

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

**«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени И. Т. Трубилина»**

**Кафедра технологии хранения и переработки
животноводческой продукции**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине «Реология»

**«ФИЗИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНО-
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЯСА И МЯСОПРОДУКТОВ»**

для бакалавров, обучающихся по направлению 35.03.07 «Технология
производства и переработки сельскохозяйственной продукции»

Краснодар, 2018

УДК 001.89 (075.8)

Методические указания к лабораторно-практическим работам по дисциплине «Реология» для бакалавров, обучающихся по направлению 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» / Н. В. Тимошенко, А. М. Патиевой, А. А. Нестеренко – Краснодар: КубГАУ, 2018 – 75с.

Под редакцией доктора технических наук, профессора Тимошенко Н.В.

Методические указания включают: теоретическую часть, технику безопасности, цель работы, особенности техники выполнения работы, порядок оформления отчёта о выполнении работы и библиографический список.

Предназначена для бакалавров факультета перерабатывающих технологий КубГАУ дневной формы обучения по направлению для бакалавров, обучающихся по направлению 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции»

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методической комиссией факультета перерабатывающих технологий Кубанского государственного аграрного университета.

Протокол № 5 от 16.01.2018 г.

Рецензент: доктор технических наук, профессор Г.И. Касьянов (КубГТУ)
(Кубанский государственный технологический университет)

© Тимошенко Н.В.
Патиева А.М.
Нестеренко А.А.

© Кубанский государственный
аграрный университет
(КубГАУ), 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Техника безопасности.....	4
1 Общее положение.....	5
1.1 Физические свойства	7
1.2 Теплофизические свойства	11
1.3. Функционально-технологические свойства.....	16
1.4. Структурно-механические свойства.....	20
Лабораторная работа № 1 Определение цветности мяса и мясных продуктов	23
Лабораторная работа № 2 Определение цветности твердых животных жиров	28
Лабораторная работа № 3 Определение акустических свойств.....	32
Лабораторная работа № 4 Анализ теплофизических характеристик.....	36
Лабораторная работа № 5 Определение гелеобразующей способности (ГС)	43
Лабораторная работа № 6 Определение структурно-механических свойств	52
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	73

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Перед началом работы в условиях производственной лаборатории студенты изучают правила охраны труда, техники безопасности и противопожарной безопасности, правила работы в лабораториях, особо обращая внимание на следующие требования:

1 Перед входом в лабораторию необходимо надеть специальную одежду. Любые лабораторные исследования без спецодежды запрещены. Не разрешается вносить на территорию лаборатории посторонние вещи, принимать пищу, курить.

2 При работе с химическими веществами соблюдают следующие правила предосторожности:

2.1 Сухие реактивы следует брать только чистой фарфоровой ложкой или шпателем.

2.2 Едкие щелочи (KOH, NaOH) берут тигельными щипцами. При размельчении кусков щелочи надевают перчатки и предохранительные очки.

2.3 Для работы со взрывоопасными веществами берут их минимальное количество.

2.4 Запрещается работать с неисправными электроприборами.

2.5 Не разрешается пользоваться открытым пламенем при наличии в помещении легковоспламеняющихся веществ и при работе с ними.

3. Для предупреждения возникновения пожара воспрещается курить, оставлять бумагу и другие легковоспламеняющиеся материалы на шкафах и за шкафами, вблизи электрических приборов. Оставлять не выключенные электроприборы без присмотра. Запрещается хранить в лаборатории легковоспламеняющиеся, взрывчатые и другие огнеопасные вещества без соблюдения действующих правил безопасности.

Преподаватель, ведущий занятия, должен обеспечить выполнение правил работы и охраны труда в лаборатории.

1 ОБЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

В технологических процессах продукты подвергаются внешним воздействиям, интенсивность которых зависит от сопротивляемости сырья, т.е. его физических характеристик. Величины сопротивляемости особенно важны при проведении процессов с использованием высококонцентрированных источников энергии (инфракрасный и высокочастотный нагревы, высокоскоростная механическая обработка, ультразвук, обработка давлением и др.).

Характеристика продукта складывается из комплекса физических свойств. Поэтому отдельные свойства, например электропроводность, не отражают поведения материала даже в простейшем процессе электроконтактного нагрева. В этом случае для эффективного решения технологических задач необходимо знание динамики изменения структурно-механических, биохимических и других свойств.

Всестороннее изучение свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, т.е. одновременное исследование структурно-механических, физико-химических, электрических, биохимических, микробиологических, гистологических и других характеристик необходимо при обязательной оценке пищевой ценности. Только путем сопоставления и совместного рассмотрения полученных данных можно получить ответ о возможности применения на практике новых способов обработки имеющего столь сложный состав и пищевое назначение животного сырья.

Комплексное исследование свойств мясопродуктов необходимо в обосновании новых физических способов обработки, позволяющих интенсифицировать, а в некоторых случаях и механизировать пассивные технологические процессы.

Особо важное значение приобретает изучение взаимосвязи и взаимовлияния, казалось бы, различных на первый взгляд характеристик. Так, нежность мяса принято характеризовать совокупностью механических свойств.

В то же время изменение механических параметров мяса при его хранении зависит от тангенса угла диэлектрических потерь при частотах порядка 10^4 - 10^5 Гц. Установлена взаимосвязь между структурно-механическими и электрофизическими ($\text{tg } \delta$ и ϵ) свойствами животного жира. При этом наблюдается полная аналогия характерных точек фазовых превращений при изменении температуры. Такие аналогии значительно облегчают исследование комплексных характеристик продукта, так как позволяют на основе знания одних свойств делать прогнозы о характере изменения других, а также создавать приборы контроля и управления с обратной связью, основываясь, например, на измерении неэлектрических величин электрическими способами.

Использование комплекса физических методов позволяет по-новому решать ряд технологических проблем на более высокой ступени организации и интенсификации процессов, получить новые высококачественные продукты.

Физические свойства мясопродуктов лежат в основе разработки моделей взаимодействия энергетического поля с продуктом, создания безотходных технологий, высокопроизводительного оборудования, гибких автоматизированных производств, а также систем автоматического проектирования (САПР). Значительные различия численных значений физических величин обусловлены чрезвычайной сложностью строения и состава мяса, а также их нестабильностью вследствие биологического происхождения (порода, пол, возраст животного, степень автолиза, введение в мясопродукт различных ингредиентов при последующей обработке и т. д.). Эти различия достаточно велики. Они проявляются в ходе технологического процесса, когда продукт также претерпевает большие изменения. Так, пластические свойства мясного фарша в процессе термической обработки в результате коагуляционно-денатурационных изменений становятся упругими, в процессе посола резко увеличивается электропроводность и т. д.

Очень важно установить закономерности между численными значениями свойств и качественными показателями продукции, как конечными, так и на

отдельных стадиях технологического процесса, применяя соответствующие методы исследования.

1.1 Физические свойства

Мясо и мясопродукты за счет сложности микроструктуры имеют большую оптическую плотность. Поглощение и рассеивание излучения определяются в основном четырьмя процессами: резонансным поглощением излучения молекулами сухого вещества, а также молекулами структурной и связанной влаги; рассеиванием излучения, обусловленным флуктуациями плотности вещества, а также рассеиванием на молекулах белков, полисахаридов и т.д., ионах; рассеиванием излучения на взвешенных коллоидных частицах, клетках, частицах пигментов и пр.; рассеиванием на оптических неоднородностях – капиллярах, порах.

Оптические характеристики могут быть спектральными и интегральными. В первом случае они характеризуют явления при определенной длине волны излучения λ , во втором – для длин волн $\lambda = 0 \div \infty$. Для аналитических целей используют спектральные характеристики, для инженерной практики – интегральные характеристики.

Структура пищевых продуктов в большинстве случаев такова, что отражение от них является в основном диффузным (рассеянным во все стороны). Отражательную способность продукта возможно изучать при помощи коэффициента отражения (ρ_λ), который показывает отношение светового потока (F_2), отраженного исследуемым образцом, к световому потоку (F_1), упавшему на образец:

$$\rho_\lambda = F_2 / F_1 . \quad (1)$$

Таким образом, определение коэффициента отражения сводится к определению отношения двух отсчетов по шкале измерительного прибора (гальванометра).

При исследовании диффузноотражательных образцов в качестве эталонов используют диффузноотражательные поверхности с известным спектральным коэффициентом отражения, например, свеженапыленный оксид магния (полный коэффициент отражения 0,97-0,98).

Оптические свойства мяса играют весьма важную роль в оценке цветности. Объективно измерение цвета мяса служит для оценки его пригодности как сырья для переработки; качества готового продукта; правильности хода технологических процессов; дополнения или контроля правильности органолептических оценок.

В технологических исследованиях объективное измерение цвета чаще всего применяют в качестве второй по важности, после измерения активной кислотности, качественной проверки испытуемого образца. В исследованиях процессов, связанных с сохранением окраски (например, посол мяса), оно выдвигается на первое место.

Мясо имеет специфический цвет благодаря пигменту миоглобину. Все нормальные мышцы содержат миоглобин, но количество его различно. Большая реактивность миоглобина проявляется в посмертный период, вследствие чего он может давать производные различного цвета.

Кроме миоглобина и его производных, на цвет мяса влияет ряд других факторов, таких как системы ахроматические и слабо поглощающие светлые лучи (внутриклеточный жир, соединительная ткань), кислотность, изменяющаяся в период посмертного окоченения, поверхностная дегидратация и т. п.

Для определения цвета продуктов в отраженном монохроматическом свете используют универсальный монохроматор УМ-2 и спектрофотометры. Измерение коэффициентов отражения при 627, 635 и 650 нм дает возможность установить образование метмиоглобина.

Отношение оптических плотностей при длинах волн D_{545}/D_{650} и D_{582}/D_{652} в некоторых случаях (хранение в неправильных условиях, например, смена температур) может указывать на изменения в окраске мяса. Величины D_{545} и D_{582} являются мерой интенсивности окраски мяса.

По отражению поверхности образца можно определять интенсивность окраски различных видов мяса, а также некоторых колбасных и других продуктов.

Неоднородность в строении мышечных волокон мяса ведет к различному поглощению звука отдельными элементами, т.е. наблюдается анизотропия затухания звука. Основными характеристиками акустического поля являются частота колебаний, скорость звука, амплитуда, волновое и удельное акустическое сопротивление среды, звуковое давление, интенсивность звука.

Удельное акустическое сопротивление является важным параметром – характеризует свойства среды по отношению к проходящей через нее волне

$$\rho c = p / u, \quad (2)$$

где ρ – плотность среды, кг/м³; c – скорость звука, м/с; p – звуковое давление, МПа; u – колебательная скорость, м/с.

Энергия звуковых колебаний, проходящая нормально к поверхности продукта через единицу площади за одну секунду, является интенсивностью звука:

$$I = p^2 / \rho c. \quad (3)$$

Интенсивность оценивают по отношению к величине предела слышимости человеческого уха, т.е. определяют силу звука (в дБ).

$$L \text{ дБ} = 10 \lg (I/I_n), \quad (4)$$

где I_n – предел слышимости, Вт/м² ($I_n = 10^{-12}$ Вт/м²).

Поглощение звука в жидкостях обусловлено вязкостью среды, а также теплопроводностью. Полный коэффициент поглощения

$$\alpha = \alpha_r + \alpha_e, \quad (5)$$

где α_r и α_e – коэффициенты поглощения, обусловленные соответственно вязкостью и теплопроводностью среды.

Распространение звуковых волн в среде сопровождается потерями на рассеивание, которые внешне проявляются в повышении температуры среды (табл. 1).

Таблица 1 – Относительное повышение температуры продуктов при распространении звуковых волн

Продукт	Относительное повышение температуры, °С	Продукт	Относительное повышение температуры, °С
Яичный альбумин	1,0	Жир	12,5
Коагулированный яичный белок	1,0	Печень	4,5
Яичный желток	5,5	Мозги	4,75

Примечание. Относительное повышение температуры яичного белка принято за единицу. Продолжительность обработки продуктов ультразвуком 30 с; $f = 750$ кГц; $W = 100$ Вт.

Аномальные отклонения коэффициента поглощения обнаружены при ультразвуковой обработке ряда органических и биологических жидкостей. Эти отклонения вызываются объемной вязкостью, являющейся функцией изменения объема в местах сжатия и расширения жидкости. При этом характер молекулярного поглощения энергии зависит от продолжительности восстановления равновесия молекулярных процессов за один полупериод колебания. Исключение составляет костная ткань, которая в диапазоне частот 500 кГц – 2 МГц не дает отклонений от классической теории.

Показатели поглощения и глубина проникновения для некоторых животных тканей при обработке на частоте 1 МГц приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Акустические характеристики животных тканей

Продукт	α , м ⁻¹	1/ α , м	Продукт	α , м ⁻¹	1/ α , м
Вода	0,03	30,0	Печень	17	0,06
Плазма крови	0,7	1,3	Почки	22	0,05
Кровь	2,0	0,5	Жировая ткань	13	0,08
Скелетные мышцы	20-25	0,045	Костная ткань (при частоте 800 кГц)	302	0,0033

Коэффициент поглощения зависит от частоты ультразвукового поля – линейно возрастает с увеличением частоты независимо от вида ткани. При ультразвуковом облучении суспензий коэффициент поглощения линейно возрастает с увеличением концентрации. Кроме того, он зависит от диаметра частиц суспензии. Характерно, что наиболее резкое затухание колебаний наблюдается при размерах частиц 1-10 мкм. Анизотропия поглощения ультразвука особенно сильно проявляется у тканей, состоящих из чередующихся слоев с различными свойствами (шкура, жировые прослойки и др.). В этом случае характер затухания акустической энергии зависит от направления ультразвука – вдоль или поперек слоев. Акустические характеристики различных животных тканей представлены в табл.3.

Таблица 3 – Удельное акустическое сопротивление животных тканей

Ткань	Температура, °С	Скорость звука $c \cdot 10^3$, м/с	Плотность ρ , кг /м ³	Удельное акустическое сопротивление $\rho \cdot c$, Па·с/м
Мышечная ткань (говядина)	16-20	1,575-1,578	1033-1048	1,79
Жировая ткань (свинина)	16-20	1,444	930	1,32
Мозговая ткань (свинина)	16-20	1,506	1026	1,55
Печень	16-20	1,553	1064	1,63
Кость (плотная масса)	16-20	3,37	185	6,23

1.2 Теплофизические свойства

Аналитическая теория теплопроводности представляет собой теорию распространения теплоты в различных неравномерно нагретых телах. Эти материальные тела рассматриваются как сплошные среды, непрерывно заполняющие пространство, без учета молекулярного строения и молекулярных свойств вещества.

В соответствии с этим тела характеризуются так называемыми макросвойствами. К ним относятся коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, удельная теплоемкость, объемная масса, вязкость вещества, коэффициенты диффузии и т.д.

