груз массой 1 кг и продолжают прессование 10 мин. После этого фильтр с навеской освобождают от нагрузки, а затем химическим

карандашом очеркивают контур пятна вокруг прессованного мяса. Внешний контур вырисовывают при высыхании фильтровальной бумаги на воздухе.

С помощью миллиметрированной бумаги определяют площади пятна, образованного мясом и выделившейся влагой, впитанной фильтровальной бумагой.

Размер влажного пятна вычисляют по разности между общей площадью и площадью пятна, образованного мясом.

Экспериментально установлено, что 1 см² площади влажного пятна фильтра соответствует 8,4 мг воды.

Содержание связанной влаги вычисляем по формулам:

$$X = \frac{A - 8,4B}{100}, \quad X_2 = \frac{A - 8,4B}{100 + m - A}$$

где X – содержание связанной влаги, % к навеске;

A – общая массовая доля влаги в навеске, мг;

B – площадь влажного пятна, см²;

m – масса навески мяса, мг;

X_2 – массовая доля связанной влаги, % к общей влаге.

Результаты исследований образцов модельных фаршевых систем сводятся в таблицу 15.

Таблица 15 – Результаты исследований ВСС и ВУС в образцах модельных фаршевых систем

Образцы	Масса навески, г	Массовая доля общей влаги, %	Массовая доля влаги в навеске, %	Площадь влажного пятна, см ²	ВСС, % к навеске	ВСС, % к общей влаге

5.2. Определение предельного напряжения сдвига (ПНС)

Определение ПНС проводится на консистометре Гепплера. Емкость для продукта заполняется исследуемым образцом, поверхность разравнивается шпателем или ножом, устанавливая её уровень относительно нулевого деления шкалы прибора. По шкале определяют глубину погружения конуса в продукт (в мм), устанавливая и подбирая определённый груз. Предельное напряжение сдвига определяют по формуле:

$$\sigma_i = \frac{m}{h_2} K, \text{ где}$$

σ_0 - предельное напряжение сдвига, Па σ - константа конуса, для $\alpha = 60^\circ$, $\sigma = 2,1 \text{ м/кг m}$ - масса конуса со штангой и дополнительным грузом, кг h - глубина погружения конуса, м

Результаты исследования сводят в табл.2

Таблица 2

Исследуемый продукт	Масса конуса, кг	Константа конуса, м/кг	Глубина погружения конуса, м	ПНС, Па	Среднеарифм.

6. Содержание отчета и его форма

В содержание отчета о работе должны быть включены следующие разделы: тема, краткое теоретическое обоснование, цель, методики проведения опытов, результаты экспериментальных исследований, график зависимости изменения исследуемых показателей от длительности куттерования, выводы. Результаты работы оформляются в виде таблиц, графика и текста.

7. Вопросы для защиты работы

1. Принцип работы и устройство куттера.
2. Порядок закладки сырья в куттер.
3. Изменение физико-химических и структурно-механических характеристик в процессе куттерования.
4. Регулирование структурно-механических характеристик фарша в процессе куттерования.
5. Методика определения массовой доли влаги в пищевых продуктах.
6. Методика определения предельного напряжения сдвига пищевых продуктов.
7. Методика определения влагосвязывающей способности фарша

Практическая работа 7 Влияние пищевых добавок растительного происхождения на структурномеханические показатели пищевых продуктов

Формируемые компетенции: ПК-1, ПК-17

1. Цель и содержание

1.1. Изучить влияние пищевых добавок растительного происхождения на структурно-механические показатели сырых и термообработанных пищевых продуктов.

1.2. Закрепить навыки методик определения содержания влаги, водосвязывающей способности и предельного напряжения сдвига.

1.3. Определить изменение содержания влаги, водосвязывающей способности и предельного напряжения сдвига в зависимости от вида и уровня введения добавок растительного происхождения по предложенным вариантам.

1.4. Построить график зависимости изменения водосвязывающей способности и предельного напряжения сдвига мясного фарша в зависимости от вида и уровня введения добавок растительного происхождения

1.4. Сделать сравнительный анализ полученных экспериментальных и литературных данных.

2. Теоретическое обоснование

Растительные белки, благодаря высокому содержанию белковых веществ, хорошей усвояемости и питательным свойствам, низкому содержанию жира, имеют высокую биологическую ценность и занимают значительное место в питании человека. Это в равной степени относится к различным видам зерновых (пшеница), масличных (рапс, подсолнечник, хлопчатник), стручковых (бобы, горох, нут, чечевица), а также к соевым белкам.

В настоящее время производят три основных типа соевого белка: изолированный, концентрат и муку, а также их текстурированные формы.

Соевую муку и крупу, содержащие около 50% белка, получают из соевых белков после экстракции жира гексаном. При размоле обезжиренных хлопьев образуются мелкие частицы (соевая мука) и более крупные (соевая крупа). Выпускаются следующие виды соевой муки (крупы): “Мира-Текс” 210-1 фирмы

“Steily” (США), “Синтекс” фирмы “Централ Соя” (США), TVP фирмы АДМ (США) и др.

Соевый белковый концентрат вырабатывается из соевой крупы, в которой удаляют растворимые углеводы, а белок переводят в нерастворимую форму и доводят его содержание до 70%, что улучшает вкус и качество препаратов. Известны следующие концентраты: “Прокон 2000”, “Прокон 2060” фирмы “Стейли” (США); ”Промосой 100”, ”Промосой 200” фирмы “Централ Соя” (США), “Унико” и “Унибит” фирмы “Юниливер” (Голландия) и др. В настоящее время выпускаются функциональные белковые концентраты.

