

Министерство сельского хозяйства РФ
Брянский государственный аграрный университет

Инженерно-технологический институт

Кафедра технического сервиса

Никитин Виктор Васильевич

ПРАКТИКУМ ПО РЕОЛОГИИ

*Методическое пособие для студентов
института ветеринарной медицины
и биотехнологии направления подготовки:*

19.03.03 Продукты питания животного происхождения

Брянск – 2018

УДК 539.3 (076.5)
ББК 22.251
Н 62

Никитин, В. В. Практикум по реологии / В. В. Никитин. –
Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 108 с.

Методическое пособие предназначено для практической и самостоятельной работы студентов очной и заочной формы обучения по направлению подготовки 19.03.03 Продукты питания животного происхождения.

Рецензент: д.с.-х.н., профессор кафедры ТСВАБПиДС
Ожерельев В.Н.

Рекомендовано методической комиссией инженерно-технологического института Брянского государственного аграрного университета, протокол № 7 от 21.02. 2018 года.

© Брянский ГАУ, 2018
© Никитин В.В., 2018

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Реология» относится к общепрофессиональным дисциплинам и предназначена для подготовки студентов направления 19.03.03 Продукты питания животного происхождения.

Целью дисциплины является изучение основ инженерной реологии пищевых материалов, формирование у студентов знаний, умений и навыков в области структурообразования пищевых масс, методов и приборов для определения структурно-механических свойств пищевых материалов в целях контроля, регулирования и управления показателями сырья, готовой продукции на стадиях технологического процесса.

Основные задачи дисциплины:

- приобретение теоретических знаний в области прикладной инженерной реологии как составной части науки физико-химической механики пищевых производств;
- приобретение знаний в области структурообразования пищевых масс, построения реологических моделей для моделирования технологических процессов;
- приобретение знаний в области методологии измерения и приборной техники для определения структурно-механических свойств пищевых масс.

Изучение дисциплины базируется на знании естественнонаучных дисциплин: высшая математика, физика, теоретическая механика, гидравлика и др.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Определение предельного напряжения сдвига пластично-вязких продуктов на коническом пластометре КП-3

Цель: углубить знания по структурно-механическим свойствам пищевых продуктов, изучить конструкцию прибора КП-3 и методику измерения характеристик, определить предельное напряжение сдвига мясного фарша.

Одним из важных показателей, определяющих качество мясного фарша и готовых колбасных изделий, является консистенция. Консистенция является комплексной оценкой структуры продукта и включает в себя такие показатели, как степень плотности, твердости, нежности, упругости, пластичности, вязкости, и которой пользуются при проведении инструментальной или сенсорной оценке качества сырья и готовой продукции.

Для получения продуктов высокого качества необходимо постоянно оценивать свойства сырья на этапах его обработки, что позволит стабилизировать его качество и улучшить эффективность работы технологического оборудования.

Качество фарша и готовых изделий лучше всего характеризует величина предельного напряжения сдвига. По сравнению с эффективной и пластической вязкостью, предельное напряжение сдвига наиболее чувствительно к изменению технологических и механических факторов. Этот показатель можно использовать для технологической оценки качества фарша в процессе его приготовления.

Для определения предельного напряжения сдвига наряду с другими реологическими приборами широко применяются конические пластометры. Они позволяют определять консистенцию мясопродуктов по величине предельного напряжения сдвига или по относительной величине – степени пенетрации.

Метод погружения конуса для измерения структурно-механических свойств вязко-пластичных тел предложен П.А. Ребиндером и Н.А. Семененко.

Согласно теории конических пластометров, разработанной академиком П.А. Ребиндером, процесс погружения конуса в продукт представляет следующее. За начальное граничное условие принята точка касания вершины конуса с поверхностью продукта. При этом его движение во время испытаний должно быть строго вертикальным. Кинетика погружения конуса характеризуется кривой и представлена на рис. 1.1. В момент начала погружения конуса в продукт напряжение бесконечно велико (площадь касания равна нулю), его скорость равна нулю, а ускорение ($a=d^2h/dt^2$) соответствует ускорению силы тяжести. Поскольку сила, действующая на конус (равна массе подвижных частей системы), за все время погружения остается постоянной, а площадь соприкосновения конуса с продуктом увеличивается, то напряжение сдвига в системе конус-продукт уменьшается.