Коэффициент температуропроводности (a) является основным тепловым параметром при неустановившемся во времени режиме. В этом случае наряду с коэффициентом теплопроводности (λ) на распределение температуры в теле существенное влияние оказывают удельная теплоемкость (c_p) и плотность (ρ), связанные между собой соотношением которое показывает, что коэффициент температуропроводности характеризует соотношение между двумя тепловыми свойствами тела: способностью проводить и аккумулировать теплоту.

$$a = \lambda / (c_p \rho), \quad (6)$$

Теплофизические свойства различных тел зависят от химического состава, микроструктуры, пористости, влажности, предварительной термообработки, температуры и др.

Зависимость тепловых свойств веществ от большого количества взаимно связанных факторов делает эксперимент практически единственным источником получения данных для определения этих свойств. Одновременно с этим эксперимент является источником дополнительной информации о поведении веществ, что позволяет углубить существующие физические представления о механизмах переноса теплоты, поскольку они относятся обычно не к реальным телам, а к их идеализированным моделям. Модельные представления о веществе дают возможность построить соответствующие расчетные методы для определения некоторых тепловых свойств:



Большинство экспериментальных методов основывается на наблюдении за температурным полем в исследуемом теле при нагревании (охлаждении). Применительно к стационарным условиям используют закон Фурье

$$Q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} F \quad (7)$$

и дифференциальное уравнение теплопроводности для одномерного температурного поля

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{k-1}{2} \frac{dt}{dr} = 0, \quad (8)$$

справедливое для тел, физические свойства которых не зависят от температуры (r – текущая координата; $k = 1, 2, 3$ соответственно для пластины, цилиндра и шара; n – нормаль к изотермической поверхности; t – температура).

Приведенные уравнения справедливы для твердых тел. Для жидкостей и газов они могут быть использованы, если отсутствуют другие способы переноса теплоты (конвекцией, излучением и т.д.). Эти уравнения не имеют общего решения. Получены их частные решения применительно к телам определенной геометрической формы при конкретно заданных условиях однозначности, которые и используются при постановке экспериментов. Решения уравнений (7) и (8) для тел простой геометрической формы при граничных условиях первого рода позволяют найти коэффициент теплопроводности λ из соотношения:

$$\lambda = \frac{Q}{t_{c1} - t_{c2}} K, \quad (9)$$

где K – коэффициент формы, который выражается зависимостями соответственно для неограниченных плоского и цилиндрического слоев исследуемого вещества.

Его можно определить из соотношений:

$$K = \frac{\delta}{F_p}; \quad (10)$$

$$K = \ln \frac{d_2}{d_1} \frac{1}{2\pi l}, \quad (11)$$

где $\delta = r_2 - r_1$ (или $\delta = x_2 - x_1$) – толщина плоского слоя, м;

F_p – расчетная поверхность, нормальная к направлению теплового потока, м²;

l – длина цилиндрического слоя, м;

d_1 и d_2 – соответственно внутренний и наружный диаметры цилиндрического слоя исследуемого вещества, м;

t_{c1}, t_{c2} – температуры на изотермических поверхностях, соответствующих этим диаметрам.

При исследовании тепловых параметров методом нестационарного теплового потока используются решения дифференциальных уравнений, которые имеют вид:

$$\frac{\partial Q}{\partial \tau} = - \frac{\partial t}{\partial n} F; \quad (12)$$

$$C_p \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{k+1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right), \quad (13)$$

где $k = 1, 2, 3$ соответственно для неограниченных пластины цилиндра, шара;
 r – текущая координата.

В основной стадии процесса теплопроводности изменение температуры во времени приобретает упорядоченный характер и математически описывается более простыми функциями, чем в начальной стадии, так как изменение температуры в каждой точке тела перестает зависеть от начальных условий.

Теория теплопроводности в начальной стадии процесса позволяет из эксперимента найти одновременно несколько тепловых свойств. Теория теплопроводности в основной стадии процесса позволяет построить методики исследования для отдельных тепловых свойств и для их комплекса. Решения для этой стадии имеют различный вид в зависимости от рода граничных условий.

Метод нестационарной теплопроводности позволяет в ряде случаев проводить измерения при непрерывном изменении температуры до желаемого ее значения. Это дает возможность получить сразу непрерывный ряд значений измеряемого теплового параметра в широком диапазоне температур, в то время как во всех стационарных методах такой ряд может быть получен из отдельных опытов, соответствующих различным стационарным тепловым режимам, число которых обычно ограничено. Измерения тепловых параметров различных веществ производятся при относительно небольших перепадах температур, что приближает их средние значения к истинным. Последнее делает нестационарные методы предпочтительными для исследования тепловых параметров влажных материалов.

К недостаткам нестационарных методов относятся трудность получения точно регулируемого изменения температуры во времени и трудность определения того, насколько действительные граничные условия в эксперименте согласуются с условиями, принятыми в теории. Учесть подобное расхождение очень трудно, но более важно, чем в стационарных методах.

Методы исследования тепловых свойств при установившихся и неуставившихся тепловых режимах позволяют из одного опыта найти какой-либо один тепловой параметр. Если необходимо иметь данные по ряду физических свойств, то такой комплекс физических параметров может быть получен путем комбинации двух или нескольких приборов. Это связано с применением нескольких образцов из исследуемого материала и трудностями сохранения идентичности свойств, при их изготовлении, с увеличением погрешностей, а также затратой времени на проведение измерений. Поэтому в настоящее время уделяется большое внимание возможности одновременного определения нескольких тепловых свойств из одного опыта, на одной установке и одном образце. Такие методы получили название *комплексных*, дающих наиболее полное представление о тепловых свойствах, о поведении исследуемого вещества и позволяют сократить время на проведение экспериментов. Они могут базироваться на теориях начальной и основной

стадий процессов нестационарной теплопроводности, на их совокупности, а также на процессах теплопроводности, протекающих в условиях установившихся тепловых режимов.

1.3. Функционально-технологические свойства

Мясное сырье многокомпонентно, вариабельно по составу и свойствам, что приводит к значительным колебаниям в качестве готовой продукции. В связи с этим особенно важное значение приобретает информация о функционально-технологических свойствах различных видов основного сырья и его компонентов, влиянии вспомогательных материалов и внешних факторов на характер их изменения.

Под функционально-технологическими свойствами (ФТС) мясного сырья понимают совокупность показателей, характеризующих уровни эмульгирующей, водосвязывающей, жиро-, водопоглощающей и гелеобразующей способностей, структурно-механические свойства (липкость, вязкость, пластичность и т.д.), сенсорные характеристики (цвет, вкус, запах), величину выхода и потерь при термообработке различных видов сырья и мясных систем. Перечисленные показатели имеют приоритетное значение при определении степени приемлемости мяса для производства пищевых продуктов.

Под функциональными свойствами изолированных белков принято понимать широкий комплекс физико-химических характеристик, определяющих их поведение при переработке и хранении, обеспечивающих желаемую структуру, технологические и потребительские свойства готовых продуктов.

Физическая структура и свойства не подвергнутого термической обработке мясного фарша близки к классическим эмульсиям.

В классическом определении под эмульсией понимают дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой и жидкой дисперсной фазой,

диспергированные в коллоидном состоянии. Жир – неполярное вещество и плохо (0,5 %) растворимо в воде. Однако при определенных условиях (наличие эмульгаторов и стабилизаторов, высокие температуры, ультразвуковые и импульсные воздействия) в системах жир - вода могут образовываться водо-жировые эмульсии прямого (жир в воде) и обратного (вода в жире) типа (рис. 1).

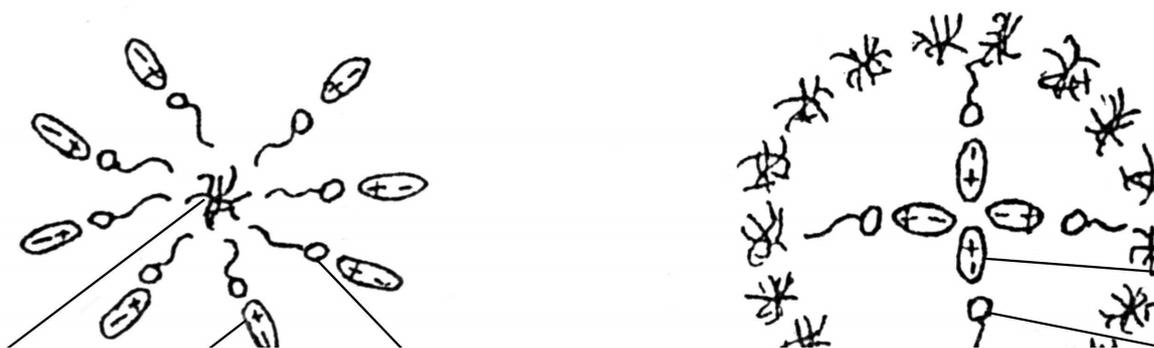


Рисунок 1 – Водо-жировые эмульсии

Стойкость эмульсий во многом зависит от наличия в системе эмульгаторов - веществ, имеющих в составе полярные и неполярные группы.

В мясной эмульсии, образуемой в результате интенсивного механического измельчения тканей, дисперсная система состоит из дисперсной фазы - гидратированных белковых мицелл и жировых частиц различных размеров и из дисперсионной среды -раствора белков и низкомолекулярных веществ. В мясной эмульсии белок и вода образуют матрицу, которая окружает жир, т.е. колбасный фарш - эмульсия жира в воде, при этом солерастворимые белки являются эмульгаторами и стабилизаторами эмульсии (рис. 2).

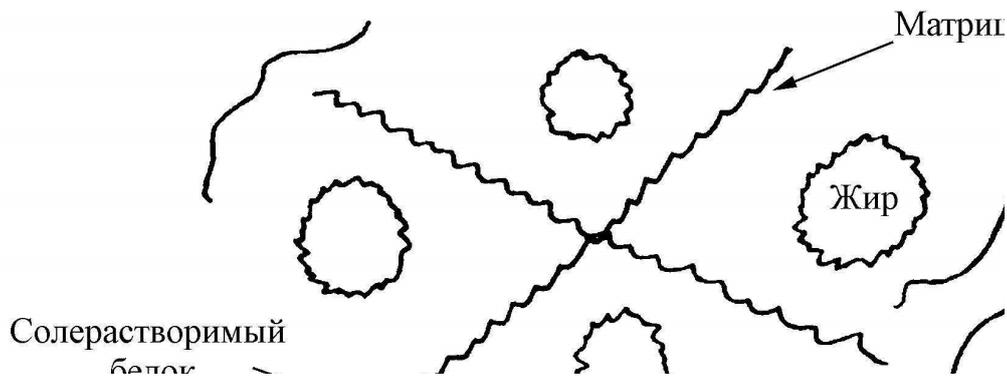


Рисунок 2 – Эмульгаторы и стабилизаторы эмульсии

По убыванию величины эмульгирующей способности (ЭС) белки мышечных волокон располагаются в последовательности: актин (без NaCl), миозин, актомиозин, саркоплазматические белки, актин в растворе соли молярной концентрацией 0,3 моль/дм³.

Подобного рода мясные эмульсии относят к коагуляционным структурам, частицы которых связаны силами межмолекулярного взаимодействия в единую пространственную сетку (каркас). Сопоставление ЭС различных высокомолекулярных веществ показывает, что во всех случаях они стабилизируют эмульсии, образуя трехмерные сетчатые структуры с близкими геометрическими свойствами. Стабилизация эмульсий, обусловленная особыми структурно-механическими свойствами адсорбционных межфазных слоев, может привести к повышению устойчивости этих дисперсных систем вплоть до полного фиксирования. Такая стабилизация носит универсальный характер и необходима при получении высокоустойчивых, особенно концентрированных эмульсий.

При технологической обработке мясного сырья со свойствами белков связано взаимодействие белок – белок (гелеобразование); белок - вода (набухание, водосвязывающая способность, растворимость); белок – липиды (жиропоглощающая и жиросдерживающая способности), а также поверхностно-активные свойства – образование и стабилизация пен и эмульсий.

Мясные фарши – сложная гетерогенная система, функциональные свойства которой зависят от соотношения тканей, содержания в них специфических белков, жиров, воды, морфологических компонентов.

В составе мяса мышечная ткань оказывает значительное влияние на ФТС, так как состоит из комплекса белков, имеющих структурные отличия. В аспекте функциональных свойств при получении мясопродуктов совокупность мышечных белков ответственна за эффективность образования мясных эмульсий. Количественное содержание белка в системе, его качественный состав, условия среды определяют степень стабильности получаемых мясных систем, влияют на уровень водосвязывающей, жиропоглощающей и

эмульгирующей способности, структурно-механические и органолептические характеристики.

Преобладающий количественно в мышечной ткани (54-60 %) и наиболее важный функциональный белок – миозин. Его молекулы имеют выраженную ферментативную активность, легко взаимодействуют между собой и актином, обладают высокой водосвязывающей, гелеобразующей и эмульгирующей способностью.

На характер взаимодействия в системе "белок – вода" оказывают влияние такие факторы, как растворимость белковых систем, концентрация, вид, состав белка, степень нарушения нативной конформации, глубина денатурационных превращений, рН системы, наличие и концентрация солей в системе. Знание и направленное применение особенностей связывания влаги различным белоксодержащим сырьем позволяет прогнозировать и регулировать выход продукта, уровень потерь влаги при термообработке, органолептические характеристики и т.д.

Влагоудерживающая способность (ВУС), как и растворимость, одновременно зависит от степени взаимодействий как белков с водой, так и белка с белком, и поэтому от конформации и степени денатурации белка. В связи с этим, тепловая обработка оказывает сильное влияние на влагоудерживающую способность белков, что, в свою очередь, сказывается на массовом выходе готовых изделий.

В реальных многокомпонентных мясных системах поведение белка как основного стабилизирующего компонента рецептуры рассматривают во взаимосвязи как с другими компонентами (жир, вода, минеральные вещества, морфологические элементы), так и с изменяющимися в процессе технологической обработки сырья условиями среды.

При изготовлении вареных колбас, сосисок, сарделек, мясных хлебов для направленного регулирования ФТС мясных фаршевых систем используют, кроме поваренной соли, пищевые фосфаты – смеси различных солей фосфорной кислоты в количестве 0,3-0,4 % к массе фарша. Фосфаты действуют

как синергисты поваренной соли, вызывая изменение величины рН среды, повышая ионную силу растворов и, связывая ионы кальция в системе актомиозинового комплекса, обеспечивают интенсивное набухание мышечных белков, увеличивают уровень водосвязывающей, влагоудерживающей и эмульгирующей способности.

Особенно эффективно использование фосфатов при переработке размороженного и тощего мяса, сырья с признаками PSE. В последние годы в связи с увеличением объемов мясного сырья с нарушениями нормального хода автолиза возникла необходимость расширения диапазона рН фосфатных препаратов, используемых в отечественной промышленности, с 6,9-7,0 до 9,0.

Экспериментально установлено, что вареные колбасы имеют в среднем приемлемое качество и удовлетворительную органолептическую оценку при устойчивости фаршевой эмульсии не ниже 85 %, влагоудерживающей способности – приблизительно 85 % общего содержания влаги в фарше, или около 90-92 % связанной влаги в сыром фарше и жироудерживающей способности – на уровне 95 % содержания жира в фарше.

