Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**В. П. Терещенко, Д. Л. Альшевский, Ю. Н. Коржавина,
Ф. С. Карнеева**

РЕОМЕТРИЯ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов
бакалавриата по направлению подготовки
19.03.03 Продукты питания животного происхождения

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 664

Рецензент
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания
ФГБОУ ВО «КГТУ» О. В. Анистратова

Терещенко, В. П.

Реометрия пищевого сырья и продуктов: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. 19.03.03 Продукты питания животного происхождения / В. П. Терещенко, Д. Л. Альшевский, Ю. Н. Коржавина, Ф. С. Карнеева. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 34 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Реометрия пищевого сырья и продуктов» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям, отражены рекомендации для выполнения контрольной работы для направления подготовки 19.03.03 Продукты питания животного происхождения, формы обучения очная и заочная.

Табл. 7, список лит. – 12 наименований

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой технологии продуктов питания 7 сентября 2022 г., протокол № 1

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 15 сентября 2022 г., протокол № 9

УДК 664

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2022 г.
© Терещенко В. П., Альшевский Д. Л., Коржавина Ю. Н., Карнеева Ф. С., 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ 6

Тема 1. Теоретические основы реологии 6

Тема 2. Структурно-механические свойства мясных и рыбных продуктов .. 7

Тема 3. Методы реометрии и принципы устройства реологических приборов 8

Тема 4. Контроль технологических процессов и качества готовой продукции 9

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ 10

Практическое занятие № 1 11

Практическое занятие № 2 17

Практическое занятие № 3 19

Практическое занятие № 4 23

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ 28

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 32

Приложение А 33

ВВЕДЕНИЕ

Изучаемая дисциплина направлена на формирование у обучающихся готовности к применению знаний основ теоретической и экспериментальной реологии пищевых масс с целью контроля технологических процессов и инструментальной оценки консистенции сырья и продуктов животного происхождения.

Целью освоения дисциплины «Реометрия пищевого сырья и продуктов» является формирование знаний, умений и навыков по теоретической и экспериментальной реологии пищевых материалов.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные понятия и законы реологии;
- основы инструментальной оценки консистенции пищевого сырья и продуктов животного происхождения;
- взаимосвязи между реологическими характеристиками пищевого сырья и качеством готовых продуктов;
- закономерности оптимизации режимов механических воздействий на сырье и полуфабрикаты со стороны технологического оборудования.

Уметь:

- осуществлять обоснованный выбор технологического оборудования с учетом реологических свойств продуктов питания, полуфабрикатов и пищевого сырья;
- пользоваться приборами для определения реологических свойств продуктов из животного сырья в лабораторных условиях.

Владеть:

- навыками инструментальной оценки консистенции сырья и продуктов животного происхождения;
- навыками составления реологических моделей пищевого сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов.

Для успешного освоения дисциплины «Реометрия пищевого сырья и продуктов», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценки результатов поэтапного формирования результатов освоения (текущая аттестация) предусмотрены тестовые задания по отдельным темам (по очной форме обучения), задания по контрольной работе, контрольные вопросы к практическим занятиям, темы докладов к практическим занятиям. Для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, предусмотрены вопросы к экзамену.

Тестовые задания используются для оценки освоения первых трех тем дисциплины студентами очной формы обучения – знания основных понятий реометрии пищевого сырья. Тест предусматривает выбор правильного ответа на

поставленный вопрос из трех предлагаемых вариантов ответа. Тестирование обучающихся проводится на занятиях после рассмотрения на лекциях соответствующих тем. Также в конце освоения дисциплины проводится тестирование для проверки усвоения материала студентами по пройденным темам. Тестовые задания предусматривают выбор правильных вариантов ответов из предложенного перечня, а также написание правильного ответа на вопрос, указанный в задании. Оценка определяется количеством допущенных при выборе ошибок. Положительная оценка («зачтено») выставляется, если получены правильные ответы (80–100 %).

При реализации дисциплины «Реометрия пищевого сырья и продуктов» организуется практическая подготовка путем проведения практических занятий и лабораторных работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится для очной и заочной форм в седьмом семестре в виде экзамена. Для заочной формы в седьмом семестре – контрольная работа и экзамен. Оценочные средства для промежуточной аттестации, проводимой в форме экзамена представлены в фонде оценочных средств в виде экзаменационных вопросов.

К экзамену допускаются студенты, получившие положительную оценку («зачтено») по результатам практических занятий; получившие положительную оценку («зачтено») по тестированию (по очной форме обучения); получившие положительную оценку по контрольной работе (заочная форма обучения).

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Реометрия пищевого сырья и продуктов» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, задания для практических занятий. Материал пособия содержит рекомендации по написанию контрольная работы для студентов заочной формы обучения.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Реометрия пищевого сырья и продуктов», студент должен научиться работать на лекциях, практических и лабораторных занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Тематический план лекционных занятий (ЛЗ) для очной и заочной форм обучения представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Объем (трудоемкость освоения) в очной и заочной формах обучения и структура ЛЗ

Номер темы	**Содержание лекционного занятия**	**Кол-во часов ЛЗ**		
		Очная	**УЗ**	**Заочная**
Семестр – 7				
1	Теоретические основы реологии	8	2	2
2	Структурно-механические свойства продуктов	8	-	2
3	Методы и средства реометрии	8	-	2
4	Контроль процессов и качества продуктов	6	-	2
Итого за семестр		**30**	**-**	**8**
Итого по дисциплине		**30**	**2**	**8**

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Теоретические основы реологии

Ключевые вопросы темы:

1. Исходные понятия реологии, основные термины и положения.
2. Реологические и механические модели.
3. Реологические эффекты.

Рекомендуемая литература: [1–3]

Методические рекомендации:

Первая тема курса дисциплины «Реометрия пищевого сырья и продуктов» позволит обучающимся получить представление о базовых понятиях дисциплины, в ней также определяется место изучаемого материала в системе научного знания и его взаимосвязь с другими дисциплинами.

На первом лекционном занятии студентам предоставляется информация о целях и задачах дисциплины, о месте дисциплины в структуре образовательной программы, о планируемых результатах освоения дисциплины, а также о возможных рисках освоения дисциплины и формах текущего и промежуточного контроля.

Многие технологические процессы пищевой промышленности связаны с механическим воздействием на продукт. При создании совершенных технологических процессов, позволяющих получить готовый продукт высокого качества, необходимо практически в каждом конкретном случае изучать целый комплекс физико-механических свойств. Эти свойства характеризуют поведение пищевых масс под действием механических нагрузок со стороны рабочих органов машин.

При подготовке первого вопроса следует дать определение понятию «реология» и рассказать, что понимается под предметом реологии. Также необходимо дать определение таким терминам, как «сдвиг», «деформация», «вязкость», «пластичность», «упругость», «напряжение», «гидростатическое давление», и др., указать виды деформации.

При ответе на второй вопрос необходимо отметить какие существуют реологические и механические модели, представить их графически, указать уравнение простых («идеальных») и сложных тел.

Ответ на третий вопрос предполагает краткую характеристику понятий: тиксотропия, реопексия, эффекты Баруса и Вайсенберга. Также необходимо описать обобщенные реологические модели.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что понимается под понятием «реология»?
2. Какие свойства материалов описывают их физико-механическую структуру?
3. Что является объектами пищевой реологии?
4. Что такое реологическая модель?