Изолированные соевые белки □ высокоочищенные белковые препараты, не имеющие ни вкуса, ни запаха. Среди них: “Промин Д”, “Промин F”, “Промин ДХВ” “Протеин 500Е” фирм “Централ Соя” и “Ралстон Пурина” (США) и др.

Любой из перечисленных соевых препаратов может выпускаться в текстурированном виде. Текстурированные белки могут иметь разную форму, цвет, степень регидратации, что позволяет использовать их для имитации цвета и текстуры различных видов мясопродуктов.

Основные качественные показатели соевых препаратов приведены в таблице 7.

Таблица 7 □ Химический и аминокислотный составы соевых препаратов

Показатели	Обезжиренная соевая мука (круп)	Концентрат соевого белка	Изолят соевого белка
Содержание, %:			
- воды 6 - 9 4 - 8	5 - 7		
- белка 49 - 53	62 - 70 85 - 90		
- жира 1 - 6 1,5 -	2,0 0,3 - 1,0		
-целлюлозы 3 -	4 4 - 5 0,1		
- золы 5 - 7 6,8 -	8,0 4,0 - 6,5		
- углеводы 29 -	31 21 - 23 -		
Незаменимые аминокислоты, г на 100 г белка:			

- изолейцин	4,6	4,9	4,8
- лейцин	2,7	8,0	7,8
- лизин	6,2	6,2	6,0
- метионин	1,3	1,3	1,0
- цистеин	1,2	1,6	1,0
- фенилаланин	5,3	5,3	5,5
- треонин	4,2	4,3	3,7
- триптофан	1,4	1,4	1,3
- валин	4,9	5,0	4,8

Соевые белковые молекулы содержат экспонированные полярные боковые цепи и склонны абсорбировать воду и задерживать её в готовых мясных продуктах.

Гелеобразованием обладают только изолированные соевые белки, которые дают эластичные и упругие гели. Установлено, что 8-14 %-ные водные дисперсии изолята соевого белка переходят в гель в течение 10-13 мин при температуре 70-100°C, с повышением содержания соли крепость геля снижается.

Соевые белки способствуют образованию и стабилизации эмульсий типа жир в воде. Белки снижают поверхностное натяжение, собираются на поверхности раздела фаз жир:вода, образуя защитный барьер вокруг жировых капелек, препятствуя их слиянию. Величина pH влияет на эмульгирующую способность белковых препаратов косвенно, воздействуя на их растворимость. Основные функциональные свойства соево-белковых препаратов представлены в таблице 8.

Таблица 8 □ Функциональные свойства соево-белковых препаратов

Показатели	Концентрат соевого белка	Изолят соевого белка
Гель холодного затвердевания с солью, г белка на 100 мл воды	19,5 - 34,0	19,5 - 20,5
Жиросвязывающая способность, %	-	87,1 - 130,6
Устойчивость эмульсии, % (потери при термообработке)	Эмульсии не образует	23 - 30

3. Аппаратура и материалы

Аппаратура: электромясорубка, микроизмельчитель или куттер, пенетрометр, торзионные весы, шкаф сушильный электрический с терморегулятором, секундомер.

Материалы: нативное и измельченное мясное сырье, бюксы, стеклянные пластины, фильтровальная бумага.

4. Организация работы

Работа выполняется бригадами из 3-4 студентов по предложенным преподавателем вариантам. Через определенные промежутки времени куттерования проводится отбор проб фарша для определения в них качественных показателей, указанных в разделе 5.

5. Методики исследования и порядок выполнения работы

5.1. Определение массовой доли влаги

Определение массовой доли влаги в продукте осуществляется методом высушивания навески в сушильном шкафу при температуре 130⁰С в течение одного часа.

Навеску измельченного продукта массой 3 г, взвешенную в бюксе с точностью до 0,0002 г, высушивают при указанных параметрах. После охлаждения бюксы в эксикаторе и взвешивания, рассчитывают массовую долю влаги по следующей формуле:

$$A = (m_1 - m_2) \cdot 100 / (m_1 - m),$$

где A – массовая доля влаги в продукте, %; m – масса бюксы, г; m₁ – масса навески с бюксой до высушивания, г; m₂ – масса навески с бюксой после высушивания, г.

Полученные результаты экспериментальных исследований заносятся в таблицу 14.

Таблица 14 – Результаты исследований массовой доли влаги в образцах модельных фаршевых систем

Образцы	Масса бюксы, г	Масса бюксы с навеской, г	Масса навески, г	Масса бюксы с навеской после	Содержание влаги, %
---------	----------------	---------------------------	------------------	------------------------------	---------------------

5.3 Определение водосвязывающей способности (ВСС) фарша

Метод основан на определении количества воды, выделяемой из мяса при легком прессовании, которая впитывается фильтровальной бумагой, образуя влажное пятно.

Перед исследованием фильтр помещают на стеклянную пластинку 10х10. Навеску мясного фарша (0,3 г) отвешивают на торсионных весах на кусочке из полиэтилена размером 30-40 мм и переносят ее на беззольный фильтр так, чтобы навеска оказалась под кружком полиэтилена. Сверху навеску покрывают такой же пластинкой и устанавливают на нее груз массой 1 кг и продолжают прессование 10 мин. После этого фильтр с навеской освобождают от нагрузки, а затем химическим карандашом очерчивают контур пятна вокруг прессованного мяса. Внешний контур вырисовывают при высыхании фильтровальной бумаги на воздухе.

С помощью миллиметровой бумаги определяют площади пятна, образованного мясом и выделившейся влагой, впитанной фильтровальной бумагой.

Размер влажного пятна вычисляют по разности между общей площадью и площадью пятна, образованного мясом.