1.4. Структурно-механические свойства

Структурно-механические (реологические) 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 на границе раздела с другим материалом (нормальные и касательные).

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

Сдвиговые реологические свойства: предельное напряжение сдвига (θ_0 , Па), вязкость эффективная ($\eta_{эф}$, Па·с) и пластическая (η , Па·с), период релаксации (τ_r , с) – наиболее полно отражают внутреннюю сущность объекта, поэтому их принято считать основными. С их помощью рассчитывают течение продуктов в трубах, рабочих органах машин и аппаратов, определяют необходимые усилия для перемещения продукта, оценивают качество продукта, обосновывают оптимальные технологические условия процесса.

К основным компрессионным (объемным) свойствам относятся модуль упругости (E , Па), равновесный модуль (E_R , Па), период релаксации деформации при постоянном напряжении (τ_σ , с), относительная деформация (ϵ). Эти параметры необходимы для расчета процессов шприцевания, формования, дозирования и течения по трубопроводам пластично-вязких продуктов. Объемные свойства можно также использовать для оценки качества пластично-вязких (фарши) и упругоэластичных (колбасные изделия) продуктов.

Особое место среди структурно-механических характеристик занимают поверхностные свойства (адгезия, коэффициент внешнего трения и др.). Они характеризуют усилие при взаимодействии между поверхностями контакта при нормальном отрыве или сдвиге. Для пищевых материалов различают три основных вида отрыва: адгезионный, когезионный и адгезионно-когезионный, или так называемый смешанный отрыв.

Поверхностные характеристики необходимы для выбора и разработки новых видов контактирующих материалов с продуктом для оборудования, тары, трубопроводов и т. д., поверхности которых должны обладать малой адгезией и минимальным сопротивлением при движении продукта. Кроме того, величины поверхностных свойств частично могут характеризовать консистенцию продукта.

Структурно-механические свойства отражают внутреннее строение (структуру) и состав вещества. Наиболее полно они характеризуют структуру, которая может быть коагуляционной и конденсационно-кристаллизационной.

Для мясопродуктов наиболее распространен коагуляционный тип структуры, которая является следствием взаимодействия между частицами вещества на основе сил Ван-дер-Ваальса через дисперсионную среду. Структурам такого типа присуща тиксотропия, т. е. способность восстанавливать свои свойства после снятия напряжения или даже после разрушения. Очевидно, что структурно-механические свойства коагуляционных систем значительно зависят от содержания воды, размеров частиц и прослоек, их физико-химических свойств. Для технологии представляется важной зависимость структурно-механических свойств от изменения размеров частиц, например при измельчении мяса в процессе приготовления колбасного фарша и других факторов. С помощью приборов и оценки структурно-механических свойств мясных фаршей возможно контролировать любую технологическую стадию и управлять качеством продукции.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТНОСТИ МЯСА И МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ

Цель и задачи работы: приобрести практический навык в определении цветности мяса и мясных продуктов. В задачи работы входит освоение методики определения цветности на монохроматоре путем снятия спектральных характеристик и расчета оптической плотности по коэффициенту отражения.

Методические указания

Для исследования цветности мяса и мясных продуктов в отраженном свете используют монохроматор УМ-2 с лампой накаливания напряжением 12 В, мощностью 40 Вт и ахроматическим конденсором с фокусным расстоянием 90 мм. Напряжение стабилизируют феррорезонансным или электронным стабилизатором.

Монохроматор при снятии спектров отражения используют в комплекте со специальной приставкой, снабженной кольцевым селеновым фотоэлементом, эталоном сравнения и кюветами для измеряемых образцов диаметром 30 мм. Селеновый фотоэлемент воспринимает отраженный свет от эталона или измеряемого образца. Возникший поток измеряется зеркальным гальванометром.

Свет, прошедший через входную щель, попадает на объектив коллиматора и параллельным пучком проходит через дисперсирующую призму. Под углом 90° к падающему пучку света помещается выходная труба монохроматора. При повороте призмленного столика на различные углы относительно падающего пучка света получают в выходной щели свет различной длины волны, проходящий через призму в минимуме отклонения.

Патрубок со щелью можно вынуть и заменить патрубком зрительной трубы со сменными окулярами. Первый патрубок применяют для выполнения измерений, второй – для градуировки прибора.

Вследствие того, что фокусное расстояние объектива для каждой длины волны изменяется, при помощи маховичка осуществляется фокусирующее движение; зависимость фокусировки от длины волны дается в аттестате прибора.

Сменные фильтры в револьверной оправе предназначены для того, чтобы освещение указателя при работе в каждой области спектра производилось светом той же длины волны.

В качестве источника света при исследовании используют лампу накаливания; при градуировке применяют неоновую и ртутную лампы, прилагаемые к монохроматору.

Для измерений в отраженном свете к монохроматору необходимо специальное приспособление. Это может быть фотометрическая сфера или приставка с кольцевым селеновым фотоэлементом, которая более проста в изготовлении.

В качестве эталона используют молочное стекло с известным коэффициентом отражения, калиброванное по окиси магния, или свежеприготовленную окись магния.

Объекты исследования: образцы мышечной ткани различных анатомических участков разных видов животных и птиц разных сроков хранения, мясные продукты кулинарной готовности.

Материалы, реактивы, оборудование: миллиметровая бумага, монохроматор (или спектрофотометр), ртутно-кварцевая лампа СВДШ-250.

Подготовка проб

При определении цвета на монохроматоре УМ-2 мышечную ткань нарезают на ломтики толщиной 4-5 мм перпендикулярно к направлению

мышечного волокна. Из нарезанных ломтиков остро отточенным пробником вырезают образцы. Диаметр пробника должен быть равен диаметру кюветы (30 мм). Вырезанные образцы помещают в чашки Петри, закрывают и выдерживают в темноте не менее 10 мин. Небольшая выдержка образцов на воздухе необходима для превращения миоглобина в оксиммиоглобин, а гемоглобина – в оксигемоглобин. В пределах от 10 мин до 4 ч пробы пригодны для измерения.

Для определения интенсивности окраски из каждой пробы мяса делают 4-5 срезов. В последующем среднее арифметическое измерения 4-5 срезов от каждой пробы является окончательным результатом определения. Для выполнения измерения образцы осторожно, не касаясь поверхности, переносят в кюветы, которые закрепляют в приставке.

При работе на спектрофотометре образцы готовят аналогично, используя пробник диаметром 48-50 мм (диаметр кювет 48 мм). Образцы помещают в металлические кюветы для измерения отражения.

Ход работы

Для снятия спектральных кривых, характеризующих цветность исследуемого образца, измерения делают в широкой области спектра через 2-3 нм в участках, где наблюдаются характерные изменения спектральной кривой, и через 5-10 нм в менее характерных участках. Для определения интенсивности окраски измерение производят при одной, двух или трех длинах волн.

Ширину входной и выходной щелей можно изменять для разных длин волн, подбирая наиболее пригодные. Однако определенные затруднения в работе связаны с тем, что измерения на монохроматоре проводят в темном помещении. Постоянные щели значительно упрощают работу: приемлемая ширина выходной щели 0,1 мм и входной 0,2 мм при работе с приставкой с кольцевым селеновым фотоэлементом, высота 12 мм.

За 10 мин до начала определений включают источник света (лампу накаливания), лампочку осветителя гальванометра и осветительные лампочки на корпусе монохроматора. Перед выходной щелью устанавливают кювету с эталоном, снимают отсчет по шкале гальванометра. Затем на место кюветы с эталоном ставят кювету с испытуемым образцом и снова делают отсчет. После определения при одной длине волны микрометрическим винтом поворачивают барабан, устанавливают нужную длину волны и снова определяют отражение света эталоном и образцом.

При работе с шаровой приставкой и фотоэлектронным умножителем удобна ширина выходной щели 0,1 мм, а выходной такая же или меньше; ее подбирают после включения блока питания с гальванометром и установки эталона против отверстия шара.

В зависимости от отклонения светового указателя гальванометра ширину щели увеличивают, начиная примерно с 0,02 мм, до тех пор, пока указатель гальванометра не остановится на делении шкалы, примерно 60-68. При вычислении коэффициента отражения предварительно из показаний, полученных для образца и эталона, вычитают показание, полученное для черного тела.

На основании характера спектральной кривой того или иного продукта выбирают 2-3 длины волны, при которых в дальнейшем производят измерение для определения интенсивности окраски (например, интенсивность окраски говяжьего мяса определяют при длинах волн 545, 582 и 650 нм).

Коэффициент отражения ρ_λ вычисляют путем деления числа, полученного при измерении образца, на число, полученное при измерении эталона для одной и той же длины волны и одних и тех же условий измерения. Получают коэффициент отражения по отношению к эталону. Зная отражение эталона, вводят поправку. Например, если коэффициент отражения эталона равен 0,85, то поправочный множитель будет 1,176.

Коэффициенты отражения, выраженные в процентах, переводят в оптическую плотность по формуле:

$$D = \lg \frac{100}{\rho_{\lambda}}. \quad (14)$$

Результаты выражают в оптической плотности при длине волны 545 нм (D_{545}) и при длине волны 582 нм (D_{582}), а также в виде отношения

$$\frac{D_{545}}{D_{650}} \text{ и } \frac{D_{582}}{D_{650}}. \quad (15)$$

Оформление результатов

Результаты оформляют в виде кривых отражения (или изменения оптической плотности). Затем делают вычисления и по результатам формулируют заключение по работе, сопоставляя данные с визуальной оценкой продуктов.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТНОСТИ ТВЕРДЫХ ЖИВОТНЫХ ЖИРОВ

Цель и задачи работы: приобрести практический навык определения цветности животных жиров в отраженном свете на фотометре ФТ-2.

Методические указания

Метод основан на фотометрическом измерении отражательной способности образцов жира. Перед началом работы фотометр включают в сеть для прогрева (примерно на 10 мин), после чего проверяют коэффициент яркости градуировочной пластины, являющейся промежуточным эталоном (если коэффициент яркости пластины был установлен не более, чем за 3 дня до опыта, то пользуются имеющимися данными; если перерыв больше, то проверку делают вновь). Затем заполняют кювету исследуемым жиром и производят определение.

В этом методе белизна образцов условно характеризуется величиной “монохроматического” коэффициента яркости в зеленой части спектра, т.е. в области высокой видимости (измерение со светофильтром с длиной волны 510 нм). Второе число показывает отношение отражения в двух участках спектра и как бы характеризует желтизну образца. Чем меньше отношение и выше показание при 510 нм, тем белее образец.

Пример. У образца 1 отражение света при светофильтре $\lambda_{эф} = 410$ нм равно 47,1 %, при $\lambda_{эф} = 510$ нм – 57,4 %, отношение отражений 1,22; у образца 2 – соответственно 72,2 %; 73,5 %; 1,02. Следовательно, образец 2 обладает большей белизной, чем образец 1.

Объекты исследования: твердые животные жиры разных видов.

Материалы, реактивы, оборудование: спектрофотометр, лопатки из плексигласа.

Подготовка проб

При определении цветности твердых животных жиров в отраженном свете на фотометре образец жира должен иметь температуру около 20 °С.

Его помещают в кювету из плексигласа и лопаточкой из того же материала выравнивают поверхность (глубина кюветы 6 мм, диаметр 30 мм). Если за 1-3 приема поверхность становится ровной, жир удаляют из кюветы и заменяют новой порцией того же образца. Многократное выравнивание поверхности в некоторых случаях может повлиять на достоверность результатов.

Если исследуют легкоплавкий жир, который при указанной температуре имеет жидкую консистенцию, можно с некоторой степенью погрешности наполнить кювету жиром непосредственно после охлаждения в холодильнике. Все операции необходимо выполнять очень быстро.

Ход работы

При измерении цветности свиного жира подготовленную кювету с исследуемым образцом помещают в кассету для отражающих образцов. Ручку "светофильтры" ставят против цифры, соответствующей светофильтру с эффективной длиной волны 410 нм, и проводят определение так, как это указано для отражающих образцов. После записи отсчета ручку переводят на цифру, соответствующую светофильтру с эффективной длиной волны 510 нм, и аналогично производят измерения, устанавливая прибор на нуль по показаниям градуировочной пластины для светофильтра с длиной волны 510 нм, снова снимают и записывают отсчет со шкал трех правых ручек прибора.

Результаты, характеризующие цветность свиного жира, записывают в виде двух чисел, одно из которых является результатом измерения отражательной способности образца со светофильтром с эффективной длиной волны 510 нм, другое представляет собой отношение отражательной способности образца, измеренной со светофильтром $\lambda_{эф} = 510$ нм, к отражательной способности образца, определенной со светофильтром $\lambda_{эф} = 410$ нм.

Поскольку в процессе холодильного хранения говяжий жир иногда приобретает зеленоватую окраску, представляет интерес определение наличия зеленоватого оттенка дополнительно к оценке интенсивности окраски как естественного, так и позеленевшего жира.

При определении интенсивности окраски говяжьего жира измерение производят со светофильтром с эффективной длиной волны 460 нм или 475 нм.

Кювету из плексигласа с образцом жира помещают в кассету для отражающих образцов. Ручку «светофильтры» ставят против цифры, соответствующей светофильтру с эффективной длиной волны 460 нм, или против ручки, соответствующей светофильтру $\lambda_{эф} = 475$ нм, и измеряют, как указано выше. Полученный на шкалах трех правых ручек отсчет характеризует интенсивность окраски образца.

Различные образцы говяжьего жира характеризуются примерно следующими величинами отражения, %: интенсивно желтый 38, желтый 47, светло-желтый 54.

Для определения наличия в образце зеленоватого оттенка измерения проводят с двумя светофильтрами: с $\lambda_{эф} = 460$ нм и $\lambda_{эф} = 440$ нм или $\lambda_{эф} = 475$ нм и $\lambda_{эф} = 440$ нм. Метод определения такой же, как для свиного жира.

Оформление результатов

Результаты выражают отношением показаний, полученных со светофильтрами 460/440 или со светофильтрами 475/440. В первом случае

образцы жира с зеленоватым оттенком характеризуются отношением больше единицы, а желтые – меньше единицы, во втором случае – зеленоватые образцы больше 1,10, желтые – меньше 1,10.

В табл. 4 приведены возможные показания при определении зеленоватого оттенка в ряде образцов говяжьего жира.

Таблица 4 – Пример определения цветности говяжьего жира

Образец жира	$\frac{\rho_{460}}{\rho_{460}}$	$\frac{\rho_{475}}{\rho_{440}}$
Желтый	0,98	1,07
Желтый со слабым зеленоватым оттенком	1,01	1,11
Зеленый	1,05	1,15

После снятия спектральных кривых и расчетов делают выводы и формулируют заключение, сопоставляя данные с результатами визуальной оценки анализируемых жиров.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Цель и задачи работы: изучить методы и приобрести практический навык в определении акустических свойств мяса и мясных продуктов. В задачи работы входит подготовить пробы и определить скорость распространения, коэффициент поглощения ультразвука для мяса, мясных продуктов, вторичных продуктов убоя.