Тема 2. Структурно-механические свойства мясных и рыбных продуктов

Ключевые вопросы темы:

1. Классификация пищевых материалов в зависимости от дисперсного строения и структуры.
2. Типы дисперсных систем.
3. Структурно-механические свойства пищевых продуктов.

Рекомендуемая литература: [1– 4, 8, 9]

Методические рекомендации:

Каждый материал обладает всем комплексом реологических свойств, хотя и в различной степени. У одного и того же материала в зависимости от его состояния и условий нагружения, могут проявляться, в большей или меньшей степени, различные реологические свойства. При подготовке первого вопроса необходимо дать классификацию пищевых материалов в зависимости от дисперсного строения и структуры. На каждый тип дисперсной системы

необходимо дать примеры пищевых продуктов, их типичных реологических свойств и дать характеристику их текстурным признакам.

Ответ на второй вопрос должен включать типы дисперсных систем, их состав, дисперсионные среды и дисперсные фазы в различных продуктах питания.

Последний вопрос темы затрагивает деформационные, сдвиговые, поверхностные, компрессионные свойства пищевого сырья и продуктов, твердость, хрупкость и прочность пищевых материалов, консистенцию и текстуру продуктов питания, а также влияние технологических и механических факторов на структурно-механические свойства пищевых продуктов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие бывают типы дисперсных систем?
2. Что относится к структурно-механическим свойствам пищевых продуктов?
3. В чем разница между дисперсионной средой и дисперсной фазой?
4. Какой тип дисперсной системы у фарша, мяса, молока?

Тема 3. Методы реометрии и принципы устройства реологических приборов

Ключевые вопросы темы:

1. Классификация методов реометрии и реологических приборов.
2. Расчетные методы реометрии в пищевой технологии.

Рекомендуемая литература: [1, 2, 4, 8]

Методические рекомендации:

При ответе на первый вопрос необходимо дать классификацию методов реометрии и реологических приборов, указать принципы методов определения консистенции и реологических характеристик пищевых материалов на основе комплексного нагружения. При этом необходимо дать краткую характеристику принципам устройства приборов для измерения структурно-механических свойств: вискозиметров, консистометров, пластометров, пенетрометров, адгезиометров и др.

Ответ на второй вопрос темы должен включать расчетные методы реометрии в пищевой технологии, а также расчеты объёмного расхода пищевых материалов при течении по каналу матрицы пресса и трубопроводу.

Вопросы для самоконтроля:

1. Виды сырья в пищевой промышленности.
2. Перечислите приборы для исследования сдвиговых характеристик жидкообразных материалов.

3. Какие эффекты снижают точность измерений при ротационной вискозиметрии?

4. Что такое предельное напряжение сдвига?

5. Опишите принцип работы пенетрометра.

Тема 4. Контроль технологических процессов и качества готовой продукции

Ключевые вопросы темы:

1. Роль реологических показателей в пищевой технологии.
2. Инструментальный контроль технологических процессов и качества готовой продукции.

Рекомендуемая литература: [1, 2, 6–8]

Методические рекомендации:

При подготовке первого вопроса необходимо дать характеристику реологических показателей в пищевой технологии, их взаимосвязи с химическим составом, строением и качеством (свежестью) пищевого сырья и продуктов. Также дать определение допускаемых удельных нагрузок, жесткости, прочности на срез, относительных деформаций, сдвиговой прочности и липкости на примере фарша и мышечной ткани.

Ответ на второй вопрос должен включать описание инструментального контроля технологических процессов и качества готовой продукции. Кроме того, необходимо рассказать о контроле расхода пищевых масс при перемещении по каналам и трубам.

Вопросы для самоконтроля:

1. Структурно-механические свойства пищевых продуктов.
2. Теплофизические свойства пищевых продуктов.
3. Электрофизические свойства пищевых продуктов.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Целью практических занятий является получение знаний в области методов и средств реометрии пищевых материалов, контроля технологических процессов и оценки качества продукции с помощью реометрии, а также формирование умений и навыков по расчету сдвиговых, реологических характеристик пищевых продуктов и построению реограмм.

Практические занятия проводятся в виде семинарских занятий совместно с выполнением задания по заданной тематике по четырем темам дисциплины. По результатам выполнения практических занятий студент должен приобрести практические умения и навыки, а также владеть основами теоретической и экспериментальной реологии пищевых масс при проведении экспериментов по заданной методике с целью контроля технологических процессов и инструментальной оценки консистенции сырья и продуктов животного происхождения для развития понимания сущности технологических процессов производства продуктов животного происхождения.

Оценка результатов выполнения задания по каждой работе производится при представлении студентом отчета, ответов студента на вопросы по тематике работы. Студент, самостоятельно выполнивший задание и продемонстрировавший знание теоретического материала соответствующей тематики получает оценку «зачтено». Каждый студент имеет возможность выступить с докладом по одной из предлагаемых тем, с учетом темы практического занятия. Студент, грамотно изложивший информацию по соответствующей тематике, полностью раскрывший вопрос, и ответивший на вопросы преподавателя и присутствующих студентов получает оценку «зачтено» по результатам выступления с докладом.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ПЗ

Номер	**Содержание практического занятия**	**Очная форма, ч**	**Заочная форма, ч**
1	Сдвиговые характеристики мясных, молочных и рыбных продуктов	5	2
2	Расчеты реологических характеристик, построение реограмм	5	2
3	Методы и средства реометрии пищевых материалов	5	2
4	Контроль технологических процессов и оценка качества продуктов с помощью реометрии	5	2
Итого по дисциплине		**20**	**8**

Практическое занятие № 1

СДВИГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЯСНЫХ, МОЛОЧНЫХ И РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ

Цель занятия – приобретение умений и навыков инструментальной оценки в области оценки консистенции сырья и продуктов, определение сдвиговых характеристик мясных, молочных и рыбных продуктов.

Рекомендуемая литература: [10–12]

Практическое задание:

1. Найдите ПНС пищевой массы при перемещении ее по трубе диаметром 0,1 м со скоростью в центре 1 и у стенки 0,5 м/с, если величина пластической вязкости равна 10 Па*с.

2. Определите ПНС мяса рыбы, если предельная допустимая высота слоя для нее составляет 0,8 м.

3. Значение ПНС тканей рыбы составляет 3 кПа. Найдите величину объемной плотности энергии внутренних связей (Дж/м^3) и назовите основные виды внутренних связей, препятствующих сдвигу.

Теоретическая часть

Сдвиговые свойства представляют собой фундаментальные физические свойства продуктов. Они проявляются при механическом воздействии на обрабатываемый продукт и характеризуют его сопротивляемость приложенным извне усилиям, обусловленную строением и структурой продукта. Эти характеристики используются для расчета процессов течения продуктов в рабочих органах машин с целью определения их механических параметров (геометрических, кинематических и динамических); они отражают существенные аспекты качества продуктов. Кроме того, структурномеханические характеристики учитываются при расчете различных физических процессов: гидромеханических, термических (кондуктивный, высокочастотный и другие виды нагрева, выпаривание и пр.), массообменных и т. д.