Экспериментально установлено, что 1 см² площади влажного пятна фильтра соответствует 8,4 мг воды.

Содержание связанной влаги вычисляем по формулам:

$$X = \frac{A \cdot 8,4B}{A \cdot 8,4B + 100, m} \cdot 100, \quad X_2 = \frac{A \cdot 8,4B}{A \cdot 8,4B + 100, m} \cdot 100$$

где X – содержание связанной влаги, % к навеске;

A – общая массовая доля влаги в навеске, мг;

B – площадь влажного пятна, см²;

m – масса навески мяса, мг;

X_2 – массовая доля связанной влаги, % к общей влаге.

Результаты исследований образцов модельных фаршевых систем сводятся в таблицу 15.

Таблица 15 – Результаты исследований ВСС и ВУС в образцах модельных фаршевых систем

Образцы	Масса навески, г	Массовая доля общей влаги, %	Массовая доля влаги в	Площадь влажного пятна, см ²	ВСС, % к навеске	ВСС, % к общей влаге

			навеске, %			
--	--	--	---------------	--	--	--

5.2. Определение предельного напряжения сдвига (ПНС)

Определение ПНС проводится на консистометре Гепплера. Емкость для продукта заполняется исследуемым образцом, поверхность разравнивается шпателем или ножом, устанавливая её уровень относительно нулевого деления шкалы прибора. По шкале определяют глубину погружения конуса в продукт (в мм), устанавливая и подбирая определённый груз. Предельное напряжение сдвига определяют по формуле:

$$\sigma_o = \frac{m}{K} h_2, \text{ где}$$

σ_o - предельное напряжение сдвига, Па K - константа конуса, для $\alpha = 60^\circ$, $K = 2,1 \text{ м/кг}$ m - масса конуса со штангой и дополнительным грузом, кг h - глубина погружения конуса, м

Результаты исследования сводят в табл.2

Таблица 2

Исследуемый продукт	Масса конуса, кг	Константа конуса, м/кг	Глубина погружения конуса, м	ПНС, Па	Среднеарифм.

6. Содержание отчета и его форма

В содержание отчета о работе должны быть включены следующие разделы: тема, краткое теоретическое обоснование, цель, методики проведения опытов, результаты экспериментальных исследований, график зависимости изменения исследуемых показателей от длительности куттерования, выводы. Результаты работы оформляются в виде таблиц, графика и текста.

7. Вопросы для защиты работы

1. Принцип работы и устройство куттера.
2. Порядок закладки сырья в куттер.
3. Изменение физико-химических и структурно-механических характеристик в процессе куттерования.

4. Регулирование структурно-механических характеристик фарша в процессе куттерования.
5. Методика определения массовой доли влаги в пищевых продуктах.
6. Методика определения предельного напряжения сдвига пищевых продуктов.
7. Методика определения влагосвязывающей способности фарша.

Тема 3. Механические методы интенсификации производства

Практическая работа 8

Изучение адгезионных и когезионных процессов в пищевых продуктах

Формируемые компетенции: ПК-1, ПК-17

1.Цель и содержание

ознакомится с поверхностными характеристиками пищевых материалов, способами и приборами для их измерения; провести исследование адгезионных свойств различных пищевых материалов.

2.Теоретическое обоснование

К основным поверхностным свойствам относятся - адгезия p_0 Па, липкость p_0 , Па, коэффициент внешнего трения f .

Они характеризуют усилие при взаимодействии материалов между поверхностями контакта (адгезию) при нормальном отрыве или сдвиге, которое определяют методом отрыва. При этом, отрыв пищевых материалов друг от друга может быть адгезионным, когезионным и адгезионно-когезионным (смешанным).

Поверхностные свойства продуктов отражают взаимодействие их с твердыми телами и характеризуются такими характеристиками, как липкость (адгезия) и коэффициентом внешнего трения. Данные характеристики используются при выборе материала для изготовления рабочих органов машин, аппаратов.

Значения липкости различных фаршей и мяса представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Значения липкости фарша и мяса

Образцы	Напряжение предварительного контакта, $p_k \cdot 10^{-4}$, Н/м ²	Липкость, $p_o \cdot 10^{-4}$, Па при времени предварительного контакта, мин.		
		1	5	10
Фарш: свиных сарделек докторской колбасы Свинина вдоль волокон	Фторопласт-4			
	0,33	0,88	1,07	1,21
	0,33	0,66	0,84	1,12
	0,33	0,38	0,43	0,38
Фарш: свиных сарделек докторской колбасы	Сталь			
	0,24	0,46	0,65	0,75
	0,24	0,42	0,59	0,66

Значения липкости фарша в зависимости от времени выдержки в посоле представлены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Значения липкости фарша в зависимости от времени выдержки в посоле

Фарш	Давление контактирования, $p_k \cdot 10^{-4}$, Н/м ²	Липкость, $p_o \cdot 10^{-4}$, Па		
		Без выдержки	Выдержка, ч	
			48	96
Говядина куттерованная:				
несоленая	1,42	0,25	-	-
соленая	1,12	0,5	0,57	0,56
Соленая с добавлением 40 % воды	0,54	0,29	0,31	0,27
Свинина без воды соленая	1,42	0,4	0,45	0,44
Свиные сосиски	0,72	0,43	-	-
Любительская колбаса	0,72	0,45	-	-

В настоящее время, внешнее трение мяса и мясопродуктов пока еще мало изучено.

Липкость и коэффициент внешнего трения зависят от условий измерения, материала пластин, площади контакта, длительности и напряжения предварительного контакта, толщины слоя продукта, кинетики приложения отрывающего или сдвигающего усилия.