Методические указания

Ультразвуковые и звуковые колебания представляют собой механические колебания упругой среды, распространяющиеся с определенной скоростью и обладающие известной энергией. Ультразвуками называются звуковые волны с частотами от $2 \cdot 10^4$ до 10^{13} Гц. Ультразвуки генерируются механическими и электромеханическими излучателями. Длина волны ультразвука является важной ее характеристикой и определяется расстоянием между двумя следующими друг за другом сгущениями или разрежениями при распространении акустических волн в среде.

Звуковые и ультразвуковые колебания нетождественны, так как с повышением частоты изменяются свойства упругих колебаний и соответственно их воздействие на вещество. Характерными свойствами ультразвуковых волн являются отражение, фокусирование и способность образовывать лучи. Ультразвуковые колебания обладают большой механической энергией, которая и определяет эффект их применения в промышленности.

Ультразвук применяется для осуществления и интенсификации ряда технологических процессов пищевой, в том числе мясной промышленности: эмульгирования, экстракции, диффузии и др.

Перспективно применение ультразвука для контрольно-измерительных целей. Изучение ультразвуковых свойств животных тканей открывает перспективы применения ультразвукового анализа для комплексного неразрушающего контроля качества мяса и мясных продуктов на основе экспрессного получения информации об их химическом составе, структуре, механических и термодинамических свойствах. Применяемое излучение безвредно для продуктов, оборудование надежно, портативно и доступно по цене.

К основным физическим величинам, измеряемым опытными образцами приборов, относятся скорость распространения и коэффициент поглощения ультразвука. Поглощение звука – явление необратимого перехода энергии звуковой волны в другие виды энергии, в частности, тепло. Коэффициент поглощения звука α определяется как обратная величина того расстояния, на котором амплитуда звуковой волны спадает в e раз.

Зависимость скорости распространения ультразвука в мясных продуктах от температуры, структуры, физиологического состояния и состава мышечной ткани открывает разнообразные возможности для исследования ряда показателей: массовой доли влаги и ее фазового состава, липидов, соотношения белок : жир и т.д.

Изучение эффекта ослабления ультразвука в животных тканях и сравнительная оценка коэффициента ослабления ультразвука, коррелирующего с его частотой, позволяет судить о диаметре мышечных волокон и других структурных характеристиках мяса и мясных продуктов.

Скорость распространения и коэффициент поглощения ультразвука в мясе и мясопродуктах измеряют с помощью устройства.

Скорость распространения ультразвука определяют по сдвигу фаз между опорным сигналом и сигналом с приемного электроакустического преобразователя. С практической точки зрения удобно фиксировать не сдвиг фаз, а частоту, которая с большой точностью может быть определена

частотомером. Подбором соответствующей частоты добиваются того, чтобы по длине измерительной ячейки укладывалась одна волна, т.е. смещение фазы в точке В было бы равно нулю.

Длина волны λ связана со скоростью ультразвука υ и его частотой ν известным соотношением

$$\lambda = \frac{\upsilon}{\nu}. \quad (16)$$

Если длина измерительной ячейки прибора $l = \lambda$, то скорость ультразвука легко рассчитать, экспериментально определив его частоту и длину измерительной ячейки прибора, по формуле:

$$\upsilon = \nu l. \quad (17)$$

Для практического определения коэффициента поглощения ультразвука в мясе и мясных продуктах используют зависимость длины волны ультразвука от коэффициента его поглощения в животных тканях, согласно которой коэффициент поглощения α связан с величиной девиации частоты δf_n соотношением:

$$\frac{\delta f_n}{f_n} = \frac{\alpha \lambda}{\pi} + B, \quad (18)$$

где λ – длина волны;

B – постоянная, которая характеризует потери энергии, не обусловленные поглощением ультразвука в исследуемом продукте.

Объекты исследования: образцы мышечной ткани различных анатомических участков разных видов убойных животных и птицы, вторичных продуктов убоя, мясопродуктов.

Материалы, реактивы, оборудование: установка для определения акустических характеристик мясопродуктов, нож.

Подготовка проб

Вырезают образцы мышечной ткани (вдоль и поперек волокон), субпродуктов, вторичных продуктов убоя в соответствии с размерами измерительной ячейки экспериментальной установки.

Ход работы

Подготовленный образец помещают в измерительную ячейку прибора. Меняя частоту звуковых волн, определяют акустические характеристики исследуемых образцов мяса и мясопродуктов: рассчитывают скорость ультразвука v по формуле (17) и коэффициент поглощения α по формуле (18).

Постоянную B определяют путем калибровки прибора по средам с известной скоростью ультразвука.

Оформление результатов

Результаты измерений и расчетов представляют в виде таблицы рекомендуемой ниже формы:

Таблица 5 – Результаты исследований

Наименование, краткая характеристика образца	Частота ультразвука, Гц (кГц)	Скорость ультразвука c , м/с	Коэффициент поглощения ультразвука α , м ⁻¹
--	-------------------------------	--------------------------------	---

Лабораторная работа № 4

АНАЛИЗ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель и задачи работы: освоить методы и практически определить некоторые теплофизические свойства мяса и мясных продуктов (теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность).

Методические указания

Рассмотрим систему тел, состоящую из полуограниченного цилиндра В (теплоприемника) и плоскопараллельных пластин M_1 , А и M_2 (рис. 3).

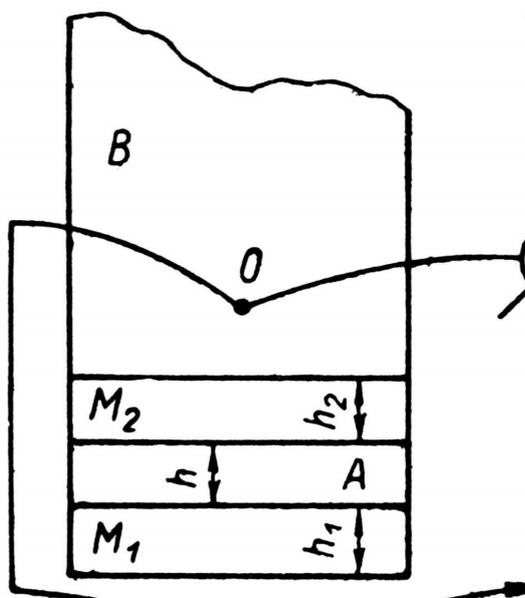


Рисунок 3 – Система тел

Начальная температура системы равна t_0 , температура нагревателя t_n постоянна. Один из спаев дифференциальной термопары помещен в теплоприемнике, другой - в нагревателе. При этом начальное показание N_0 гальванометра G, включенного в цепь термопары, соответствует разности температур $t_n - t_0$.

При соприкосновении нагревателя со свободной поверхностью системы температура в точке 0 системы начнет увеличиваться, и показания гальванометра будут уменьшаться с течением времени τ .

Изменение показаний N гальванометра G со временем τ связано с изменением относительной температуры θ в точке 0 системы соотношением

$$\frac{N}{N_0} = \frac{t_n - t}{t_n} = 1 - \frac{t}{t_n} = 1 - \theta, \quad (19)$$

$$\theta = t/t_n, \quad (20)$$

где t – температура в точке 0 системы;

t_n – температура нагревателя.

Наиболее простое выражение для уравнения

$$\theta = f(\tau), \quad (21)$$

описывающего процесс изменения относительной температуры θ в точке 0 системы, будет получено в случае, когда точка 0 помещена на границе сред А и В. В этом случае уравнение (21) имеет вид:

$$\theta = t/t_n = (1 + \alpha)[\operatorname{erfc}(y) - \alpha \operatorname{erfc}(3y) + \dots] = F(\alpha, y). \quad (22)$$

В уравнении (22)

$$\alpha = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1}; \quad (23)$$

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{b\sqrt{a}}; \quad (24)$$

$$b = \frac{\lambda_b}{\sqrt{a_b}}; \quad (25)$$

$$y = \frac{h}{2\sqrt{a\tau}}; \quad (26)$$

$$\operatorname{erfc}(y) = 1 - \operatorname{erf}(y), \quad (27)$$

где $\operatorname{erf}(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y e^{-y^2} dy$ – интеграл Гаусса;

α – коэффициент температуропроводности исследуемого образца;

a_B – коэффициент температуропроводности теплоприемника;

λ_B – коэффициент теплопроводности теплоприемника;

h – толщина слоя исследуемого образца;

b – тепловая активность или теплоусвояемость,

$$b = \lambda / \sqrt{\alpha} = \sqrt{C\lambda} = C\sqrt{\alpha}, \quad (28)$$

где τ – время;

λ – коэффициент теплопроводности исследуемого образца;

ε – безразмерный параметр, который определяют при помощи рабочих таблиц.

Как видно из рис. 5, один из спаев дифференциальной термопары помещен внутри системы, а другой – в нагревателе постоянной температуры t_H .

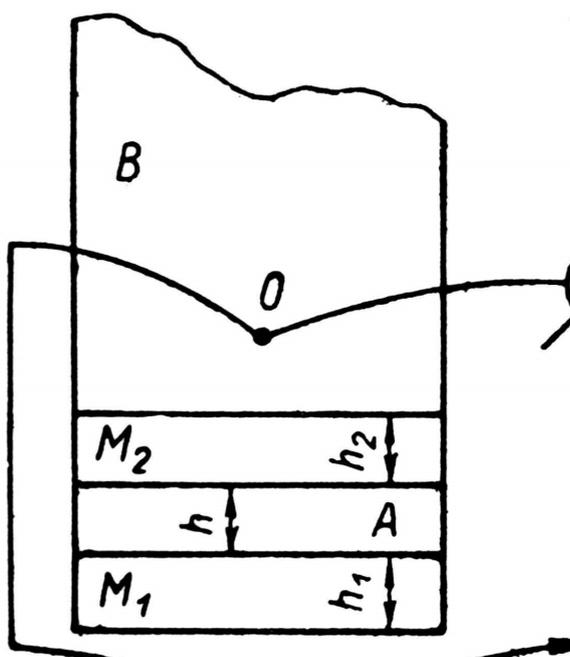


Рисунок 5 – Система нагрева

При этом показание N_0 гальванометра G , включенного в цепь термопары, соответствует разности температур $t_H - t_0$. При соприкосновении с нагревателем температура системы увеличивается, и показания гальванометра G уменьшаются. Измерение теплофизических характеристик сводится к фиксированию двух промежутков времени: $\Delta\tau_1 = \tau_2 - \tau_1$ и $\Delta\tau_2 = \tau_3 - \tau_1$,

соответствующих двум заданным изменениям показаний гальванометра: $\Delta N_1 = N_1 - N_2$ и $\Delta N_2 = N_1 - N_3$.

Полученные значения $\Delta \tau_1$ и $\Delta \tau_2$ позволяют найти все теплофизические характеристики исследуемого материала.

Лабораторная установка состоит из трех основных узлов: теплоприемника с исследуемым объектом, нагревателя постоянной температуры, измерительной схемы.

Теплоприемниками могут служить цилиндры из оргстекла, эбонита, резины, цемента, мрамора, и т.д. Боковая поверхность теплоприемника должна иметь хорошую тепловую изоляцию.

Нагреватель должен обеспечивать постоянство температуры соприкасающейся с ним поверхности системы тел в продолжение всего эксперимента. Возможно применение различных типов нагревателей: закрытого водяного, открытого водяного, электрического, радиационного.

Закрытый водяной нагреватель представляет собой цилиндр с дном из меди толщиной 2-3 мм (рис. 6).

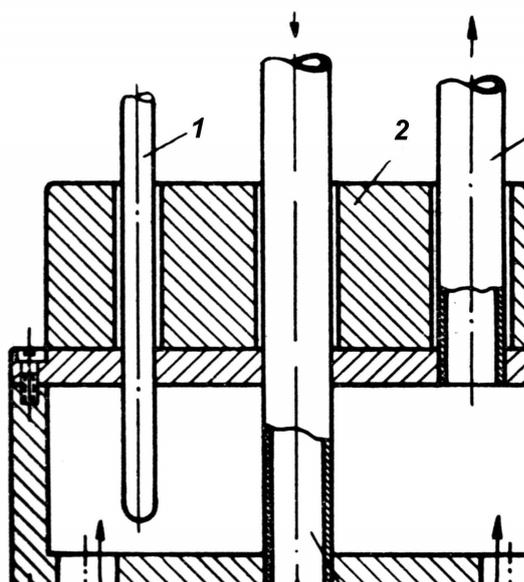


Рисунок 6 – Закрытый водяной нагреватель

Диаметр дна нагревателя должен быть несколько больше диаметра теплоприемника. Постоянство температуры в нем поддерживается струей воды, подаваемой из термостата. Температура воды в термостате устанавливается с

помощью контактного термометра на 10-15 °С выше температуры окружающей среды и поддерживается с точностью $\pm 0,05$ °С. Найденные значения теплофизических характеристик в таком узком температурном интервале можно считать независимыми от температуры.

Вода из термостата по трубе 7 поступает внутрь цилиндра и отдает свое тепло медному дну 6 нагревателя, а затем выдавливается через отверстия 5 в перегородке 4 и уходит по трубе 3 обратно в термостат. Спай термопары расположен в закрытой патрубке 1.

Электрическая измерительная схема состоит из дифференциальной термопары, гальванометра и реостата, включенного последовательно с гальванометром и служащего для установления начального деления N_0 прибора. Один спай дифференциальной термопары расположен в точке О системы, другой – в нагревателе постоянной температуры.

Объекты исследования: образцы мяса разных видов и сортов, вторичных продуктов убоя и мясных продуктов.

Материалы, реактивы, оборудование: лабораторная установка для определения теплофизических показателей мяса и мясных продуктов, нож.

Подготовка проб

Для подготовки к определению теплофизических характеристик используют образцы из мяса разных видов и сортов, вторичных продуктов убоя, мясных продуктов. Вырезают образцы, формой и размером соответствующие размерам поверхности контакта теплоприемника в лабораторной установке.

Ход работы

В кювету теплоприемника лабораторной установки помещают исследуемый образец мяса (мясопродукта). Выводят нагреватель на рабочий режим. С помощью секундомера фиксируют два промежутка времени:

$$\Delta\tau_1 = \tau_2 - \tau_1 \text{ и } \Delta\tau_2 = \tau_3 - \tau_1, \quad (29)$$

соответствующие двум заданным изменениям показаний гальванометра:

$$\Delta N_1 = N_1 - N_2 \text{ и } \Delta N_2 = N_1 - N_3. \quad (30)$$

Пользуясь полученными значениями $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$, рассчитывают теплофизические характеристики исследуемого образца.