Сдвиговые свойства жидкообразных пищевых продуктов описываются вязкостью или эффективной вязкостью и не имеют статического предельного напряжения сдвига. Жидкообразные продукты обладают слабой структурной сеткой, которая разрушается при течении в рабочих органах машин с высокими значениями градиентов скорости или при изменении температуры

Для описания течения дисперсных систем широкое распространение получило уравнение Гершеля-Балкли, связывающее напряжение сдвига с тремя константами продукта

$$\theta = \theta_0 + B_1^* \cdot \gamma^n,$$

где θ_0 – предельное напряжение сдвига, Па; B_1^* – коэффициент, пропорциональный вязкости, Па·с^n; γ^n– градиент скорости (du / dr) или скорость деформации сдвига (dγ / dr), с$^{-1}$; n – индекс течения; u – скорость движения элемен-

тарного слоя, м/с; r – линейный размер по нормали к вектору скорости, м; γ – относительная деформация/

Сдвиговые свойства характеризуют поведение объема продукта при воздействии на него сдвиговых, касательных напряжений. Изучение их занимает основное место в реологии, величины сдвиговых свойств можно использовать для самых различных целей, например, для оценки дисперсности
систем, для расчета машин и аппаратов. Важнейшими сдвиговыми характеристиками структурированных систем являются:

1) пластическая и эффективная вязкости $\eta_{эф}$;

2) период релаксации;

3) наибольшая вязкость η_o не разрушенной структуры при скольжении мест контакта и вязкость предельно разрушенной структуры η_m;

4) модули упругости сдвига (G);

5) пределы текучести условно-статический $\theta_{ост}$ и динамический – предельное напряжение сдвига θ_o;

6) прочность структуры при упруго-хрупком или эластичном разрыве θ_m и при пластично вязком разрушении θ_r.

С помощью этих характеристик рассчитывают течение продуктов в трубах, рабочих органах машин и аппаратов, определяют необходимые усилия для перемещения продукта, оценивают качество продукта, обосновывают оптимальные технологические условия процесса.

Сдвиговые характеристики жидкообразных мясных продуктов. К жидкообразным продуктам (телам) относятся ньютовские жидкости и структурированные системы, не имеющие статического предельного напряжения сдвига. Характеристики этих систем описываются вязкостью или эффективной вязкостью и не имеют статического предельного напряжения сдвига. Жидкообразные системы обладают слабой структурной сеткой, которая разрушается при течении в рабочих органах машин с высокими значениями градиентов скорости при изменении температуры. К жидкообразным продуктам относятся: кровь, животные жиры, мясокостный бульон, клеевые и желатиновые бульоны и др.

Вязкость крови. Вязкость крови убойных животных измеряют с помощью вискозиметра Гепплера и реовискозиметра Ротовиско. Она зависит от концентрации сухих веществ и температуры. При этом, как при снижении концентрации сухих веществ, так и при повышении температуры вязкость крови значительно уменьшается.

Вязкость топленых животных жиров. Значения вязкости для разных видов топленых животных жиров представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Зависимость вязкости топленых животных жиров от температуры

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

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

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

Сдвиговые характеристики твердообразных мясных продуктов. В отличие от жидкообразных, твердообразные и твердые системы имеют сравнительно прочную структуру, которая до начала разрушения характеризуется определенной прочностью (предельным напряжением сдвига, пределом прочности, модулями упругостей, релаксацией и т.д.), а после разрушения – соответствующими сдвиговыми и другими характеристиками. Они определяются выбранной математической моделью тела и ее адекватностью реальным условиям деформирования.

Сдвиговые характеристики продуктов в области практически неразрушенных структур определяют по кинетическим кривым деформации с помощью коаксиально-цилиндрического вискозиметра, сдвиговых приборов с двумя параллельными пластинами, а также различными инденторами (конус, сфера, пластина и т.д.).

Значения сдвиговых характеристик сосисочного фарша в области практически не разрушенных структур представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Структурно-механические характеристики сосисочного фарша

Показатель	Пределы измерения напряжения, Па	Значение величины
Модуль мгновенной упругости, Па	Меньше 100	$1{,}23 \cdot 10^4$
Эластический модуль упругости, Па	100–150	$0{,}8 \cdot 10^4$
Эффективная вязкость при деформации ползучести, Па·с	150–200	$16 \cdot 10^5$
Статическое предельное напряжение сдвига, Па	-	250
Наибольшая эффективная вязкость, Па·с	250–350	$5 \cdot 10^5$

Сдвиговые характеристики продуктов в области лавинного разрушения структуры определяют с помощью приборов, допускающих сколь угодно большие скорости деформаций, например, ротоционные вискозиметры и др. Значения сдвиговых характеристик используют для расчета перемешивания продуктов в рабочих машинах, аппаратах и т.д. Эти характеристики являются наиболее

существенными, по сравнению с другими, и более глубоко характеризуют внутреннюю сущность объекта, т.е. его качественные показатели.

Значения основных сдвиговых характеристик для ряда мясных продуктов, измеренные при температуре 10 ºС с помощью ротационного вискозиметра РВ-8, представлены в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что величины реологических характеристик различных видов фарша отличаются довольно существенно. В определенной мере они показывают качественное различие структур продуктов, т.е. его состав, степень механической обработки и прочие.

Таблица 5 – Сдвиговые характеристики различных видов мясного и колбасного фарша

Наименование фарша	Предельное напряжение сдвига, Па	Пластическая вязкость, Па·с	Коэффициенты		
			B, Па·с	B_0^*, Па·с	m
Говядина куттерованная (с водой)	700	18-20	6,1	510	0,73
Свинина полужирная куттерованная (с водой)	650	19-22	6,0	480	0,72
Колбаса:					
любительская	700	18-28	5,0	610	0,79
докторская	540	16-19	4,3	430	0,75
чайная	500	-	3,5	430	0,79
ливерная при t, ^{0}С,					
30	2200	-	6,0	780	0,80
60	100	-	3,0	390	0,80
Сосиски свиные	450	9–11	3,0	320	0,77
Котлеты	400	9–14	3,5	360	0,76

Сдвиговые свойства молочных продуктов. Сдвиговые характеристики жидкообразных систем. Коровье молоко представляет собой сложную полидисперсную систему, дисперсионной средой которой является вода (83–89 %), 70 дисперсной фазой – жир, белки, газы и т. д. (17–11 %). Вязкость молочных продуктов можно представить как сумму вязкости дисперсионной среды и дисперсной фазы, так и приращение вязкости вследствие образования структуры. Структурная составляющая вязкости молока исчезает после механического воздействия на молоко (например, многократное пропускание одной и той же порции молока через капиллярную трубку), что приводит к снижению вязкости. У концентрированных белковых молочных продуктов, наоборот, структурная компонента вязкости настолько велика, что в сравнении с ней вязкостью дисперсионной среды можно пренебречь. При этом концентрированной белковой массе будут присущи предельное напряжение сдвига и аномалия вязкости. Вязкость молока, замеренная на вискозиметре Гепплера, уменьшается с повышением температуры. Это явление наблюдается до тех пор, пока температура молока

не перейдёт предел, выше которого начинается денатурация белков молока, сопровождаемая реакцией меланоидинообразования, вследствие чего темп возрастания вязкости молока с увеличением температуры повышается. Этот процесс необратим, поэтому после охлаждения молока до первоначальной температуры его вязкость будет выше прежнего значения.

Добавление к молоку соли повышает его вязкость, которая становится ещё больше после пастеризации молока при высокой температуре, добавление к молоку перекиси водорода также приводит к возрастанию его вязкости.

Вязкость сгущенных молочных продуктов уменьшается с повышением температуры, но увеличивается с повышением концентрации сухих веществ. Высокотемпературная обработка также приводит к повышению вязкости.

Сгущенное цельное молоко и обезжиренное молоко без сахара при концентрации сухих веществ 45% проявляют малую аномалию вязкости. Сгущённые молочные продукты с сахаром являются псевдоэластичными неньютоновскими жидкостями. Для всех наименований сгущённых молочных продуктов с сахаром, выпускаемых отечественной пищевой промышленностью, разработана единая температурно-инвариантная характеристика вязкости.