3. Аппаратура и материалы

Экспериментальной установкой является «Структурометр-СТ 1», схема которого приведена на рис. 7.1. 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;

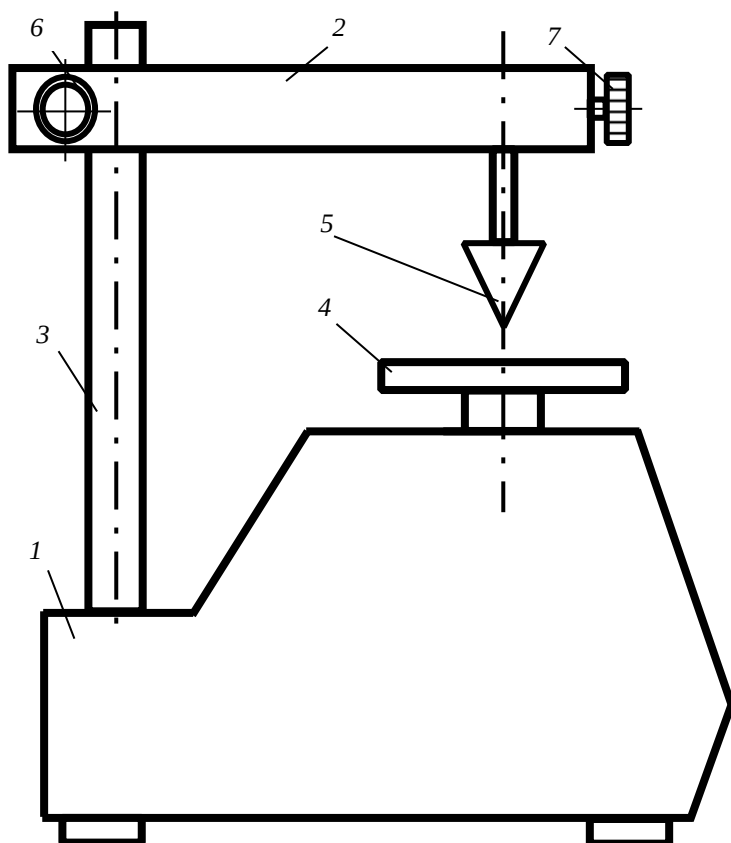


Рис. 7.1. Структурометр-СТ 1

1 – блок управления; 2 – измерительная головка; 3 – штанга; 4 – столик; 5 – инструмент; 6 – винт; 7 – винт

- 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.6.2) 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 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 приборе, 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.

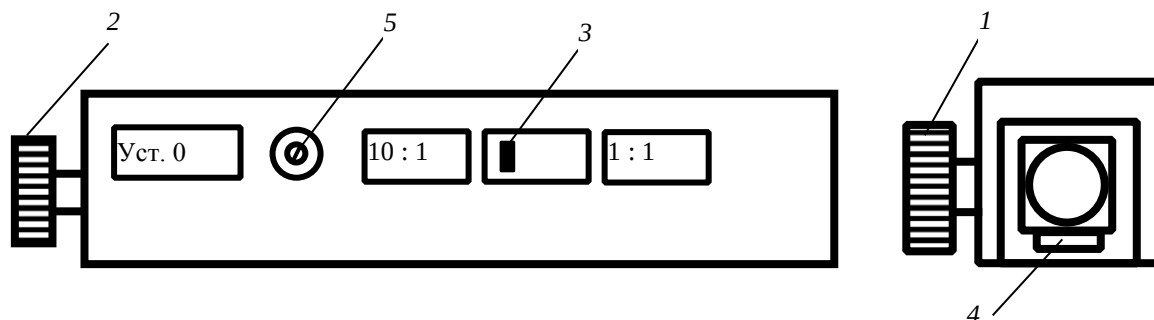


Рис. 7.2. Измерительная головка

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

4. Организация работы

Работа выполняется бригадами из 3-4 студентов по предложенным преподавателем вариантам. Через определенные промежутки времени куттерования проводится отбор проб фарша для определения в них качественных показателей, указанных в разделе 5.

6. Методика и порядок выполнения 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 7.1. 4. Сделать выводы по лабораторной работе.

Методика проведения эксперимента.

1. Перед 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 7.1. Опыт необходимо провести в трех повторностях для трех различных материалов, все данные занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Экспериментальные данные

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

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

7. Вопросы для защиты работы.

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?

Практическая работа 9

Определение липкости пищевых продуктов

1. Цель и содержание

1.1. Изучить методику определения липкости, содержания влаги, водосвязывающей способности и предельного напряжения сдвига.

1.2. Определить изменение липкости пищевых систем в зависимости от содержания влаги, наличия соли и фосфатов, от вида и уровня введения добавок животного и растительного происхождения по предложенным вариантам.

1.3. Сделать сравнительный анализ полученных экспериментальных и литературных данных.

Формируемые компетенции: ПК-1, ПК-7

2. Теоретическое обоснование

Приборы и методы измерения адгезии основаны на разрушении адгезионного соединения путем приложения внешнего усилия. Определение адгезионных свойств продуктов, в зависимости от способа приложения усилия, производят:

методом отрыва и методом сдвига. Для указанных методов могут применяться различные способы их проведения. Разделение (отрыв) контактирующих тел в зависимости от их природы и технологических условий может быть по границе контакта (адгезионный отрыв), по слою продукта (когезионный отрыв) или смешанным (адгезионно-когезионный отрыв). Учитывая эти обстоятельства, перед испытаниями необходимо тщательно подготавливать образцы исследуемого продукта (адгезива) и материала (субстрата) с которым он будет контактировать. При адгезионном отрыве нарушаются внешние связи между материалом и продуктом, которые характеризуют энергию свободной поверхности. При когезионном отрыве нарушаются внутренние связи в продукте, которые зависят от энергии взаимодействия между элементами структуры в условиях объемного напряженного состояния. Для пищевых продуктов чистый адгезионный отрыв наблюдается редко, поэтому в опытах измеряют усилие отрыва материала (субстрата), часто без конкретизации его вида.