Коэффициент температуропроводности

$$a = \frac{h^2}{4\rho\Delta\tau_1}; \quad (31)$$

коэффициент теплопроводности

$$\lambda = b\varepsilon\sqrt{a} = \frac{b\varepsilon h}{2\sqrt{p\Delta\tau_1}} = \frac{bh}{2} \cdot \frac{\Gamma}{\sqrt{\Delta\tau_1}}; \quad (32)$$

объемная теплоемкость

$$C = \frac{\lambda}{a} = \frac{2b\varepsilon\sqrt{p\Delta\tau_1}}{h}; \quad (33)$$

теплоусвояемость, или тепловая активность

$$b_x = \frac{\lambda}{\sqrt{a}} = b\varepsilon, \quad (34)$$

где b – постоянная теплоприемника, характеризующая его тепловую активность;

p и ε – безразмерные параметры, которые берутся из рабочих таблиц, выражающих зависимость p и ε от найденных в опыте значений $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$.

Рабочие таблицы составляются для фиксированных значений N_1/N_0 , N_2/N_0 , N_3/N_0 и имеют вид

$$p = f_1\left(\frac{\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1}\right) = f_1(K); \quad (35)$$

$$\varepsilon = f_2\left(\frac{\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1}\right) = f_2(K). \quad (36)$$

Измеряя промежутки времени $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$ в соответствии с рабочей таблицей, т. е. в соответствии с фиксированными выбранными значениями N_1/N_0 , N_2/N_0 , и N_3/N_0 , находят значения параметров p и ε , входящих в расчётные формулы.

Рекомендации по определению тепловой активности в теплоприемника и рабочие таблицы для определения безразмерных параметров p и ε .

Для вычисления коэффициента теплопроводности можно пользоваться зависимостью

$$\Gamma = \frac{\varepsilon}{\sqrt{p}} = f_3\left(\frac{\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1}\right) = f_3(K). \quad (37)$$

Оформление результатов

Результаты экспериментов студенты оформляют в виде таблицы:

Наименование и характеристика образца	Номер опыта	N_1/N_0	N_2/N_0	N_3/N_0	$\tau_1, \text{с}$	$\tau_2, \text{с}$	$\tau_3, \text{с}$

Результаты расчетов - также в виде таблицы рекомендуемой формы:

Наименование и характеристика образца	$\Delta\tau_1, \text{с}$	$\Delta\tau_2, \text{с}$	$K = \frac{\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1}$	ε	p	$a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$

Сопоставляют и анализируют полученные значения теплофизических характеристик образцов мяса, субпродуктов I и II категории, мясопродуктов; самостоятельно формулируют выводы по работе.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ (ГС)

Цель и задачи работы: приобрести практический навык в получении и анализе гелей (студней).

Методические указания

В коллоидной химии гелями называют твердообразные дисперсные системы, внутри которых распределена жидкость. В отечественной литературе за гелями, образованными из растворов органических высокомолекулярных соединений, установилось название студней. В соответствии с этими названиями иногда термин структурообразование заменяют на гелеобразование или студнеобразование.

Склонностью к образованию коагуляционных структур обладают асимметричные (нитевидные или лентовидные) частицы с высоким, более 100, осевым соотношением (отношение длины к ширине). Даже в небольших концентрациях они способны образовать сплошной рыхлый пространственный каркас в виде единого агрегата благодаря неравномерному распределению центров коагуляции по концам частиц. В петлях образующегося каркаса фиксируется дисперсионная среда. Такое структурообразование называется застудневанием, а образующаяся дисперсная система - лиогелем, или студнем.

Переход жидкости в лиогель сопровождается изменением структурно-механических свойств системы: возникает жесткость, обусловленная наличием в системе непрерывного каркаса, в котором цепные частицы соединены локальными связями в центрах наибольшей лиофобности.

При напряжении выше предела прочности структурный каркас деформируется в результате смещения частиц относительно друг друга и контактов между ними, что внешне выражается в течение всей системы.

Эмульсионная природа мясных фаршей обуславливает высокую концентрацию белков в адсорбционных стабилизирующих слоях. Как правило, концентрация белка достаточно высока и превышает критическую концентрацию гелеобразования. Это предопределяет возможность формирования гелевых структур в межфазных слоях и обуславливает физическую и химическую стабилизацию жира и воды в мясопродуктах из тонкоизмельченного фарша, обеспечивая тем самым качество продукта. Готовые продукты приобретают свойства гелей, в которые включены капельки жира. При этом гелеобразование включает формирование непрерывной белковой сетки, имеющей определенную степень упорядоченности.

Среди белков животных тканей основную роль в формировании структуры мясных эмульсий и последующем термотропном гелеобразовании играет миозин.

При достаточно высокой степени измельчения и под воздействием термообработки коллаген хорошо гидролизуеться с образованием глютина и желатоз, которые обладают выраженной водосвязывающей и застудневающей способностью, что позволяет частично стабилизировать свойства готовых мясных изделий при использовании коллагенсодержащего сырья в виде белковых препаратов, эмульсий, гидролизатов.

Все белки плазмы крови способны образовывать гели при нагревании. Фибриноген имеет выраженную гелеобразующую способность, переходя в фибрин под воздействием внешних факторов и образуя пространственный каркас. Введение в плазму неплазменных белков, клетчатки, пектина существенно увеличивает прочность гелей.

Белки яйца обладают высокими гелеобразующими свойствами, особенно в присутствии альбуминов сыворотки крови и других компонентов.

Растительные белковые добавки в комбинированных пищевых системах проявляют свойства, аналогичные структурообразующим мышечным белкам нежирного мяса. Знание механизмов образования, способов практического получения и анализа свойств студней необходимы в технологической практике.

Работа состоит из двух этапов: получение гелей и исследование свойств.

Объекты исследования: фракция миофибриллярных белков мышечной ткани; продукт гидролиза коллагена – желатин пищевой; плазма крови; образцы растительных белковых препаратов различной степени очистки и технологических форм на основе сои, чечевицы или других культур; агар (или агароид); пектин.

Материалы, реактивы, оборудование: солевой раствор Вебера; поваренная соль; марлевый фильтр; сахар; плитка электрическая; воронки лабораторные; вата; прибор Валента; прибор Тарр-Бейкера; ватерпас; стеклянный сосуд; прокаленный песок; грибовидная насадка; медицинский шприц; поршень; спирт этиловый; резервуар; груз (100-500 г).

Подготовка проб

1. Экстракцию миофибриллярной фракции белков проводят солевым раствором Вебера или раствором поваренной соли эквивалентной молярной концентрации. Масса образца мышечной ткани - 100 г.

2. Готовят исходный раствор образца желатина с массовой долей 10, 15 или 25 % в пересчете на обеззоленное сухое вещество (в соответствии с полученным заданием).

Массу навески желатина (X , г) для приготовления 1000 г исходного стандартного раствора с заданной массовой долей абсолютно сухого обеззоленного вещества вычисляют по формуле

$$X = m \cdot 1000 / [100 - (w + c)], \quad (37)$$

где w – массовая доля влаги; c – массовая доля золы в образце желатина, %.

Навеску, взвешенную с погрешностью не более $\pm 0,01$ г, помещают в колбу с пришлифованной пробкой, приливают необходимый объем дистиллированной воды, плотно закрывают колбу пробкой и оставляют для набухания в течение 1-2 ч. Колбу с набухшим желатином помещают в

термостат, повышая температуру от 40 до 75 °С в целях полного растворения. Для ускорения растворения колбу с содержимым периодически встряхивают. Приготовленный раствор фильтруют через два слоя марли.

3. Плазму крови получают сепарированием или центрифугированием цельной стабилизированной крови в течение 5-8 мин при частоте вращения барабана 25-42 с⁻¹. Плазму (надосадочная жидкость) отделяют декантацией.

4. Сухие растительные белковые препараты предварительно гидратируют в условиях: соотношение белковый препарат - вода, равное 1:(2-2,5) для муки, 1:3 для концентрата, 1:4 для изолята, температура воды 15-25 °С, продолжительность обработки в куттере или мешалке – 1-3 мин.

5. Растворы агара готовят следующим образом: к навеске сухого агара массой 1,7 г (анфельция) или 2,5 г (фурцелларан), взвешенной с точностью ±0,001 г, добавляют объем дистиллированной воды из расчета, чтобы общая масса раствора была 200 г, и оставляют для набухания не менее чем на 1 ч, после чего нагревают на водяной бане с обратным холодильником до полного растворения агара.

Для агара из фурцелларана готовят раствор с сахаром, добавляя в смесь после полного растворения агара 140 г сахара, и нагревание продолжают, доводя всю массу до кипения. Массу кипятят в течение 2-3 мин, затем взвешивают и нагревание продолжают до тех пор, пока масса агарно-сахарного раствора не будет доведена до 200 г.

Если раствор содержит нерастворимые примеси, его фильтруют в горячем состоянии через воронку с сухой ватой.

Ход работы

1. Получение гелей

Для получения гелей миофибриллярных белков раствор миофибриллярных белков помещают в лабораторные стаканы и нагревают на водяной бане, визуально фиксируя температуру и время формирования геля.

Растворы желатина с различной массовой долей (0,5-5 %) помещают в соответствующую лабораторную посуду, оставляют для гелеобразования при заданной температуре из рекомендуемого температурного интервала (0-10-20-30 °С). Через каждые 20-30 мин визуально фиксируют образование геля.

Готовят смесь из плазмы крови и натурального (морковного или тыквенного) сока с мякотью при соотношении компонентов 1:1 по объему, оставляют для гелеобразования при температуре 16-22 °С. Каждые 20-30 мин визуально фиксируют образование геля.

Приготовленный раствор агара, агароида или агарно-сахарный раствор разливают в подготовленные сухие стаканы. Стаканы с горячим раствором агара помещают в горизонтально установленный сосуд с плоским дном (например, кристаллизатор), заполненный водой температурой 20 °С. Стаканы с агарно-сахарным раствором термостатируют при 30-60 °С. Уровень воды должен быть немного выше уровня раствора в стаканах. Стаканы с раствором выдерживают в сосуде при температуре 20 °С, поддерживая ее добавлением холодной или теплой воды. Визуально фиксируют образование геля и промежуток времени, прошедший до гелеобразования.

2. Определение физических показателей студней

Образцы гелей для исследования готовят в пяти стаканах диаметром 4,0-4,5 см вместимостью по 100 см³, на которые наносят метки, соответствующие объему 30 см³, и далее используют для определения прочностных характеристик на приборе Валента (рис. 7).

Для определения студнеобразующей способности образцов на приборе Тарр-Бейкера формование гелей проводят в стаканах конической формы объемом по 50 см³, температуры плавления студней – в двух пробирках для каждого образца.

2.1 Определение прочности студня на приборе Валента

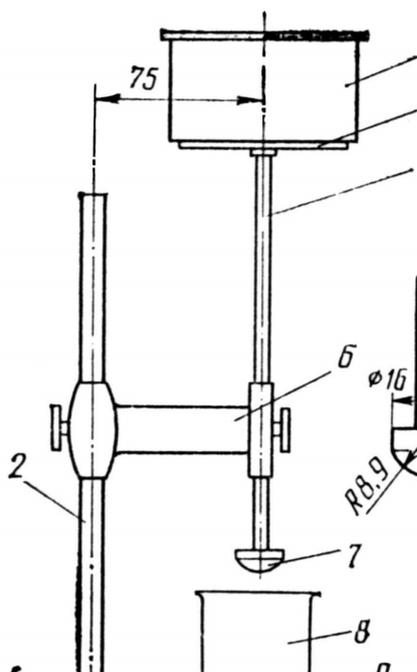


Рисунок 7 – Прибор Валента

Стаканы с образовавшимся студнем ставят на основание прибора Валента, горизонтально установленного при помощи ватерпаса, и на поверхность студня осторожно опускают грибовидную насадку. Поверхность, на которую давит насадка, имеет площадь 2 см^2 . В сосуд, помещенный на площадку, медленно насыпают сухой промытый и прокаленный песок до тех пор, пока насадка, надавливая на студень, не прорвет его. Масса подвижной системы, состоящей из грибовидной насадки, штока, площадки и сосуда для груза, должна находиться в пределах 90-100 г. Насадка должна быть изготовлена из антикоррозионного металла с полированной шаровой поверхностью. Нагрузку следует подавать равномерно, приблизительно 10-12 г/с.

Перед опытом рекомендуется проверить равномерность подачи нагрузки. Для этого в стакан в течение 1 мин насыпают песок с принятой скоростью, затем взвешивают стакан с нагрузкой. При отклонении от рекомендуемых значений проверку повторяют, соответственно изменив скорость подачи груза (песка).

Прочность студня при измерении показателя на приборе Валента (C_B , г/см²)

$$C_B = m/S, \quad (38)$$

где m – масса всей нагрузки песка, сосуда и стержня с насадкой и площадкой, г;

S – площадь поверхности насадки; $S = 2 \text{ см}^2$.

2.2. Определение студнеобразующей способности на приборе Тарр-Бейкера

Основой метода является определение максимальной прочности студня на разрыв. Определение проводят на приборе Тарр-Бейкера (рис. 8), который состоит из стеклянного стандартного поршня 9, напорного сосуда с водой 5, буферного сосуда 3, манометра 6, заполненного четыреххлористым углеродом, подкрашенным йодом. Шкала манометра имеет диапазон от 0 до 90 см с ценой деления 1 см. Система прибора снабжена кранами 1, 2, 4, 7 и 8.

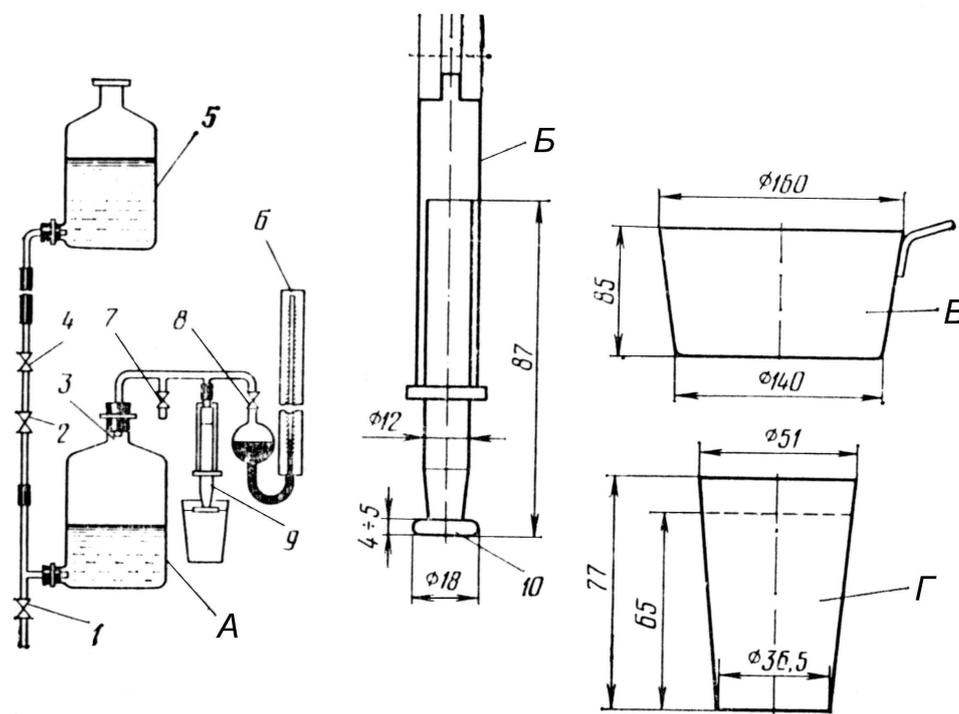


Рисунок 8 – Прибор Тарр-Бейкера

В качестве стандартного поршня используют обычный медицинский шприц. Основным рабочим органом является площадка поршня 10, размеры которой должны точно соответствовать указанным на рис. 8. Рабочая

поверхность поршня должна быть совершенно чистой. После каждого измерения поршень следует промыть спиртом и высушить. Поршень хранят погруженным в спирт и вытирают перед употреблением.