Значения наибольшей ньютоновской вязкости сгущённых молочных продуктов с сахаром сразу же после сгущения должны находиться в пределах от 2 до 5 Па·с.

Вследствие развития структурообразования вязкость таких продуктов быстро увеличивается, особенно в течение первых суток. Заметное увеличение вязкости продолжается на протяжении первых трёх месяцев, после чего темп прироста вязкости резко снижается и значение вязкости асимптотически приближается к некоторой предельной величине. На вязкость сгущённых молочных продуктов существенное влияние оказывает применяемый способ сгущения. Так, например, вследствие длительного пребывания молока в вакуумных выпарных аппаратах циркуляционного типа (без принудительной циркуляции) его вязкость оказывается выше, чем у молока, сгущённого в плёночных выпарных аппаратах (с падающей плёнкой) при одинаковых значениях концентрации сухих веществ. Вязкость сгущённых молочных продуктов с сахаром зависит также и от способа внесения сахара в молоко.

Вязкость кисломолочных продуктов во многом определяется видом вносимой в молоко закваски, а также видом и количеством применяемого стабилизатора. Добавление к сливкам казеината натрия способствует упрочнению структуры сгустка и способствует лучшему восстановлению структуры. Так, например, достаточно к сливкам жирностью 20 % добавить 1,2 % казеината натрия, чтобы полученная из них сметана обладала такой же консистенцией, как и с 30%-ной жирностью.

Вязкость сливок коровьего молока. В зависимости от концентрации жира сливки могут быть отнесены как к ньютоновским, так и к неньютоновским жидкостям. Сливки с содержанием жира до 30% незначительно проявляют аномалию вязкости и при инженерных расчётах их можно отнести к ньютоновским

жидкостям. К ньютоновским жидкостям относятся также сливки и с более высоким содержанием жира, если жир находится в расплавленном состоянии.

Энергия активации сливок, проявляющих неньютоновское течение, зависит как от концентрации в них жира, так и от величины градиента скорости.

Вязкость сливок во многом определяется фракцией жира с высокой и низкой температурой плавления, продолжительностью и условиями их хранения. Сливки после созревания перед сбиванием их в масло имеют большую вязкость, чем сливки, полученные из свежего молока и не подвергавшиеся созреванию.

Вязкость сливочного масла. Вязкость расплавленного масла практически соответствует вязкости сливок при одинаковой температуре и таком же содержании жира.

Сдвиговые характеристики твёрдообразных систем. В твердообразном состоянии при обычных условиях могут находиться растворы и суспензии казеина, казеинатов, коприципитатов, некоторые творожные изделия, белковые растворообразные массы из подсырной сыворотки и расплавленная сырная масса. Сдвиговые свойства этих продуктов оценивают главным образом предельным напряжением сдвига и показателями вязкости.

Сдвиговые свойства сыров. При исследовании сдвиговых характеристик сыров наибольшее применение получили методы пенетрации и реологического зондирования. Пенетрацию осуществляют с помощью полуавтоматических пенетрометров «Лабор» (Венгрия) или АР 4/1 (Германия). Измеряют в показателях пенетрации (1 ед. пенетрации равна $1 \cdot 10^{-4}$ м) глубину погружения в продукт конусного или шаровидного инденторов под действием полезной массы подвижной части прибора. По величине показателя пенетрации конусом вычисляют пенетрационную твёрдость $\theta_т$, Па, пользуясь формулой Ребиндера для определения предельного напряжения сдвига.

Величина пенетрационной твёрдости тесно коррелирует (коэффициент 0,8–0,9) с предельным напряжением сдвига сыра θ_o, определённым методом конического пластометра Ребиндера. При реологическом зондировании по методике ВНИИМСа в продукт с постоянной скоростью на глубину более высоты индентора внедряют металлический конус (диаметр основания 0,015–0,025 м, угол 45–90º) или шарик (диаметр 0,012–0,016 м), измеряя при этом силу сопротивления продукта.

По результатам реологического зондирования конусным индентором можно определить предел прочности $\tau_г$, предельное напряжение сдвига (динамическое) τ_s, эффективную вязкость $\eta_{эф}$, и модуль сдвига G.

Темы докладов (сообщений):

1. Прочностные свойства и вязкость колбасных мясных фаршей.
2. Вязкость жидких и пастообразных молочных продуктов.
3. Влияние скорости сдвига на вязкость рыбного теста.
4. Применение уравнения М. П. Воларовича для расчета ПНС.
5. Расчет пластической вязкости по Шведову-Бингаму.

6. Приближенное определение статического и динамического значений ПНС по кривым течения.

Вопросы для самоконтроля:

1. Сдвиговые свойства жидкообразных и ньютоновских пищевых дисперсных систем.
2. Сдвиговые характеристики твердообразных пищевых систем.
3. Сдвиговые характеристики мясных продуктов.
4. Сдвиговые свойства молока и молочных продуктов.
5. Сдвиговые характеристики рыбы и рыбных продуктов.
6. Кривые течения вязких пищевых масс.
7. Кривые течения твердообразных пищевых материалов.
8. Кривые течения по реологической модели Шведова.
9. Корректирование экспериментальных кривых течения по модели Шведова.
10. Расчет значения ПНС для ротационного вискозиметра графоаналитическим методом.

Практическое занятие № 2
РАСЧЕТЫ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, ПОСТРОЕНИЕ РЕОГРАММ

Цель занятия – приобретение умений и навыков составления реограмм и проведения расчетов реологических характеристик.

Рекомендуемая литература: [10–12]

Практическое задание:

1. Постройте реограмму пищевого материала, с учетом варианта задания:

1. У=50 %, Э=30 % и П=30 %.
2. У=60 %, Э=50 % и П=30 %.
3. У=100 %, Э=20 % и П=0 %.
4. У=50 %, Э=0 % и П=50 %.
5. У=75 %, Э=0 % и П=25 %.
6. У=0 %, Э=0 % и П=100 %.

2. Вычислите степень разрушения структуры псевдопластика, если эффективная вязкость составляет 1,2 Па*с, а углы наклона кривой течения к оси напряжения на начальном участке и в конце равны, соответственно 30° и 60°.

3. Вычислите эффективную вязкость псевдопластика, если степень разрушения структуры равна 0,5, наибольшая вязкость 5 Па*с, а наименьшая 1 Па*с.

4. Рассчитайте степень изменения структуры дилатантного пищевого материал α по формуле Ребиндера при эффективной вязкости 2,0 Па с углами наклона кривой течения в начале 60^{0} и в конце 30^{0}.

5. Определить для модели Максвелла остаточное напряжение в вязко-упругой жидкости через 100 с, если приложенное напряжение 1 кПа, а время релаксации напряжения равно 200 с.

Теоретическая часть

Вид структуры продукта обуславливает его качественные и технологические показатели и поведение в процессах деформации. Для их описания используют кривые течения (реограммы), которые связывают между собой напряжение и скорость деформации (деформацию).