На величину адгезии влияют: технологические свойства самого продукта (температура, влажность, состав и др.); марка конструкционного материала; шероховатость поверхности материала; условия измерения (геометрические, кинематические и динамические параметры прибора).

Требования, предъявляемые к адгезиометрам:

- показания приборов должны быть первичными, т.е. не нуждаться в предварительной тарировке на каком-либо эталонном материале и выражаться в абсолютной системе единиц;
- перед измерением продукт должен прижиматься к субстрату для установления контакта и удаления из него воздушных пузырьков;
- нанесение продукта заданной толщины на пластины прибора должно проводиться с помощью шаблона, чтобы исключить влияние толщины на его адгезионные свойства;
- в приборах должна быть предусмотрена возможность замены пластин с целью определения влияния марки материала пластин и степени его обработки (шероховатости) на прочность молекулярных контактов;
- приборы должны допускать возможность варьирования, скорости приложения силы отрыва или сдвига в широком диапазоне, для установления влияния силы отрыва на распределение деформаций и усилий между пластинами и продуктом.

Характеристикой адгезионной способности продукта могут быть следующие величины: сила отрыва, отнесенная к площади контакта; работа отрыва, отнесенная к площади контакта; время, необходимое для разрушения связи между субстратом и адгезивом под действием заданной нагрузки. Удельную минимальную силу иначе называют адгезионной прочностью, адгезионным напряжением (давлением), давлением прилипания или удельным прилипанием.

Приборы для определения адгезионных характеристик по способу приложения нагрузки делят: на адгезиометры с постоянным отрывом,

адгезиометры с мгновенным отрывом, а также на сдвигомеры. При равномерном отрыве нагрузка прикладывается перпендикулярно плоскости субстрата, при этом адгезия характеризуется нормальной силой, отнесенной к единице площади контакта, т.е. нормальным напряжением. При сдвиге определяются касательные напряжения, возникающие при относительном смещении слоев адгезива относительно субстрата. Для исследования адгезии пищевых вязко-пластичных материалов используются приборы, основанные на способе нормального отрыва.

3. Аппаратура и материалы

Аппаратура: электромясорубка, микроизмельчитель или куттер, адгезиометр, торсионные весы, шкаф сушильный электрический с терморегулятором, секундомер.

Материалы: нативное и измельченное мясное сырье, бюксы, стеклянные пластины, фильтровальная бумага.

4. Организация работы

Работа выполняется бригадами из 3-4 студентов по предложенным преподавателем вариантам. Через определенные промежутки времени куттерования проводится отбор проб фарша для определения в них качественных показателей, указанных в разделе 5.

5. Методики исследования и порядок выполнения работы

5.1. Определение массовой доли влаги

Определение массовой доли влаги в продукте осуществляется методом высушивания навески в сушильном шкафу при температуре 130⁰С в течение одного часа.

Навеску измельченного продукта массой 3 г, взвешенную в бюксе с точностью до 0,0002 г, высушивают при указанных параметрах. После охлаждения бюксы в эксикаторе и взвешивания, рассчитывают массовую долю влаги по следующей формуле:

$$A = (m_1 - m_2) \cdot 100 / (m_1 - m),$$

где A – массовая доля влаги в продукте, %; m – масса бюксы, г; m₁ – масса навески с бюксой до высушивания, г; m₂ – масса навески с бюксой после высушивания, г.

Полученные результаты экспериментальных исследований заносятся в таблицу 14.

Таблица 14 – Результаты исследований массовой доли влаги в образцах модельных фаршевых систем

Образцы	Масса бюксы, г	Масса бюксы с навеской, г	Масса навески, г	Масса бюксы с навеской после	Содержание влаги, %
---------	----------------	---------------------------	------------------	------------------------------	---------------------

высуши-

5.3 Определение водосвязывающей способности (ВСС) фарша

Метод основан на определении количества воды, выделяемой из мяса при легком прессовании, которая впитывается фильтровальной бумагой, образуя влажное пятно.

Перед исследованием фильтр помещают на стеклянную пластинку 10х10. Навеску мясного фарша (0,3 г) отвешивают на торзионных весах на кусочке из полиэтилена размером 30-40 мм и переносят ее на беззольный фильтр так, чтобы навеска оказалась под кружком полиэтилена. Сверху навеску покрывают такой же пластинкой и устанавливают на нее груз массой 1 кг и продолжают прессование 10 мин. После этого фильтр с навеской освобождают от нагрузки, а затем химическим карандашом очерчивают контур пятна вокруг прессованного мяса. Внешний контур вырисовывают при высыхании фильтровальной бумаги на воздухе.

С помощью миллиметровой бумаги определяют площади пятна, образованного мясом и выделившейся влагой, впитанной фильтровальной бумагой.

Размер влажного пятна вычисляют по разности между общей площадью и площадью пятна, образованного мясом.

Экспериментально установлено, что 1 см² площади влажного пятна фильтра соответствует 8,4 мг воды.

Содержание связанной влаги вычисляем по формулам:

$$X = \frac{A \cdot 8,4B}{100}, \quad X_2 = \frac{A \cdot 8,4B}{100, m} \cdot A$$

где X – содержание связанной влаги, % к навеске;

A – общая массовая доля влаги в навеске, мг;

B – площадь влажного пятна, см²;

m – масса навески мяса, мг;

X_2 – массовая доля связанной влаги, % к общей влаге.