При проведении испытания предварительно регулируют скорость истечения воды из напорного резервуара краном 4 так, чтобы при полностью открытом кране 2 столб четыреххлористого углерода поднимался примерно на 40 см за 1 мин. Такое положение крана 4 при дальнейшем анализе не изменяют. Стандартный поршень обильно смазывают глицерином, чтобы на холостом ходу он свободно скользил по корпусу.

Стакан с желе устанавливают так, чтобы его центральная ось совпадала с осью поршня, который осторожно опускают на поверхность желе. Закрывают кран 7 и открывают последовательно краны 8 и 2. В момент, когда поршень прорвет поверхность желе, кран 4 закрывают и отсчитывают высоту столба четыреххлористого углерода (в см) по разности уровней в обоих коленах манометра. Кран 2 закрывают, а кран 7 открывают и восстанавливают положение поршня для последующего определения. Кран 1 используется для слива воды.

По максимальному значению разницы уровня четыреххлористого углерода по табл. 6 находят желирующую способность (°ТБ).

Таблица 6 – Студнеобразующая способность пищевых систем, °ТБ

Высота столба CCl ₄ , см	Градусы студнеобразующей способности пищевых систем по Тарр-Бейкеру при десятых долях, см									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	83	96	107	117	125	133	142
10	149	156	162	168	175	180	186	192	197	202
20	207	212	227	221	225	229	233	237	241	246
30	250	254	258	262	265	268	272	276	80	284
40	287	290	293	296	299	302	305	308	311	314
50	318	321	324	327	329	335	338	341	344	344
60	347	350	352	354	357	360	363	365	368	370
70	372	375	378	381	383	386	388	390	392	394
80	396	398	401	404	406	408	410	412	414	417
90	419	421	424	426	428	430	431	433	436	438

2.3. Определение температуры плавления студня

Испытуемый раствор наливают в две пробирки приблизительно до половины их высоты, закрывают пробирки резиновыми пробками. Переводят находящийся в пробирках раствор или пищевую смесь в студень.

Пробирки со студнем помещают в стакан с водой температурой 20 °С и с погруженным в него термометром. Стакан помещают в водяную баню той же температуры. Баню подогревают таким образом, чтобы скорость повышения температуры воды в стакане на 1 °С не превышала 2-3 мин. Через каждые 3-5 градусов повышения температуры одну из пробирок вынимают из стакана и, наклоняя ее, наблюдают, не расплавился ли студень. Температуру, при которой содержимое пробирки перейдет в жидкое состояние, отмечают как температуру плавления студня. Расхождение между параллельными определениями не должно превышать 1 °С.

Оформление результатов

1. Фиксируют продолжительность процесса гелеобразования для различных пищевых систем. По результатам испытаний строят диаграмму, иллюстрирующую зависимость скорости гелеобразования от вида и состава дисперсионной среды.

2. Результаты исследования физических свойств гелей оформляют в таблице вида:

Состав пищевых систем, характеристика дисперсной фазы и дисперсионной среды	Прочностные свойства		Температура плавления студня, °С
	Прочность студня, г/см	Желирующая способность, °ТБ	

Сопоставляют результаты, дают сравнительную оценку желирующих свойств различных белков и пищевых систем, формулируют выводы.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Цель и задачи работы: приобрести практический навык определения основных структурно-механических свойств мяса, мясных продуктов, вторичных ресурсов отрасли. В задачи работы входит анализ усилий среза, сдвиговых свойств по уровню предельного напряжения сдвига и поверхностных свойств по уровню адгезии и липкости модельных мясных фаршей.

Методические указания

Лабораторная работа состоит из нескольких этапов, каждый из которых может использоваться независимо, или в совокупности.

Метод определения усилий среза основан на измерении усилия, необходимого для разрушения образца путем среза в камере постоянного объема. Усилие среза определяют на приборе ПМ-3, принципиальная схема которого показана на рис. 9.

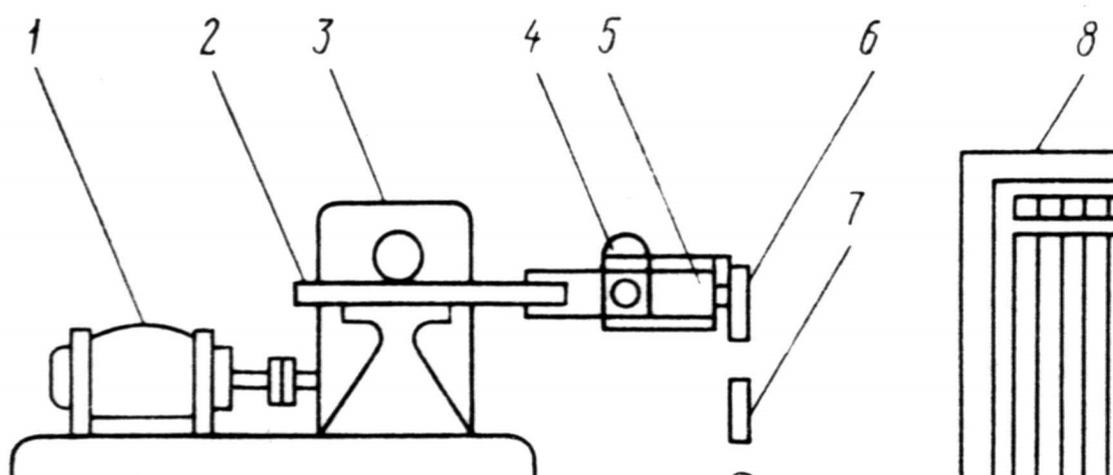


Рисунок 9 – Прибор ПМ-3

Показатель характеризует прочность и жесткость системы, которые тесно связаны с качественным составом белков в мясе и стадиями автолиза мышечной ткани.

О реологических характеристиках мясных фаршей и готовых продуктов можно судить на основе определения предельного напряжения сдвига. Указанный показатель позволяет оценить прочность структуры и консистенцию продукта.

Сдвиговые свойства проявляются при касательном смещении слоев продукта, который может представлять собой жидко- или твердообразную систему, а также «твердое» тело, т. е. неразрушенную среду (целые ткани мяса, кость, сыр, твердый жир и пр.). Приборы для измерения величин свойств последних систем имеют определенную специфику.

Конические пластометры получили широкое распространение в реологических исследованиях из-за простоты устройства и надежности в работе. Устройство приборов такого типа показано на рис. 10. Предельное напряжение сдвига (θ_0 , Па) определяют по глубине погружения конуса.

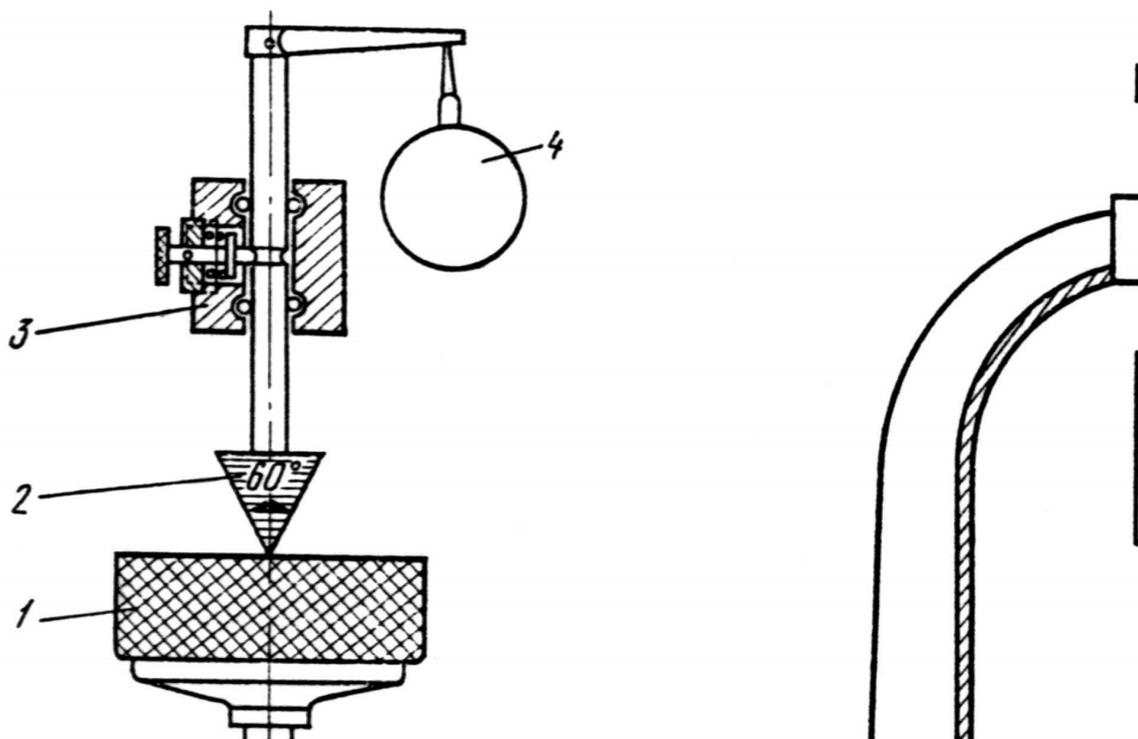


Рисунок 10 – Конические пластометры

Сдвиговые свойства можно определять на вискозиметрах различных марок и модификаций. Ротационные вискозиметры - первичные, теоретически обоснованные приборы, позволяющие получить практически однородные поля напряжений и деформаций при сколь угодно малых и гигантских деформациях сдвига (при любых значениях скорости сдвига). При исследовании структурно-механических свойств с помощью ротационных вискозиметров особо важное значение приобретают верный учет и выбор размеров рабочих органов прибора, математической модели для обобщения экспериментальных данных, влияния торца цилиндра на показания прибора, толщины градиентного слоя и величины градиента скорости.

Принципиальные схемы ротационных вискозиметров показаны на рис. 11. Они могут иметь одну геометрическую форму: коаксиальные цилиндры (рис. 11, а), сферы или полусферы (рис. 11, б), два конуса (рис. 11, в), две плоскопараллельные пластины (рис. 11, г), два плоских кольца (рис. 11, д) или два конических кольца (рис. 11 к).

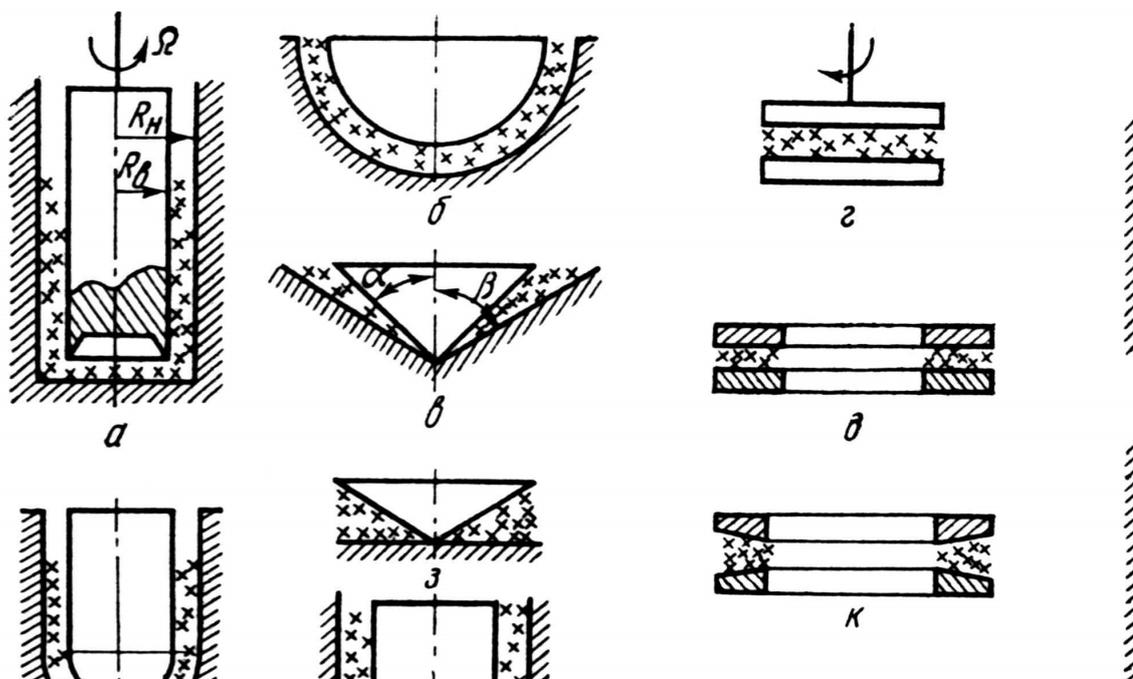


Рисунок 11 – Принципиальные схемы ротационных вискозиметров

Часто рабочий зазор или рабочий орган может быть комбинированным, т. е. состоять из нескольких различных поверхностей: цилиндр - диск (рис. 11, е), цилиндр - полусфера (рис. 11, ж), конус - диск (рис. 11, з), цилиндр - конус (рис. 11, и), цилиндр - конус - диск (рис. 11, л) и пр. Между рабочими поверхностями находится исследуемый продукт, сила сопротивления внутри которого при вращении одной из поверхностей измеряется.

Вискозиметры различают по конструктивным особенностям и способу привода одного из цилиндров. Прибор «Реотест-2» – структурного ротационного вискозиметра, который используется как для определения динамической вязкости ньютоновских жидкостей, так и для проведения глубоких реологических исследований неньютоновских жидкостей. Им можно измерить следующие показатели текучести: структурную вязкость, дилатацию, пластичность (предел текучести), тиксотропию.

Для измерения вязкости жидкостей используют капиллярные вискозиметры. Теория капиллярной вискозиметрии основывается на том, что поток в приборе ламинарный, скольжение на стенке отсутствует, скорость сдвига в точке зависит от нагружения в той же точке.

Жидкообразные продукты не имеют предельного напряжения сдвига, их течение начинается при сколь угодно малых напряжениях сдвига. Обычно, за исключением истинно вязких жидкостей, эти продукты имеют слабую структурную сетку и обладают аномалией течения. Один и тот же продукт в зависимости от интенсивности механического воздействия, влажности (массовой доли сухих веществ) или температуры часто может переходить из одной группы в другую (жидкообразные – твердообразные). Реологические свойства жидкообразных продуктов имеют самостоятельное значение для расчета машин и аппаратов, а также позволяют дать глубокую оценку процессов, связанных с переработкой животного сырья и продуктов, оценкой их качества.