Для характеристики жидкостей используют кривые течения – реограммы, которые представляют собой зависимость напряжения сдвига от скорости сдвиговой деформации в условиях простого сдвига. Реограммы ньютоновских жидкостей представляют собой прямую линию, проходящую через начало координат. Все кривые течения, которые отклоняются от прямой линии соответствуют неньютоновским жидкостям. При этом кривая 2 показывает дилатентное течение, характерное в основном концентрированным дисперсным системам, при котором с увеличением скорости деформации наступает «затруднение сдвига»; кривая 3 показывает псевдопластичное течение, что характерно для «сдвигового размягчения» вследствие разрушения структуры с увеличением скорости деформации; кривая 4 показывает нелинейное пластичное течение, характерное для большинства пластичных тел (при высокой концентрации дисперсной фазы вследствие образования пространственной структуры возникает предел текучести). Линейный участок кривой 5 соответствует идеальному пластичному течению.

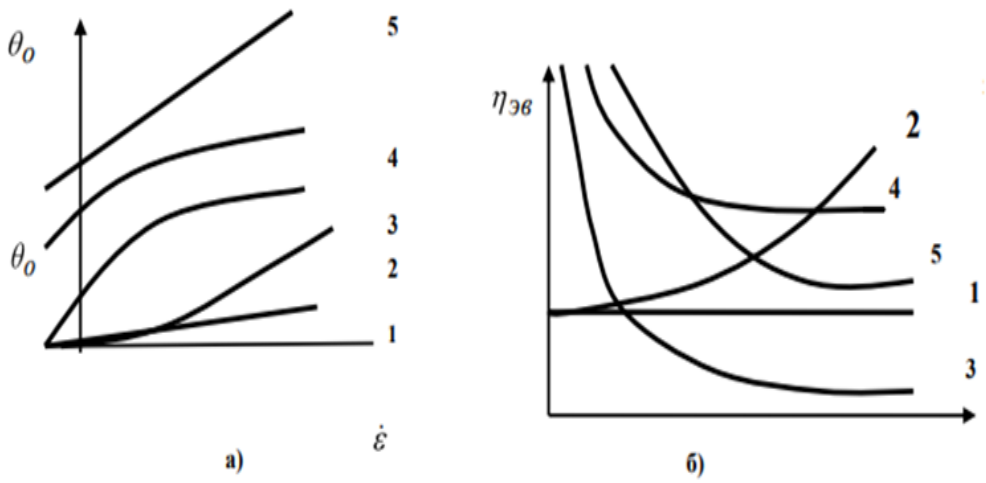

Рис. 1 Кривые течения (а) и функции вязкости (б):
1 – ньютоновской жидкости; 2 – дилатентной; 3 – псевдопластичной жидкости; 4 – нелинейного пластичного тела; 5 – линейного пластичного тела

Темы докладов (сообщений):

1. Расчеты реологических показателей линейной вязко-пластичной пищевой массы при перемещении по трубе.

2. Определение объемного расхода сосисочного фарша при шприцевании в оболочку.

3. Расчет объемного расхода рыбного теста при формовании в канале матрицы пресса.

4. Компрессионные характеристики фарша при термообработке.

5. Реологические характеристики варено-мороженого рыбного фарша.

6. Реологические свойства пастообразных консервов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Определение объемного расхода пищевых материалов при перемещении по каналам и трубам (уравнение Букингема-Рейнера).

2. Течение пищевых масс, подчиняющихся степенному закону с ПНС.

3. Течение псевдопластиков, не имеющих ПНС.

4. Определение давления формования вязко-пластичных пищевых масс.

5. Определение длины выдавленного жгута пищевой массы из отверстия матрицы пресса.

6. Реологические свойства вареных колбас.

7. Реологические характеристики мясных консервов.

8. Реологические свойства молочных консервов.

9. Реологические характеристики рыбных консервов.

10. Влияние температуры на сдвиговые свойства пищевых материалов.

Практическое занятие № 3
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕОМЕТРИИ ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель занятия – приобретение умений и навыков в области инструментальной оценки консистенции пищевого сырья и продуктов, методов и средств реометрии, взаимосвязи между реологическими характеристиками пищевого сырья и качеством.

Рекомендуемая литература: [10–12]

Практическое задание:

1. Найдите толщину слоя налипшего фарша на поверхности мешалки, если величина его липкости равна 1 кПа.

2. Липкость фарша 2 кПа, когезионная прочность 3 кПа. Определите толщину слоя фарша, налипшего на поверхность мешалки после отрыва от поверхности перемешиваемого продукта.

3. Определить модуль упруго-пластической деформации тела рыбы, если при действии напряжения 200 кПа образовалась абсолютная упруго-пластическая деформация 0,01 м., а толщина рыбы около 0,05 м.

4. Определить время упругого последействия в мясе скумбрии, если величина вязкости составляет $6*10^7$ Па*с, а модуль упругости равен 300 кПа.

Теоретическая часть

Реометрию пищевых материалов можно определить как совокупность приборов и методов для измерения реологических свойств материалов, определения структурных, кинематических и динамических характеристик взаимодействия рабочих органов машин с пищевыми материалами и определения изменений реологических свойств материалов при реализации тепловых, химических и других технологических процессов переработки.

Методы физико-химической механики находят все большее применение в различных областях производства пищевых продуктов. Определение реологических свойств пищевых масс связано с необходимостью постоянного технологического контроля производства. Существенные отклонения реологических свойств от принятых норм могут сказаться не только на снижении качества готовых изделий, но и на снижении производительности оборудования при проведении отдельных технологических процессов. Поэтому, основной задачей реометрии является определение изменений свойств материала, происходящих под влиянием тех или иных факторов.

Совокупность объектов реологических исследований в пищевой промышленности охватывает широкий диапазон агрегатных состояний материалов, начиная от твердых тел и заканчивая маловязкими жидкостями. Это, а также разнообразие целей реологических исследований, требует применения исключительного разнообразия приборов, как по принципу действия, так и по конструктивным особенностям.

По виду измеряемой величины реологические методы делятся на четыре группы (табл. 6). Эта классификация в определенной мере условна, так как некоторые приборы позволяют варьировать две величины при постоянной третьей.

Первые два метода получили наибольшее распространение, особенно в вискозиметрии.

Таблица 6 – Классификация методов измерения реологических характеристик

Измеряемая величина	Постоянные величины	Пример прибора
Динамическая (сила, момент, напряжение)	Геометрические, кинематические	Вискозиметр "Reotest"; универсальный прибор ВНИИМ-Па; сдвигометр Симоняна
Кинематическая (время, скорость)	Динамические, геометрические	Вискозиметры: РВ – 8, Оствальда, Уббелоде, Гепплера
Геометрическая (длина, площадь, объем)	Динамические, кинематические (время)	Пенетрометры (конический пластометр КП – 3 и др.)
Энергия (мощность)	Геометрические, кинематические	Приборы, дающие диаграмму сила – расстояние

Первый метод – метод постоянной скорости сдвига $\dot{y}$ = const – реализуется обычно путем применения электромеханического или гидравлического при-

вода. При этом сила сопротивления среды измеряется различными динамометрами.

Второй метод – метод постоянной нагрузки F = const или M = const – конструктивно значительно проще, так как скорость перемещения или вращения измерительного тела легко измерить обычным секундомером или записать на диаграммной ленте.

При третьем методе измерения постоянная сила нагружения обусловлена неизменной массой подвижной части прибора. Время измерения обычно постоянно (180 – 300 с) и принимается несколько больше, чем период релаксации. На приборах измеряют глубину погружения в материал индентора специальной формы при уменьшающейся скорости, которая в пределе достигает нуля.

Четвертый метод позволяет по площади диаграммы, получаемой в координатах «сила – перемещение», определить энергию деформирования, а ордината на диаграмме показывает усилие. Кроме того, в приборах этой группы энергия может быть вычислена по мощности, если прибор снабжен самопишущим или показывающим ваттметром или счетчиком.