Результаты исследований образцов модельных фаршевых систем сводятся в таблицу 15.

Таблица 15 – Результаты исследований ВСС и ВУС в образцах модельных фаршевых систем

Образцы	Масса навески, г	Массовая доля общей влаги, %	Массовая доля влаги в навеске, %	Площадь влажного пятна, см ²	ВСС, % к навеске	ВСС, % к общей влаге
---------	------------------	------------------------------	----------------------------------	---	------------------	----------------------

5.2. Определение предельного напряжения сдвига (ПНС)

Определение ПНС проводится на консистомере Гепплера. Емкость для продукта заполняется исследуемым образцом, поверхность разравнивается шпателем или ножом, устанавливая её уровень относительно нулевого деления шкалы прибора. По шкале определяют глубину погружения конуса в продукт (в мм), устанавливая и подбирая определённый груз. Предельное напряжение сдвига определяют по формуле:

$$\sigma_o = \frac{m}{\sigma^K} h_2, \text{ где}$$

σ_o - предельное напряжение сдвига, Па σ - константа конуса, для $\sigma = 60^\circ$, $\sigma = 2,1 \text{ м/кг}$ m - масса конуса со штангой и дополнительным грузом, кг h - глубина погружения конуса, м

Результаты исследования сводят в табл.2

Таблица 2

Исследуемый продукт	Масса конуса, кг	Константа конуса, м/кг	Глубина погружения конуса, м	ПНС, Па	Среднеарифм.

6. Содержание отчета и его форма

В содержание отчета о работе должны быть включены следующие разделы: тема, краткое теоретическое обоснование, цель, методики проведения опытов, результаты экспериментальных исследований, график зависимости изменения исследуемых показателей от длительности куттерования, выводы. Результаты работы оформляются в виде таблиц, графика и текста.

7. Вопросы для защиты работы

1. Принцип работы и устройство адгезиометров.
2. Характеристика видов отрыва контактирующих поверхностей.

3. Изменение липкости в зависимости от физико-химических свойств пищевых систем.
4. Регулирование липкости фарша в процессе куттерования.
5. Методика определения липкости в пищевых продуктах.

Практическая работа 10 Реодинамические расчеты трубопроводов и транспортных устройств

1. Цель и содержание

- 1.1. Изучить методику инженерного расчета трубопроводов.
- 1.2. Провести расчет трубопроводов по предложенным вариантам.
- 1.3. Сделать сравнительный анализ полученных экспериментальных и литературных данных.

Формируемые компетенции: ПК-1, ПК-7

2. Теоретическое обоснование

Одним из важных направлений технического развития мясной промышленности, в том числе и пищевой, является совершенствование существующих и создание новых механизированных и поточно-автоматизированных линий по переработке пищевого сырья и производству полуфабрикатов и готовой продукции на основе использования новейших достижений науки и техники. Внедрение линий на предприятиях мясной промышленности обеспечит значительный рост производительности труда, улучшение санитарно-гигиенических условий производства и повышение качества готовой продукции.

Создание поточно-механизированных, особенно автоматизированных линий невозможно без использования средств межоперационного транспорта и транспортных систем по перемещению сырья и мясопродуктов. Наиболее перспективным и рациональным межоперационным видом транспорта, включая

различные транспортеры, элеваторы, нории, спуски и т.д., является трубопроводный транспорт.

Технологический трубопроводный транспорт представляет собой закрытую транспортную систему и предназначен для перемещения по трубам различных жидкостей, сырья и продуктов между отдельными технологическими операциями, отделениями и цехами предприятия.

Преимущества трубопроводного транспорта:

- позволяет создавать закрытые поточно-механизированные и автоматизированные линии, системы;
- обеспечивает возможность транспортирования сырья, продукции на малые и большие расстояния от 1 до 50 м и более без нарушения их структуры;
- исключает возможность распыления и окисления перемещаемой продукции;
- исключает загрязнения производственного воздуха неприятными запахами и другими веществами;
- повышает санитарно-гигиенические условия и культуру производства;
- возможность визуального наблюдения и контроля, за ходом движения продукции в случае изготовления трубопроводов из прозрачного материала, в частности из пищевого органического стекла и других;
- снижает стоимость транспортирования продукции в 4-5 раз по сравнению с напольным транспортом;
- исключает загромождение производственных цехов, так как технологические трубопроводы могут быть проложены (смонтированы) в любом удобном месте и на любом уровне;
- отличается простотой конструкции, легкостью разборки, сборки и монтажа.

Технологический трубопроводный транспорт (технологическая трубопроводная система) состоит из следующих основных элементов: накопительной емкости (резервуара), устройств для создания напора и вытеснения транспортируемой массы, комплекта труб, соединительных и фасонных частей, запорной, регулирующей, дросселирующей, предохранительной и контрольной арматуры, а отдельных случаях, приборов для измерения структурно-механических характеристик перемещаемой массы (среды) и приемной емкости (приемника) в конечной точке перемещения.

В отдельных случаях, трубопроводный транспорт (система) может отличаться тем или иным количеством элементов. Транспортирование продукции (массы) трубопроводным транспортом осуществляется следующими способами: путем создания давления в начальной точке магистрали; путем создания вакуума на конечной точке вытеснения или путем свободного перемещения массы за счет собственного веса.

Для создания давления вытеснения транспортирования продукции (массы) применяются насосы или компрессионные установки, а для создания вакуума - вакуумные насосы.

Транспортирование продукции по трубам может осуществляться периодически или непрерывно.