В лабораторной практике теххимического контроля качества некоторых продуктов мясной промышленности, в частности, растворов желатина, клея получил распространение капиллярный вискозиметр Энглера.

Вискозиметр (рис. 12) состоит из двух вставленных один в другой металлических сосудов 3 и 7. Внешний сосуд 7 является термостатирующей баней (Б), куда наливают воду или минеральное масло. Для равномерного поддержания температуры жидкость в сосуде 7 перемешивают мешалкой 5. Внутри резервуара 3 опускают термометр 1. На внутренней поверхности резервуара имеются три указателя уровня 6, которые находятся в одной плоскости и служат отметкой для измерения объема жидкости и контроля вертикального положения прибора. Правильным считается положение, когда все три указателя уровня 6 будут едва видны над поверхностью жидкости. В нижней части сосудов имеется сточное отверстие 8 для слива испытуемой жидкости, которое закрывается стержнем 2, проходящим через крышку 4 прибора. Для приема сливаемой жидкости имеется измерительная колба 9 с двумя отметками: одна – на объеме 100 см³, другая – 200 см³.

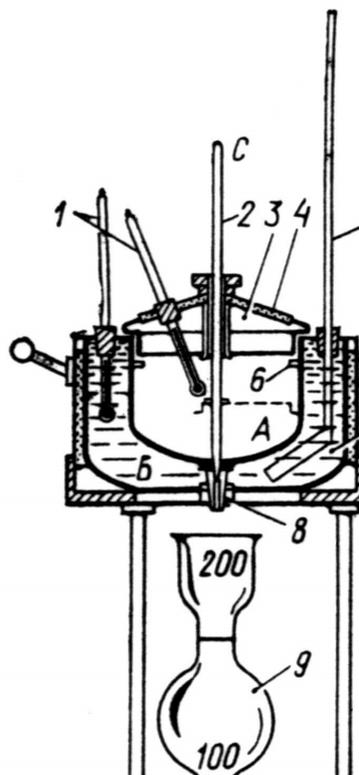


Рисунок 12 – Вискозиметр

Метод основан на определении отношения времени истечения испытуемого продукта при заданной температуре ко времени истечения того же объема воды при 20 °С.

Измерение вязкости позволяет охарактеризовать реологические свойства клеевых и желатиновых растворов, которые зависят от молекулярной массы и формы молекул продуктов деструкции коллагена, степени их гидратации. Эти факторы влияют на процесс гелеобразования при охлаждении водных растворов желатина, прочность студней, их температуру плавления.

Общим для всех приборов этого типа является наличие капилляра, устройства для измерения расхода или объема жидкости и системы, обеспечивающей создание гидростатического давления. В качестве капилляра можно использовать трубку диаметром от долей до 2-3 мм для измерения вязкости ньютоновских и не очень вязких неньютоновских жидкостей. Получаемые результаты, как правило, инвариантны, т. е. не зависят от диаметра трубки.

Наиболее простые, традиционные и вместе с тем универсальные капиллярные вискозиметры Оствальда и Уббелюде имеют капилляр и два полых шарика для жидкости. Движущая сила процесса истечения - перепад давлений - в вискозиметре Оствальда обусловлена разностью высот жидкости, в вискозиметре Уббелюде – вакуумом или давлением в одном колене трубки. При измерениях приборы обычно помещают в водяную баню.

Имеются и другие конструкции вискозиметров такого типа.

Для точного измерения весьма важно правильно подготовить пробу, учитывая особенности конструкции и эксплуатации прибора.

Особое место среди структурно-механических свойств занимают такие поверхностные свойства как липкость (адгезия). Они характеризуют усилие взаимодействия между поверхностями конструкционного материала и продуктом при нормальном отрыве или сдвиге. При этом для большинства мясных и молочных продуктов липкость (адгезия) обуславливает величину усилия внешнего трения.

Липкость – это физическое явление, возникающее при соприкосновении тел. Обнаруживается она при разделении этих тел как усилие, противодействующее разделению (отрыву). Исследование липкости как характеристического свойства сырья и продуктов в технологии мяса имеет большое значение. Например, исследование липкости колбасного фарша позволяет определить оптимальное время куттерования. В практике это свойство мяса оценивают обычно по прилипаемости фарша к поверхности руки. Таким же образом по состоянию поверхности мяса можно с известным правдоподобием оценить его водосвязывающую способность. Липкость исследуют также объективными методами –измеряя усилие, необходимое для отрыва от испытываемой поверхности соответственно подобранной пластины. Мерой липкости является величина усилия, приходящаяся на единицу поверхности контакта. Липкость связана с другими явлениями и свойствами продуктов: адгезией, когезией, вязкостью и поверхностным трением. Адгезия проявляется в виде усилия, действующего на границе двух соприкасающихся фаз, и зависит от величины притяжения, действующего между частицами обеих фаз.

Качественно адгезию можно охарактеризовать двумя способами: нарушением контакта одновременно на всех участках площади (рис. 13 а, г, д) или же путем последовательного отрыва отдельных участков – расслаиванием, отдираанием (рис. 13 б, в). Оба способа определения адгезионной прочности нашли практическое применение. При первом методе разрушающую нагрузку прилагают в направлении как перпендикулярном к плоскости контакта поверхностей, так и параллельном ей и обычно относят к единице площади поверхности контакта. При втором методе определяют силу, необходимую для расслаивания склейки, ее относят к единице длины. Очень часто адгезию, определяемую при расслаивании, характеризуют не силой, а работой, которую необходимо затратить на отделение адгезива от субстрата.

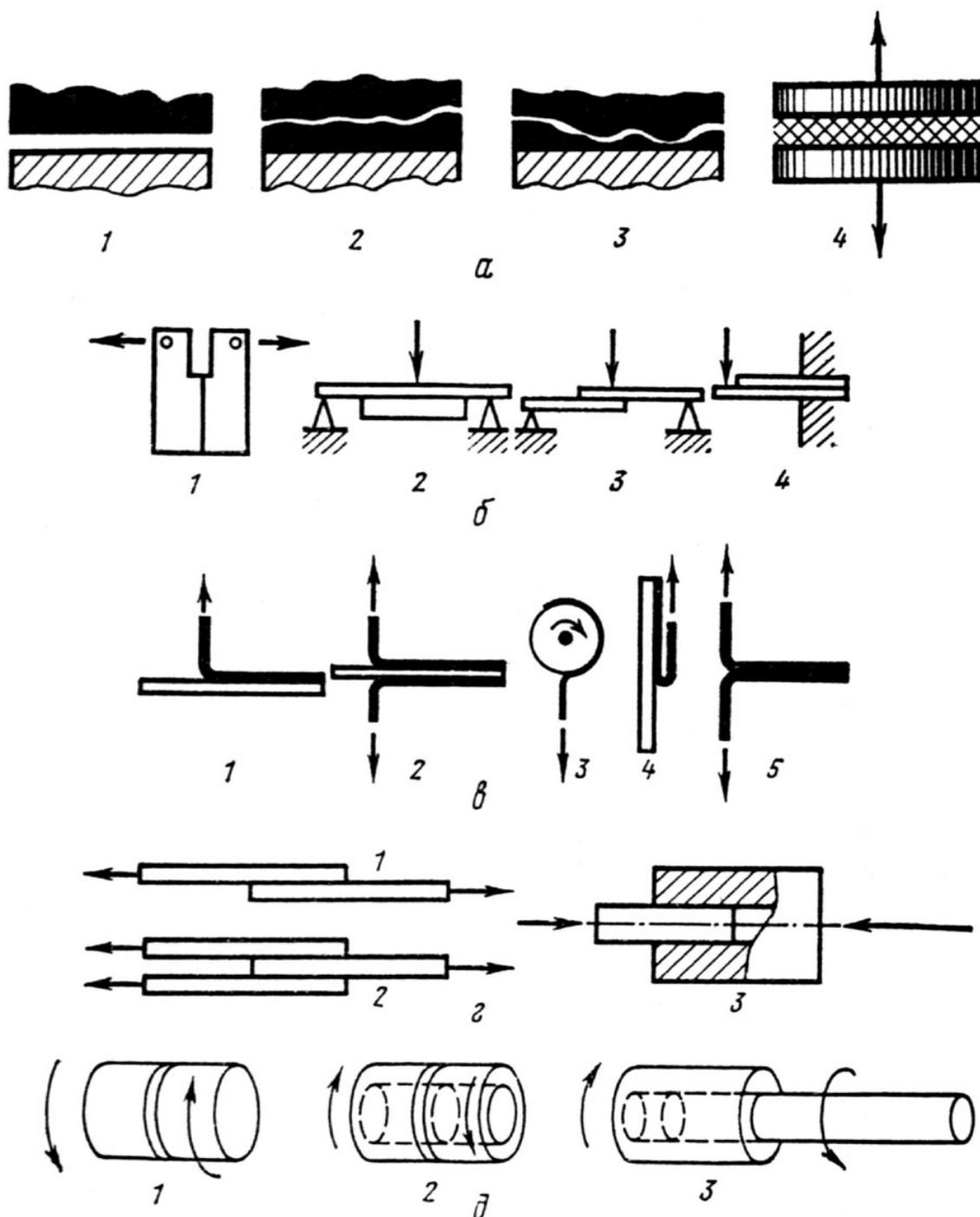


Рисунок 13 – Качество адгезии

Объекты исследования: мясо (в кусках), мясные фарши, растворы клея и желатина, кровь и ее фракции.

Материалы, реактивы, оборудование: нож, мясорубка, конический пластомер, ротационный вискозиметр, вискозиметр Энглера, лабораторная установка для определения адгезионных свойств, прибор для определения липкости.

Подготовка проб

Для определения усилий среза образцов на приборе ПМ-3 на специальном устройстве для вырезания образцов легким нажимом ломтика сырого или вареного продукта на вращающийся трубчатый нож вырезают ровный цилиндрический образец диаметром 10 мм. Полученный образец извлекают с помощью выталкивателя.

Для определения сдвиговых свойств мышечной ткани на коническом пластомере вырезают образцы ткани вдоль и поперек мышечных волокон, по форме и размеру соответствующие кювете прибора, на установках другого типа - соответствующие размерам кюветы используемой установки.

Для определения сдвиговых свойств мясных продуктов на ротационных вискозиметрах и адгезионных свойств на различных лабораторных установках готовят мясной фарш, последовательно измельчая мясо разных видов животных на волчке (мясорубке), куттере, гомогенизаторе или другой машине тонкого измельчения. Диаметр отверстий решетки и продолжительность тонкого измельчения - по заданию преподавателя.

При исследовании реологических свойств крови убойных животных рекомендуется дать сравнительную оценку вязкости цельной крови и ее фракций, для чего цельную стабилизированную кровь рекомендуется разделять на фракции плазмы и форменных элементов сепарированием или центрифугированием в течение 5-8 мин при частоте вращения барабана $25-42 \text{ с}^{-1}$.

Для исследования реологических свойств клея и желатина готовят стандартные растворы: желатина – с массовой долей 10 %, клея – с массовой долей 15 %.

Ход работы

1. Определение усилий резания

Для определения усилия резания включают прибор ПМ-3 тумблером ВК в электросеть. Рукояткой выводят стрелку прибора на нуль и совмещают отверстия в пластине рабочего органа и смещающегося хомута. Подготовленный образец мяса осторожно помещают в образовавшееся цилиндрическое отверстие, вставляют прижимные пластины с ножевой поверхностью на конце в направляющие для срезания излишков мяса и фиксирования образца. Нажатием кнопки "пуск" приводят в движение привод рабочего органа, смещающаяся пластина которого производит срез образца.

Усилие, необходимое для среза образца, передается на тензобалку и через тензодатчик фиксируется в виде пика на ленте потенциометра.

Оформление результатов

Экспериментально полученные данные оформляют в виде таблицы:

Наименование и характеристика образца	Усилие среза
---------------------------------------	--------------

2. Определение сдвиговых свойств на коническом пластомере

Прибор устанавливают по уровню с помощью трех винтов в станине. Готовят модельный материал соответствующей консистенции. Помещают исследуемый образец в кювету прибора. Выравнивают металлической линейкой поверхность модельного фарша так, чтобы масса, находящаяся в сосуде, была вровень с его краями. Кювету с исследуемым образцом устанавливают на столик прибора и поднимают вверх до соприкосновения поверхности с острием конуса. Для значительных перемещений ослабляют стопорный винт механизма подъема столика и свободно перемещают столик; для точной регулировки положения поверхности материала относительно острия конуса пользуются микрометрической гайкой. Контролируют и при необходимости устанавливают нулевое положение индикатора. Нажимают пусковую кнопку, включают секундомер и, слегка придерживая штангу в начальный момент, производят погружение конуса. По мере погружения конуса

в материал через каждую минуту фиксируют глубину погружения рифленого конуса по индикатору. Следует считать, что погружение заканчивается через 3-5 мин, так как по истечении этого времени конус погружается на незначительную глубину, чем практически можно пренебречь. Длительность погружения 180-300 с соответствует наибольшему периоду релаксации используемых для исследования материалов.

Для каждого исследуемого образца следует выполнить 5-6 измерений.

Фиксируют величину угла 2α при вершине конуса, константы конуса K , м/кг; массу штанги, конуса и дополнительного груза $m_{\text{общ}}$, кг (при его наличии).

В случае использования дополнительного груза строят тарировочную кривую пружины индикатора в виде зависимости между массой грузов и вызываемых ими перемещений штока индикатора

$$m_{\text{инд}} = f(h_{\text{инд}}). \quad (39)$$

Для каждого значения величины перемещения штока индикатора $h_{\text{инд}}$ определяют соответствующую массу грузов $m_{\text{инд}}$. Расчетное значение массы грузов для формулы определяют из соотношения:

$$m = m_{\text{общ}} - m_{\text{инд}} \quad (40)$$

Для каждого образца вычисляют величины предельного напряжения сдвига (θ , Па) при фиксированной длительности погружения по формуле

$$\theta = K \cdot \frac{m}{h^2} = K \cdot \frac{m_{\text{общ}} - m_{\text{инд}}}{h^2}. \quad (41)$$

Находят среднее арифметическое значение предельного напряжения сдвига θ_0 для каждого из вариантов исследуемых образцов по формуле

$$\theta = \frac{\sum \theta_i}{i}, \quad (42)$$

где i – количество измерений.

Оформление результатов

Для каждого варианта исследуемого образца строят график зависимости глубины погружения конуса прибора от длительности погружения.