По классификации М. П. Воларовича реологические методы исследования и приборы можно разделить на *интегральные*, дающие возможность определять суммарный эффект течения, и на *дифференциальные*, позволяющие непосредственно наблюдать деформацию во времени в каждой точке дисперсной системы при ее течении.

Дифференциальные методы позволяют наблюдать изменение поля напряжений и деформаций во времени при исследовании сложных случаев течения структурированных систем. При этом наблюдения могут вестись визуально, а также с помощью рентгеноскопии, микрокиносъемки и т. д. Дифференциальные методы позволяют получить лишь качественную характеристику исследуемого явления.

В зависимости от условий исследования при помощи модельного анализа в каждом отдельном случае определяют число независимых характеристик механических свойств изучаемой системы, необходимых для решения поставленной задачи. Наиболее совершенными являются методы капиллярной и ротационной вискозиметрии, внедрения конуса, продольного смещения пластинки, а также шариковые вискозиметры.

При планировании и организации реометрических исследований большое значение имеет классификация приборов и методов исследований. М. Рейнер делит реометры на три типа:

1. Приборы, на которых реализуется однородная деформация. Например, машины для испытания твердых тел на растяжение и сжатие.

2. Приборы ламинарного полу-однородного сдвига, обработка данных на которых вследствие неоднородного поля деформаций требуют интегрирования или дифференцирования эмпирических результатов. Это, например, ротационные и капиллярные вискозиметры.

3. Приборы, на которых реализуется ламинарное течение более сложного вида. Например, вискозиметры с падающим шариком.

Приборы для изучения реологических свойств по их физико-математической обоснованности можно подразделить на *абсолютные, относительные и условные*.

На приборах первой группы получают значения исследуемых характеристик в абсолютных единицах.

При работе на приборах второй группы осуществляют их предварительную тарировку на эталонных материалах, характеристики которых в условиях проведения опыта заведомо известны. В результате экспериментов получают относительные значения, которые с учетом тарировочных графиков легко пересчитываются в абсолютные.

На приборах третьей группы получают некоторые условные величины, характерные для данного прибора. Эти условные характеристики могут быть использованы для сравнения различных масс, а также для изучения влияния на испытуемые материалы технологических и других факторов в процессе производства. Условные показатели имеют лишь качественный характер и не могут быть использованы для расчета машин и оборудования.

Данные, полученные на приборах первых двух групп, являющихся теоретически обоснованными, могут быть применены как для оценки качества пищевых продуктов, так и для расчета рабочих узлов машин и выбора оптимальных режимов их работы.

Условия, при которых проводятся исследования на производстве, а также используемые методы и приборы определяются поставленной задачей. В соответствии с этим приборы, предназначенные для измерения реологических свойств пищевых материалов, могут быть разделены на четыре группы:

1) промышленные приборы, устанавливаемые непосредственно на технологических машинах и регистрирующие свойства масс в потоке;

2) лабораторные приборы массового назначения для проведения ускоренного контроля за ходом технологического процесса;

3) приборы, позволяющие проводить более углубленные испытания в лабораториях предприятий;

4) приборы, предназначенные для исследовательских целей, для измерения некоторых специфических физических свойств материалов.

При выборе метода исследования и приборов для определения реологических свойств какого-либо материала необходимо помнить об условиях, в которых последний находится в перерабатывающих машинах.

В некоторых случаях измерение реологических параметров одного продукта различными методами дает неодинаковые результаты. Это объясняется тем, что каждый метод измерения характеризуется определенными геометрическими, кинематическими и динамическими параметрами прибора и условиями проведения опыта. Указанные параметры и условия обусловлены теоретическими положениями, при разработке которых всегда вводятся определенные допущения. При научно обоснованной методике эксперимента измеряемые величины должны иметь *одинаковые* значения независимо от способов измерения и конструкции прибора.

Темы докладов (сообщений):

1. Непрерывнодействующие реометры в поточном производстве.
2. Автоматизированные приборы для контроля реологических параметров.
3. Адгезиометры, прочномеры и компрессионные приборы.

Вопросы для самоконтроля:

1. Классификация реометров для пищевой промышленности.
2. Устройство и принцип действия ротационного вискозиметра РВ-8.
3. Схема и принцип работы вискозиметра «Реотест».
4. Устройство и применение конического пластометра и пенетрометров.
5. Приборы для измерения упругопластических свойств типа ИУТР.
6. Инструментальный метод определения консистенции на ротационном вискозиметре.
7. Инструментальный метод определения консистенции на коническом пластометре и пенетрометре.

Практическое занятие № 4
КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОДУКТОВ С ПОМОЩЬЮ РЕОМЕТРИИ

Цель занятия – приобретение умений и навыков в области контроля технологических процессов и оценки качества продуктов с помощью реометрии

Рекомендуемая литература: [10–12]

Практическое задание:

1. Определите максимально допустимую высоту слоя рыбы, если значение ПНС ее мяса равно 5 кПа.
2. Найдите абсолютную величину упругопластической деформации сырокопченой колбасы, если приложено напряжение 10^5 Па, а величина модуля составляет 1 мПа.
3. Вычислите значение приложенного напряжения для полутвердого сыра при модуле упругопластической деформации 0,9 мПа, если абсолютная деформация составила 1 см. при средней толщине сыра 10 см.
4. Определите величину приложенного напряжения при отбивании мясного полуфабриката, если толщина его до обработки была 3,5 см., а после отбивания 2,5 см. при модуле упругопластической деформации 0,7 мПа.
5. Рассчитайте величину пластической вязкости творожной массы (по модели Бингама), если при перемещении ее по трубе диаметром 0,1 м со скоростью в центре 1 м/с и у стенки 0,5 м/с при напряжении 500 Па, ПНС массы равно 100 Па.

Теоретическая часть

Оценка качества продуктов пищевых производств может осуществляться двумя способами. Первый способ – приборное измерение структурно-механических характеристик, выражаемых в определенных физических единицах. Второй способ – сенсорная (органолептическая) оценка качества, т.е. субъективная чувственная оценка сопротивляемости, деформации и консистенции продукта. Развитие реологии позволило обосновать показатели качества продуктов и разработать некоторые математические принципы построения обобщенных показателей качества.

Шерманом предложена классификация структурных характеристик продуктов, которая может быть использована для установления соотношения реологических характеристик продукта с органолептической оценкой (консистенцией). Характеристики разделены на три класса:

– *первичные*, связанные с аналитическими и геометрическими свойствами (содержание воздуха, влаги, жира и других компонентов; размер и форма частиц);

– *вторичные*, связанные с основными реологическими свойствами (упругость, вязкость, адгезия);

– *третичные*, связанные с механическими процессами измельчения и жевания продукта. Третичные характеристики имеют термины, наиболее часто применяемые потребителями при оценке различных пищевых продуктов. Различают следующие разновидности третичных характеристик: для твердых продуктов – рассыпчатые, хрупкие, порошкообразные, влажные, липкие, сухие, мягкие, твердые, пористые, нежные, грубые (шоколад, печенье, овощи, фрукты, сыр, масло); для полутвердых продуктов – тестообразные, крошащиеся, прилипающие, влажные, сухие, комковые, нежные (плавленый сыр, пасты, сливки, джем); для жидких продуктов – жидкие, водянистые, густые, жирные, липкие (растаявшее мороженное, майонез, соусы, супы).