Принудительное перемещение продукции (массы) по трубам возможно лишь в том случае, когда она представляет собой сплошную среду (массу), как-то жидкости или на подобии фаршеобразных материалов, или мелкоизмельченной в виде муки. При транспортировании, например, дробленой кости или кусковой продукции, необходимо добавлять воду, которая заполнив пустоты, позволит образовать сплошную монолитную массу, исключая свободный проход сжатого воздуха. В этой связи, различают следующие способы транспортирования продукции - без добавления воды и с добавлением воды.

Требования, предъявляемые к технологическому трубопроводному транспорту: возможность автоматического регулирования потока транспортируемой продукции; высокая надежность и безопасность в работе; прочность и герметичность, обеспечивающие длительный срок эксплуатации; способность сохранять исходные свойства продукции во время транспортировки, исключать нагрев, перетирание продукции; трубопроводы должны быть изготовлены из материалов, обладающих малой адгезионной способностью, а также физиологической индифферентностью и стойкостью к воздействию агрессивных сред; конструкция трубопровода должна легко разбираться для мойки и санитарной обработки и не иметь недоступных мест.

Преимущества трубопроводного транспорта перед другими видами транспорта обуславливают его широкое использование в будущем. Сегодня в качестве основных направлений развития трубопроводного транспорта на перспективу являются следующие.

Применение новых, обладающих антиадгезионными, антикоррозионными и другими свойствами материалов, а также без инертными по отношению к пищевым продуктам для изготовления магистральных трубопроводов. Решение этого вопроса сделает трубопроводный транспорт самым экономичным, экологически чистым и исключаящим какое-либо воздействие на продукт во время транспортировки.

3. Организация работы

Работа выполняется бригадами из 3-4 студентов по предложенным преподавателем вариантам. 5.

Методика инженерного расчета трубопровода

Ниже рассмотрена одна из типовых методик инженерного расчета технологического трубопровода. Она позволяет определить диаметр трубы или среднеобъемную скорость движения продукта, потери давления при его транспортировке, мощность, сообщаемую продукту (полезную), и мощность на валу насоса, выполнить прочностные расчеты трубопроводов. I. *Исходные параметры*

1. Вид продукта и его рецептура.

2. Производительность трубопровода M_c , кг/с, определяют по формуле

$$M_c = M_{cm} / \sqrt[3]{3600 \rho_p}, \quad (12.50)$$

где M_{cm} - выработка в смену, кг/смену; ρ_p - эффективное время работы в смену, час.

3. Общая длина трубопровода l , м, рассчитывается с учетом поворотов (отношение радиуса закругления к диаметру трубы должно быть больше шести, для того, чтобы не учитывать потери в местных сопротивлениях). II. *Выбираемые параметры*

1. Скорость движения фарша по трубопроводу w_0 , м/с. Принимают из рекомендуемого оптимального значения в пределах 0,1÷0,5 м/с (например, чем «гуще» фарш, тем меньше скорость).

Примечание. Вместо скорости в качестве расчетного параметра может быть оптимальный диаметр по формуле, связанной со скоростью. III. *Расчетные параметры*

1. Секундный расход V_c , м³/с, трубопровода

$$V_c = M_c / \rho, \quad (12.51)$$

где ρ - плотность продукта, кг/м³.

В частности, плотность фарша определяют по формуле

$\rho = 1037 - (290\rho + 10,5U) + 22 \lg p_T$ или $\rho = 1037 - [(290\rho + 10,5W)/(1-W)] + 22 \lg p_T$ где ρ - жирность фарша, 1 кг жира на 1 кг фарша; U - влагосодержание фарша, кг влаги на 1 кг сухого остатка; W - влажность фарша, кг влаги на 1 кг фарша; p_T - давление в трубопроводе, равное половине давления на выходе из насоса, Па.

При организации транспортирования колбасного фарша следует руководствоваться следующим. Плотность жирных видов фарша находится в диапазоне 960÷980 кг/м³, плотность для маложирных видов - 1030÷1040 кг/м³. Значения жирности, влагосодержания и влажности фарша выбирают по справочнику.

2. Диаметр трубопровода d , м, определяют по формуле расхода.

$$d = \sqrt[4]{\frac{4V_c}{\rho w}}. \quad (12.52)$$

Далее по ГОСТу выбирают ближайшую величину d . Затем, находят действительную среднюю скорость w движения продукта по той же формуле.

3. Консистентную переменную («градиент скорости») ρ' и безразмерную консистентную переменную вычисляют по формуле

$$\dot{V} = \frac{8 \dot{V}_w}{d} \quad (12.53)$$

4. Консистентную переменную («напряжение сдвига») η , Па, определяют по формуле

$$\eta = A_1 \dot{\gamma}^n. \quad (12.54)$$

5. Потери давления или давление в продукте на выходе из насоса определяют по найденному значению консистентной переменной по формуле

$$\Delta p_c = \frac{4l}{d} \eta. \quad (12.55) \quad p =$$

6. Мощность N , кВт, сообщаемую продукту, определяют по формуле

$$N = pV_c \cdot 10^3. \quad (12.56)$$

IV. Выбор оборудования

1. Насос выбирают по требуемой производительности трубопровода M_c или по часовой производительности, принимая во внимание, что объемный КПД насоса составляет 0,5–0,6. Выбор насоса производят по справочнику.
2. Мощность электродвигателя $N_{эл}$, кВт, к насосу определяют по формуле

$$N_{эл} = \frac{K_a}{K_n} N \quad (12.57)$$

где a - коэффициент запаса мощности (для коротких трубопроводов до 5 м $a = 1,2$; для длинных $a = 1,5$); K_n , K_H , $K_{ш}$ - КПД механических передач от электродвигателя к насосу, насоса и шнеков (питателей); N , $N_{ш}$ - полезная мощность, развиваемая насосом и шнеком, кВт.