Экспериментальные величины и расчетные данные вносят в таблицы рекомендуемых ниже форм:

Угол при вершине конуса 2α , град	Константа конуса K , м/кг	Общая масса $m_{\text{общ}}$, кг	Масса грузов сопротивления пружины $m_{\text{инд}}$, кг	Действительная масса m , кг

Наименование и характеристика образца	Длительность погружения конуса, с	Глубина погружения h , м	Предельное напряжение сдвига θ , Па	Среднеарифметическое значение предельного напряжения сдвига θ_0 , Па
1	30			
	60			
	120			
	180			
	240			

3. Определение предельного напряжения сдвига и эффективной вязкости на ротационном вискозиметре РВ-8М

Оценивают величину нагрузки холостого хода прибора, для чего путем постепенного нагружения определяют минимальную массу груза (P_0 , г), при котором внутренний цилиндр начинает вращение. Для определения реологических характеристик исследуемый образец массой 15-17 г помещают в наружный цилиндр вискозиметра, находящийся в крайнем нижнем положении. В случае изучения зависимости реологических свойств исследуемых образцов от температуры включают термостат и термостатируют материал в течение 20-30 мин при температуре, заданной преподавателем. Наружный цилиндр при помощи подъемного устройства приводят в рабочее положение и фиксируют с помощью винта. Избыток образца убирают скальпелем, шпателем или ножом.

Конкретные условия определения сдвиговых свойств (масса грузов на блоке, число оборотов шкива) апробируют применительно к изучаемому объекту. Устанавливают фиксированный груз на блоке, освобождают шкив со стопора, одновременно включая секундомер. После остановки системы с прекращением вращения шкива выключают секундомер. Массу груза (m , г), число оборотов шкива (n), время вращения шкива фиксируют. По окончании измерений приводят прибор в исходное положение в следующем порядке: освобождают блок от нагрузки; опускают подъемное устройство в нижнее положение; освобождают внешний цилиндр с термостатирующим устройством от крепления и выгружают исследуемый образец; отмечают высоту контакта рифленой поверхности внутреннего цилиндра с исследуемым материалом (h , см); тщательно моют и высушивают оба цилиндра. Измеряют постоянные величины прибора: радиус шкива (R , см); радиус внутреннего цилиндра (r_1 , см); радиус внешнего цилиндра (r_2 , см); высоту рабочей части внутреннего цилиндра (h , см).

Вычисляют значения констант прибора

$$K = \frac{R \cdot g}{8 \cdot \pi^2 \cdot \left(\frac{r_1^2 \cdot r_2^2 \cdot h}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{r_1^3 r_2^3}{r_2^3 - r_1^3} \right)}, \quad (43)$$

$$K' = \frac{R \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot r_1^2 \cdot h + \frac{\pi^2 \cdot r_1^2}{2}}, \quad (44)$$

где g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Строят график зависимости частоты вращения от массы вращающихся грузов.

Вычисляют эффективную вязкость материала (η , Па с.) для каждого измерения:

Объем (масса) образца, см³ (г) 25 30 50 17

При необходимости выполнения измерений при различных значениях температуры для достижения соответствующего значения достаточно 10-20 мин.

При исследовании реологических свойств ньютоновских жидкостей для определения динамической вязкости достаточно выполнение однотоочечного измерения.

У веществ, отличающихся структурной вязкостью, как правило, фиксируют кривую текучести, определяя зависимость касательного напряжения от градиента напряжения на срез.

Измерения начинают с низких величин градиента напряжения на срез и производят соответствующий отсчет с индикаторного прибора. Повышение градиента напряжения на срез осуществляют, увеличивая число оборотов подвижного цилиндра, например, переключением передач на более высокие (последовательность положений 1а, 2а, 3а, ..., 12а). Если следует увеличить количество точек измерения, можно осуществить это переключением числа оборотов двигателя.

Часто представляет интерес запись кривых гистерезиса. В этом случае фиксируют касательное напряжение для возрастающих или убывающих градиентов напряжения на срез.

Определение точки перехода в жидком состоянии пластичного вещества может осуществляться при низких числах оборотов измерительного цилиндра, например, определением того значения касательного напряжения, при котором после включения двигателя измерительный вал начинает вращаться. Начало вращательного движения удобно наблюдать, глядя на рифли соединительной муфты.

Для веществ, характерных изменением вязкости в зависимости от продолжительности воздействия напряжения на срез, целесообразно

пользоваться прибором «Реотест» в сочетании с компенсационным ленточным пишущим прибором.

При определении сдвиговых свойств (предельного напряжения сдвига и эффективной вязкости) пластично-вязких материалов на ротационном вискозиметре типа "Реотест" касательное напряжение τ и градиент скорости на срез D_r отнесены к радиусу внутреннего цилиндра системы соосных цилиндров. Для действующего в исследуемом образце касательного напряжения (τ_r , дн/см²)

$$\tau_r = z \cdot a, \quad (47)$$

где z – константа цилиндра, a – показания шкалы индикаторного прибора (деления шкалы).

Константа цилиндра указана в удостоверении об испытании каждого измерительного устройства отдельно по диапазонам I и II касательных напряжений.

Падение скорости в кольцеобразном зазоре указывает градиент скорости на срез (D_r, c^{-1}), который часто называют скоростью деформации. Он зависит от размеров системы цилиндров, пропорциональной числу оборотов вращающегося цилиндра, и указан в удостоверении об испытании ступеней ротационного вискозиметра для всех степеней числа оборотов и для всех измеряемых устройств.

Пользуясь измеренными показаниями касательного напряжения и градиента напряжения на срез, вычисляют динамическую вязкость по формуле

$$\eta = \frac{\tau_r}{D_r} \cdot 100. \quad (48)$$

Оформление результатов

Экспериментальные величины и расчетные данные вносят в таблицу вида:

Наименование и характеристика образца, условия эксперимента	Число делений α шкалы индикаторного прибора	Градиент скорости на срез D_r, c^{-1}	Касательное напряжение, Н/м ²	Динамическая вязкость, Па·с

и строят зависимость динамической вязкости образцов от градиента скорости на срез.

5. Определение вязкости на вискозиметре Энглера

Перед началом работы прибор устанавливают с помощью регулирующих винтов так, чтобы три указателя уровня 6 находились в горизонтальной плоскости. Перед каждым определением прибор и его сточное отверстие 8 следует тщательно промыть спиртом, бензином и высушить продуванием воздуха.

Устанавливают с помощью вискозиметра Энглера время истечения дистиллированной воды. Для этого в тщательно промытый и высушенный резервуар для испытуемой жидкости при закрытом сточном отверстии немного выше указателей уровня 6 наливают дистиллированную воду при температуре 20 °С. Нагревая термостатирующую баню, во внутреннем резервуаре в течение 10 мин поддерживают температуру 20 °С; затем слегка поднимают стержень и выпускают немного воды. Таким образом, все сточное отверстие заполняется водой. Излишек воды отсасывают из сосуда пипеткой, чтобы уровень ее находился на высоте указателей уровня. Под сточное отверстие прибора ставят измерительную колбу. Установив прибор, закрывают его крышкой, придерживая при этом рукой стержень, закрывающий сточное отверстие.

Убедившись, что температура воды равна 20 °С, быстро, не толкая прибора, поднимают рукой запирающий стержень и по секундомеру точно отмечают время заполнения колбы до черты, указывающей объем 200 см³. Это время должно быть равно не менее 50 и не более 52 с (t_1). Среднее для данного прибора время, принимаемое за единицу, определяют из трех последовательных наблюдений, разница между которыми должна быть равна не более 0,5 с. Такую проверку делают перед каждым новым опытом.

В резервуар (А) немного выше указателей уровня наливают испытуемый образец, подогретый на 2-3 °С выше температуры опыта.

В термостатирующую баню (Б) наливают воду на 0,2-0,3 °С выше температуры опыта и поддерживают ее, перемешивая содержимое мешалкой.

Подняв немного стержень, дают стечь излишку образца настолько, чтобы его уровень совпал с верхними точками указателей уровня и сточная труба была вся заполнена. После этого прибор закрывают крышкой и под сточное отверстие 8 ставят измерительную колбу.

Температуру испытуемого образца проверяют при перемешивании. Для этого вращают вокруг стержня крышку прибора с термометром. Когда будет достигнута требуемая температура, выжидают еще мин, а затем быстро поднимают стержень, закрывающий сточное отверстие, одновременно включив секундомер. Останавливают его в тот момент, когда в измерительной колбе уровень жидкости достигает метки 200 см³ (пена в расчет не принимается). Отметка 100 см³ на измерительной колбе служит ориентировочно для контроля времени истечения.

Вязкость в градусах Энглера °E_{20°} вычисляют по формуле

$${}^{\circ}E_{20^{\circ}} = \frac{t_2}{t_1}, \quad (49)$$

где t_1 – время истечения воды, с;

t_2 – время истечения образца, с.

Для перевода градусов Энглера в Па·с пользуются эмпирической формулой

$$\eta^{20^{\circ}} = \left(6,922 \cdot E - \frac{5,9806}{E} \right) \cdot \rho, \quad (50)$$

где $\eta^{20^{\circ}}$ – вязкость, Па·с;

E – вязкость при температуре опыта, °

E, ρ – плотность жидкости при температуре опыта, г/см³.

Оформление результатов

Полученные экспериментальные данные оформляют в виде таблицы рекомендуемой формы:

Наименование и характеристика образца, условия эксперимента	Номер опыта	Время истечения образца t_2 , с	Среднеарифметическое значение $t_{2\text{ ср}}$, с	Время истечения воды t_1 , с	Среднеарифметическое значение $t_{1\text{ ср}}$, с
---	-------------	-----------------------------------	---	--------------------------------	---

Расчетные данные приводят в виде таблицы:

Наименование и характеристика образца	Условия эксперимента	Вязкость	
		η , Па·с	Па·с

6. Определение адгезионных свойств модельных фаршей

6.1. Для определения адгезионных свойств модельных фаршей используют лабораторную установку.

Основным элементом лабораторной установки являются технические весы 4, над одной из тарелок которых устанавливают скамеечку 1 так, чтобы они не соприкасались. На скамеечку помещают испытуемый образец и прикрывают его измерительной плиткой, которую прикрепляют к коромыслу весов прочной ниткой. На другой тарелке весов помещают стакан. Над весами устанавливают бутылку Мариотта с водой.

Испытуемый образец помещают на скамеечку лабораторной установки и накрывают его измерительной пластиной. Пластину нагружают заданное время грузом с определенной массой. Груз снимают, открывают кран бутылки Мариотта, наполняя водой стакан. Кран закрывают в момент отрыва пластины от поверхности образца, затем уравнивают весы, определяя массу воды в стакане.

Условия эксперимента (высоту слоя продукта, величину нагрузки, продолжительность ее воздействия, массовую долю влаги и жира в модельном фарше) фиксируют в лабораторной тетради.

Адгезия (ρ_0 , Па) определяется как удельная сила нормального отрыва пластины от продукта по формуле

$$\rho_0 = \frac{P_0}{F_0} = \frac{9,81 \cdot m}{F_0}, \quad (51)$$

где P_0 – сила отрыва, Н;

F – геометрическая площадь пластины, m^2 ;

m – масса груза, кг.

Оформление результатов

Экспериментальные и расчетные данные оформляют в виде таблицы:

Наименование образца	Характеристика модельных фаршей, массовая доля компонентов, %			Условия эксперимента		
	влаги	жира	пищевых добавок	Высота слоя образца h , мм	Масса груза m , кг	Продолжительность действия груза τ , мин

6.2. Определение липкости модельных фаршей ведут на приборе Соколова-Большакова.

Метод основан на определении величины усилия, необходимого для разделения двух поверхностей, связанных (склеенных) испытуемым фаршем.

Перед началом работы выдвигают рабочий орган прибора и включают прибор в электросеть. На нижнюю пластину помещают испытуемый образец массой 2 г. Нажатием кнопки “пуск” включают электродвигатель. При этом втулка вместе со штоком, грузом и верхней пластиной перемещается вниз. При достижении верхней пластиной поверхности образца последний

подпрессовывается в течение 30 с под действием груза постоянной массы для данного исследуемого продукта.

По истечении установленного времени подпрессовывания электродвигатель автоматически включается на обратный ход, вследствие чего втулка начинает двигаться вверх. Усилие, необходимое для отрыва верхней пластины от образца, фиксируется на электронном самопишущем приборе.

Конкретные условия определения липкости (масса груза, время нахождения образца под нагрузкой) должны быть предварительно апробированы применительно к изучаемому объекту.

Оформление результатов

Фиксируют условия проведения эксперимента и данные самопишущего устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипова, Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов [Текст]/Л.В. Антипова, И.А.Глотова, И.А. Рогов. – М.: Колос, 2001. – 376 с.
2. В.А. Арет, Б.Л. Николаев, Л. К. Николаев. Реологические основы расчета оборудования производства жиросодержащих пищевых продуктов. учебное пособие [электронный ресурс] / - спб: иц "интермедия", 2012. - 536 с. университетская библиотека online.
3. Еркебаев М.Ж., Кулажанов Т.К., Медведков Е.Б. Основы реологии пищевых продуктов. – Алматы, 2006. – 298 с.
4. Крусь Г.Н., Шалыгина А.М., Волокитина З.В. Методы исследования молока и молочных продуктов. – М.: Колос, 2000. – 368 с.
5. Кузнецов О.А., Волошин Е.В., Сагитов Р.Ф. Реология пищевых масс – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. – 106 с.
6. Лапина, Г.П. Реология сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов питания: учебное пособие / М-во образования и науки Рос. Федерации, ФГБОУ ВПО "Твер. гос. ун-т". - Тверь : Тверской государственный университет, 2011.
7. Малкин А. Я., Исаев А. И. Реология. Концепции, методы, приложения Изд-во: Профессия, 2007. — 560 с.
8. Мачихин Ю.А. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник.- М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
9. Перебейнос А.В. Технологии производства функциональной продукции из продовольственного сырья. М. - Легкая и Пищевая промышленность, 2002-230с.
10. Рогов И.А. Общая технология мяса и мясопродуктов /И.А. Рогов, А.Г. Забашта, Г.П. Казюлин. – М.: Колос, 2000. – 367 с.
11. Рогов И.В. Физические методы обработки пищевых продуктов. М. - Пищевая промышленность 2004-584с.

12. Тимошенко, Н.В. Технология переработки и хранения продукции животноводства. Учебное пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 576 с., таблиц – 70, рисунков – 80, библиогр. – 106.

13. Федоров Н.Е., Измерение ротационным вискозиметром. М. - Легкая и Пищевая промышленность, 2000-104с.

14. Хлебников В.Н. Технология продовольственных товаров. Учебник. 2-е издание. – М.: Изд.дом «Дашков и К», 2002. – 423 с.

15. Шалыгина А.М. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов. М. - Колос, 2002-201с.

**КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени И. Т. Трубилина**

Авторский коллектив:

Тимошенко Николай Васильевич

Патиева Александра Михайловна

Нестеренко Антон Алексеевич

Методические указания по дисциплине «Реология» «Физические, физико-химические и структурно-механические свойства мяса и мясопродуктов» для бакалавров, обучающихся по направлению 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции»

Тираж

экз.