Установлено, что сенсорная оценка вязкости продукта может быть дана при напряжении сдвига, развиваемом при скорости сдвига до $\grave{y} \leq 50$ с$^{-1}$. Зависимость сенсорной оценки продуктов ψ (установленной вязкости) от напряжения сдвига (возбудителя) τ при $\grave{y} = 50$ с$^{-1}$ имеет вид:

$$\psi = K_S \tau^{n_B},$$

где K_S, n_B – эмпирические коэффициенты.

В зависимости от вида продукта n_B находится в пределе от 0,5 ÷ 2,0. Например, по данным Вуда для супов-пюре $n_B = 1{,}28$.

Таким образом, по вискозиметрическим данным при определенной скорости сдвига можно прогнозировать адекватную реакцию человека при сенсорной оценке вязкости. Однако выводы, основанные на изучении только соотношений приборной и сенсорной оценок, не могут быть просто механически использованы для широких обобщений о качестве продукта. При этом должны быть учтены: значения коэффициентов корреляции; характеристики, измеряемые данным прибором, и условия опытов; однородность образцов продуктов, подвергнутых дегустации; методы расшифровки сенсорных оценок. Таким об-

разом, для оценки качества каждого продукта необходимо проведение серии реологических измерений с параллельным дегустированием специалистами для выявления практических диапазонов связи измеряемых реологических характеристик с консистенцией продукта.

Контроль, управление технологическими процессами можно проводить на конкретном реометре и связав эти параметры с другими показателями технологического процесса (температурой, плотностью, компонентным составом дисперсной среды), произведя таким образом своеобразное тарирование системы контроля и управления. Рассмотрим некоторые примеры влияния технологических факторов на качество мясных продуктов.

При температуре примерно 35 °С в фарше начинается денатурация белков, и фарш из пластично-вязкого состояния переходит в упругое. С повышением температуры связи в водно-белково-солевых прослойках ослабляются за счет уменьшения вязкости растворителя и более интенсивного теплового движения молекул. Это ведет к ослаблению прочности структуры в целом.

При повышении температуры от 2 до 23 °С происходит быстрое разрушение структуры (прочность уменьшается), при 25–35 °С – уменьшается темп разрушения, в связи с денатурацией белка. С повышением влажности фарша утолщаются жидкостные прослойки дисперсионной среды между частицами, уменьшается концентрация белков в растворе прослоек, снижается их вязкость, следовательно, прочность структуры и значения структурно-механических свойств.

При повышении давления происходит перераспределение дисперсионной среды в системе и изменение размера частиц. Кроме того, приложенное давление вызывает переориентацию частиц, более компактную их упаковку с одновременным их деформированием.

В результате любого механического воздействия (перемешивания, растирания, измельчения) на продукт изменяются величины его физических свойств и технологические показатели. При куттеровании происходит тонкое измельчение мяса, что позволяет получить фарш с определенными технологическими характеристиками, которые предопределяют качество готовых изделий. На качество продукта влияют тип измельчающей машины, но процессы независимо от принятых машин протекают одинаково, отличаются лишь значения свойств и длительность достижения заранее заданных величин.

В процессе производства кефира реологические методы исследования можно применять как для контроля качества продукта в процессе его приготовления, так и для оценки качества готового продукта. Установлено, что с изменением pH среды, накоплением продуктов брожения, характеризующих вкус кефира, изменяются структурно-механические свойства продукта. Для получения кефира хорошего вкуса и качества его необходимо перемешивать при pH 4,4–4,5, когда продукт имеет структуру высокой прочности, которая сохраняет свои свойства при последующем механическом воздействии и в процессе хранения.

Сливочное масло в зависимости от температуры может представлять собой ньютоновскую жидкость, псевдопластичную и пластично-вязкую системы. Температурные зависимости адгезии и аутогезии масла имеют характерный максимум при 15 °С, совпадающий с температурной зоной интенсивного плавления молочного жира и резкого падения прочностных показателей. При этом наблюдается наибольшая разница между силами аутогезии и адгезии масла, обеспечивающая максимальную возможность для фасовки масла.

Оценку консистенции продукта инструментальными методами проводят следующим образом:

1) В зависимости от видов и интенсивности механического воздействия (нагружения во времени) определяют различные СМХ (структурно-механические характеристики), из которых выбирают наиболее чувствительную к изменению структуры продукта при его деформации. Выбранная характеристика является реологическим показателем консистенции (измеряемой величиной) для данного продукта;

2) Предварительно проводят определение «эталонного» значения СМХ для каждого вида продукта по существующим методикам оценки качества продукта. При этом в качестве «эталонного» принимают значение СМХ продукта высшего качества;

3) Сравнивают величину выбранного реологического показателя для исследуемого образца продукта с «эталонным» для него значением СМХ и по разности судят о консистенции продукта.

В зависимости от поставленной задачи полученные результаты могут быть использованы для определения качества готового продукта, регулирования параметров технологического процесса производства, служить исходными данными при конструировании технологического оборудования и т. п.

В мясной (молочной) промышленности вырабатывают большой ассортимент продуктов, которые по своей структуре представляют собой различные реологические тела – от упругопластичных твердых тел до истинно-вязких (ньютоновских) жидкостей.

Сенсорная оценка качества и текстуры пищевых продуктов, важною роль играет текстура, по определению проф. М. Боурна, – физико-структурные свойства вещества, в частности продукта, воспринимаемые органами слуха, зрения и осязания и вызывающие у человека определенные ощущения при потреблении (откусывании, разжевывании, проглатывании).

Комплекс ощущений при потреблении пищи, который называется органолептическим, приводит потребителя к предпочтению одних и отказу от других пищевых продуктов. Для создания высококачественных пищевых продуктов необходимо целенаправленно влиять на их органолептические свойства.

Темы докладов (сообщений):

1. Модули первого и второго рода продуктов животного происхождения.

2. Определение и расчет показателя суммарных упругоэластических свойств.

3. Изменение упругопластических свойств и вязкости при технологической обработке.

Вопросы для самоконтроля:

1. Связь реологических показателей с консистенцией продуктов животного происхождения.
2. Определение адгезионных свойств продуктов.
3. Методика определения упругопластических свойств животного сырья и продуктов.
4. Расчет упругости, эластичности и пластичности пищевых масс.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Согласно учебному плану дисциплины «Реометрия пищевого сырья и продуктов» направления подготовки 19.03.03 Продукты питания животного происхождения, студенты заочной формы обучения закрепляют изучаемый материал, самостоятельно в виде выполнению контрольной работы.

Варианты темы контрольной работы определяется по таблице 7 в зависимости от двух последних цифр студенческого шифра (номера студенческого билета и зачетной книжки). В таблице по горизонтали Б размещены цифры от 0 до 9, каждая из которых последняя цифра шифра студента. По вертикали А также размещены цифры от 0 до 9. Каждая из которых предпоследняя цифра шифра студента. Пересечение горизонтальной и вертикальной линий определяет клетку с номерами вариантов контрольной работы.

Таблица 7 – Варианты заданий для контрольной работы

Б		Последняя цифра шифра									
А		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	2	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
	3	5	6	11	5	18	9	2	7	5	11
	4	3	2	19	8	2	1	5	19	2	16
	5	9	7	20	4	6	5	11	20	7	8
	6	8	13	5	14	7	3	3	18	5	12
	7	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	8	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
	9	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

В соответствии с выбранной студентом темой контрольной работы, необходимо описать научные основы, реологические свойства и основы реометрии заданного продукта питания. Контрольная работа должна иметь следующую структуру:

ВВЕДЕНИЕ

Значение реологии как науки. Составные части реологии: макро- и микрореология, реометрия; задачи, связь с пищевой технологией.

1. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РЕОЛОГИИ

Исходные понятия реологии: идеально-вязкое и идеально-упругое тело. Основные термины и положения. Реологические и механические модели, уравнения реологических моделей для заданного продукта (пищевых жидкостей, паст или твердообразных тел). Кривые течения и реограммы для данного продукта, реологические эффекты (тиксотропия, реопексия и др.), обобщенные реологические модели.

2. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Тип дисперсной пищевой системы, состав: дисперсионная среда и дисперсные фазы, их характеристики.

Сдвиговые (вязкость, ПНС, скорость сдвига), компрессионные (объемное и осевое сжатие) и поверхностные (адгезия, липкость, трение) характеристики продукта, плотность и физические свойства.

Зависимость реологических и структурно-механических показателей от различных факторов:

- влияние химсостава (влажность, жирность, сухие вещества и др);
- влияние температуры и давления;
- влияние механической обработки (степени измельчения).

Консистенция и текстура продуктов, технологические (нормативные) требования к консистенции, связь консистенции с реологическими характеристиками и качеством пищевых продуктов.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Определение объемного расхода пищевых масс при перемещении по каналам и трубам, расчет допускаемых удельных нагрузок на продукт, значения давления формования, относительных деформаций и адгезионных свойств.

Решение реологических задач, построение реограмм, вычисление реологических характеристик и технологических параметров.

4. ОСНОВЫ РЕОМЕТРИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Устройство и принцип действия основных приборов для определения реологических свойств, методики проведения измерений.

Применение методов реометрии для оценки консистенции и качества (свежести) продуктов, контроля технологических процессов: смешивания, резания, измельчения, сушки, созревания и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выводы, оценка методологии реологии, концепции реологических положений и свойств в научных исследованиях и производстве продуктов питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Перечень тем для выполнения контрольной работы представлен в табл. 8.

Таблица 8 – Перечень тем для выполнения контрольной работы

№	Пищевой продукт	№	Пищевой продукт
1	Молоко	11	Фарш колбасный
2	Сливки	12	Фарш сосисочный
3	Кефир	13	Шпик свиной
4	Сметана	14	Жир животный топленый
5	Творожная масса	15	Рыбный фарш
6	Сыр (полутвердый, твердый)	16	Судак
7	Масло сливочное	17	Скумбрия
8	Говядина	18	Сельдь
9	Свинина	19	Ставрида
10	Мясной (свиной, говяжий) фарш	20	Рыбное тесто

Работа должна быть выполнена на листах формата А4 с одной стороны листа, в печатном варианте. Шрифт текстовой части размер – 14 (для заголовков – 14), вид шрифта – Times New Roman, интервал 1,0. Поля страницы: левое 3 см, правое 1,5 см, верхнее и нижнее 2 см. Нумерация страниц внизу справа.

Структура контрольной работы:

- титульный лист (приложение А)
- содержание
- текстовая часть (каждый вопрос начинать с нового листа)
- список используемой литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.100-2018.

В текстовой части не допускается сокращение слов.

Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к контрольным работам:

- текст должен быть отпечатан на компьютере;
- основной текст подразделяется на озаглавленные части в соответствии с содержанием работы. Заглавия не подчеркиваются, в конце заголовка точка не ставится, переносы допускаются;
- страницы текста пронумерованы арабскими цифрами в правом верхнем углу без точек. Титульный лист считается первым и не нумеруется;
- на каждой странице оставлены поля для замечаний рецензента;
- список использованных источников оформляются по соответствующим требованиям.

Стиль и язык изложения материала контрольной работы должны быть четкими, ясными и грамотными. Грамматические и синтаксические ошибки недопустимы.

Студент, получивший контрольную работу с оценкой «зачтено» знакомится с рецензией и, с учетом замечаний преподавателя, дорабатывает отдельные вопросы с целью углубления своих знаний.

Выполненная контрольная работа представляется для регистрации в учебную часть, затем поступает на рецензирование преподавателю. Контрольная работа с оценкой «не зачтено» возвращается студенту с рецензией. Работа выполняется студентом вновь и сдается вместе с не зачтенной работой на проверку преподавателю. Контрольная работа, выполненная не своего варианта, возвращается без проверки и зачета.

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мезенова, О. Я. Технология и качество продуктов питания на основе сырья животного происхождения: учеб. пособие по дисц.: "Технология продуктов питания с задан. составом и свойствами на основе сырья живот. происхождения" для студентов специальности 240902.65 - Пищ. биотехнология и "Технология продуктов из сырья живот. происхождения" для студентов направления 240700.62 – Биотехнология / О. Я. Мезенова, Л. С. Байдалинова, Н. С. Сергеев. – Калининград: КГТУ, 2012. – 257 с.
2. Мусина, О. Н. Реология: учеб. пособие / О. Н. Мусина. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 146 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=278883 (дата обращения: 04.12.2020). – Текст: электронный.
3. Иванова, Е. Е. Технология морепродуктов: учеб. пособие / Е. Е. Иванова, Г. И. Касьянов, С. П. Запорожская. – Москва: КолосС, 2010. – 183 с.
4. Ильичев, А. Ф. Основы реологии: учеб. пособие / А. Ф. Ильичев. – Калининград: КГТУ, 2001. – 35 с.
5. Мачихин, Ю. А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин. – Москва: Легк. и пищ. пром-сть, 1981. – 215 с.
6. Малкин, А. Я. Реология: концепции, методы, приложения / А. Я. Малкин, А. И. Исаев: авториз. пер. с англ. – Санкт-Петербург: Профессия, 2007. – 557 с.
7. Шалыгина, А. М. Общая технология молока и молочных продуктов: учеб. / А. М. Шалыгина, Л. В. Калинина. – Москва: КолосС, 2004. – 199 с.
8. Реометрия пищевого сырья и продуктов: справочник / Ю. А. Мачихин [и др.]; под ред. Ю. А. Мачихина. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 270 с.
9. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов: справочник / под ред. А. В. Горбатова. – Москва: Легк. и пищ. пром-сть, 1982. – 293 с.
10. Мачихин, Ю. А., Берман Ю.К. Реология пищевых продуктов: учеб. пособие: в 2 ч. / Ю. А. Мачихин, Ю. К. Берман. – Москва: Издательский комплекс МГУПП, 1999.
11. Максимов, А. С. Лабораторный практикум по реологии сырья, полуфабрикатов и готовых изделий хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств / А. С. Максимов, В. Я. Черных. – Москва: Издательский комплекс МГУПП, 2004.
12. Реометрия пищевого сырья и продуктов: справочник / под ред. Ю. А. Мачихина. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 271 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт агроинженерии и пищевых систем
Кафедра технологии продуктов питания

Контрольная работа
допущена к защите:
должность (звание), ученая степень
_____Фамилия И.О.
«___»_____202__г.

Контрольная работа
защищена
должность (звание), ученая степень
_____Фамилия И.О.
«___»_____202__г.

Контрольная работа №___

по дисциплине
«Реометрия пищевого сырья и продуктов»

Шифр студента_____
Вариант №_____

Работу выполнил:
студент гр._____
_____Фамилия И.О.
«___»_____202__г.

Калининград – 20__

Локальный электронный методический материал

Владимир Петрович Терещенко,
Дмитрий Леонидович Альшевский,
Юлия Николаевна Коржавина,
Фаина Сергеевна Карнеева

РЕОМЕТРИЯ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 2,7. Печ. л. 2,1

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1