Данная методика позволяет выполнить расчет трубопроводной установки для пластично-вязких и твердообразных продуктов, например мясных фаршей.

Пример расчета

I. Исходные параметры:

1. Вид продукта - говяжий фарш, приготовленный на куттере.

2. Количество транспортируемого сырья в смену - $M_{см} = 3000$ кг.

3. Продолжительность транспортирования сырья - $\tau_p = 2,1$ ч.

4. Производительность установки равна:

$$M_c = 3000 / 3600 \cdot 2,1 = 0,3968 \text{ кг/с.}$$

5. Общая длина трубопровода: $l = 6$ м.

II. Выбираемые параметры:

1. Скорость движения фарша по трубопроводу. Принимаем среднюю скорость $w_0 = 0,3$ м/с.

III. Расчетные параметры: 1.

Секундный объемный расход составит:

$$V_c = 0,3968 / 1020 = 3,88 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Принимаем плотность для говяжьего фарша $\rho = 1020$ кг/м³.

2. Диаметр трубопровода:

$$d_{расч} = \sqrt[4]{\frac{3,88 \cdot 10^{-4} \cdot 1020}{0,3}} = 3,14 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

По ГОСТу принимаем $d = 35,4 \cdot 10^{-3}$ м. Тогда действительная скорость потока будет равна:

$$w = \frac{V_c}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{3,88 \cdot 10^{-4}}{\frac{\pi (35,4 \cdot 10^{-3})^2}{4}} = 0,395 \text{ м/с.}$$

3. Консистентная переменная («градиент скорости») равна:

$$\dot{\gamma} = \frac{4w}{d} = \frac{4 \cdot 0,395}{35,4 \cdot 10^{-3}} = 89,3 \text{ с}^{-1}$$

4. Консистентная переменная («напряжение сдвига») равна:

$$\tau_c = A_1 \dot{\gamma}^n = 600 \cdot 89,3^{0,27} = 2015 \text{ Па.}$$

Значения $A_1 = 600$ и $n = 0,27$ взяты из табличных данных.

5. Потери давления на выходе из насоса равны:

$$p_c = \frac{4l}{\pi d^5} \tau_c = \frac{4 \cdot 6}{\pi (35,4 \cdot 10^{-3})^5} \cdot 2015 = 13,68 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

6. Полезная мощность равна:

$$N = 13,68 \cdot 10^5 \cdot 3,88 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-3} = 0,53 \text{ кВт}$$

7. Выбор оборудования

По справочнику выбираем пластинчатый насос, у которого КПД = 0,12.

Принимаем $a = 1,2$, КПД передач равно 0,6. Тогда,

$$N_{эл} = (1,2/0,6) \cdot (0,3/0,12) = 5 \text{ кВт.}$$

По каталогу производим выбор электродвигателя

4. Содержание отчета и его форма

В содержание отчета о работе должны быть включены следующие разделы: тема, краткое теоретическое обоснование, цель, методики расчета трубопроводов, выводы.

Результаты работы оформляются в виде таблиц, графика и текста.

7. Вопросы для защиты работы

1. Принцип работы и устройство насосов для транспортировки сырья.
2. Методика расчета трубопроводов.

Список литературы

- 1 Косой, В. Д. Инженерная реология биотехнологических сред : учеб. пособие / В. Д. Косой, Я. И. Виноградов, А. Д. Малышев. - СПб. : ГИОРД, 2005. - 644 с. : ил., табл. - Библиогр. с. 644. - ISBN 5-901065-91-3
- 2 Косой, В. Д. Реология молочных продуктов : (полный курс) : теория, научные исследования, справочный материал, лабораторный практикум : учебник / В. Д. Косой, Н. И. Дунченко, М. Ю. Меркулов. - М. : ДеЛи принт, 2010. - 826 с. : ил. - Гриф: Рек. УМО. - Библиогр.: с. 816. - ISBN 978-5-94343-208-8

Перечень дополнительной литературы:

- 1 Арет, В. А. Расчетно-графические работы по инженерной реологии : Электронное учебное пособие / Арет В. А. - Санкт-Петербург : Интермедия, 2013. - 82 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-4383-0023-6
2. Мачихин, Ю. А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин. - М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. - 204 с. - Библиогр. с. 202

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по

- 1 Косой, В. Д. Инженерная реология : пособие для лаб. и практ. занятий / В. Д. Косой. - СПб. : ГИОРД, 2007. - 662 с. : ил., табл. - Библиогр.: с. 654-655. - ISBN 978-5-98879-058-7
- 2 Нагдалян А.А. Реология: Конспект лекций. – Ставрополь: СКФУ, 2017 г. – 160 с.
- 3 Нагдалян А.А. Реология: Методические указания к выполнению лабораторных работ. – Ставрополь: СКФУ, 2017 г. – 123 с.
- 4 Нагдалян А.А. Реология: Методические указания к самостоятельной работе обучающихся. – Ставрополь: СКФУ, 2017 г. – 8 с

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»,
необходимых для освоения дисциплины:**

- 1 <http://biblioclub.ru/>- Университетская библиотека online
- 2 <http://school-collection.edu.ru/> - Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов»
- 3 <http://www.edu.ru/> - Федеральный портал «Российское образование»
- 4 rsl.ru – Российская государственная библиотека
- 5 www.food-chem.ru –Информационный портал по химии пищи
- 6 <http://biblioclub.ru/>- Университетская библиотека online
- 7 <http://school-collection.edu.ru/> - Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов»
- 8 <http://www.edu.ru/> - Федеральный портал «Российское образование»
- 9 rsl.ru – Российская государственная библиотека