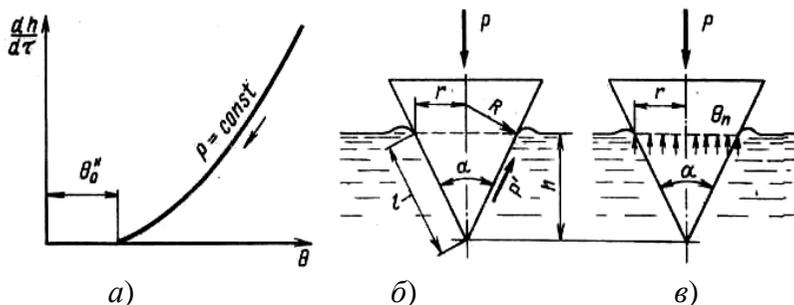


Рис. 1.1 Реограмма и схемы для расчета: а – зависимость скорости движения конуса от напряжения сдвига; б – схема для расчета предельного напряжения сдвига, в – схема для расчета предельного давления.

При остановке конуса ($dh/dt=0$) погружение будет пре-

дельным, и внешняя сила уравнивается пластической прочностью структуры. Для этого случая отсчитывается предельное напряжение сдвига (отношение силы у «смотченной» части боковой поверхности конуса, рис.1.1 б) или предельное давление (отношение силы к горизонтальной площади сечения конуса, которое проходит по поверхности продукта, рис.1.1 в). Выталкивающей силой продукта (Архимедова сила) пренебрегают вследствие ее малости. Если снять полную кривую течения (рис. 1.1 а), то можно вычислить изменения эффективной вязкости. Однако прибор для этих целей обычно не используют.

При определении предельного напряжения сдвига предполагается, что продукт течет вдоль образующей поверхности конуса (рис. 1.1 б). Условия равновесия сил на поверхности конуса получим, проектируя на образующую конуса l движущую силу P и приравнявая ее силе сопротивления P' :

$$P' = P \cos(\alpha / 2). \quad (1.1)$$

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

$$\theta_0^H = P' / F = P \cdot \cos(\alpha / 2) / \pi \cdot r \cdot l = K_\alpha \cdot m \cdot g / h^2, \quad (1.2)$$

где K_α – константа конуса;

α – угол при вершине конуса, град;

m – масса конуса, кг;

g – ускорение свободного падения, m/c^2 ;

h – глубина погружения конуса в продукт, m .

Константу конуса принимают по данным Н.Н. Аграната:

α , град	30	40	45	60	89,33	90
K_α	0,958	0,530	0,417	0,214	0,0836	0,00683

Продолжительность испытания составляет 180 с.

Значительный вклад в развитие конических пластометров внесли ученые В.Д. Косой, А.В. Горбатов и др. (МАПБ), которыми разработан целый ряд пластометров типа ПП-1, ПП-2, ПП-3, ПП-3М для исследования структурно-механических свойств вязко-пластичных материалов, в которых используется конический индентор. Приборы обладают достаточно высокой точностью измерений, компактны, надежны в работе и просты в обслуживании, имеют небольшую массу.

Оборудование, приборы, инструменты, материалы

Оборудование: ручная мясорубка.

Приборы: конический пластометр КП-3, технические весы, секундомер, школьный транспортер.

Инструменты: нож, разделочная доска.

Материалы (сырье): свинина нежирная – 0,25 кг или говядина – 0,25 кг.

Прочее: миллиметровая бумага 1 лист формата А4, карандаш, резинка.

Порядок выполнения работы

1. Познакомьтесь с целью, содержанием и порядком выполнения работы.

2. Изучите теоретические положения работы.

3. Изучите назначение и конструкцию прибора КП-3.

Назначение. Конический пластометр КП-3 разработан М.П. Воларовичем и предназначен для измерения предельного напряжения сдвига пластично-вязких и твердообразных продуктов с неразрушенной структурой, а также для

определения консистенции продуктов методом пенетрации.

Конструкция прибора. Общий вид конструкции конического пластометра КП-3 представлен на рис. 1.2. Прибор состоит: из основания (2) с установочными винтами (1), литой П-образной станины (3), винта подъема столика (4), стопорного винта, микрометрической гайки, подъемного столика (5), емкости для продукта (6), конуса (7), штанги (8), обоймы с подшипниками (9), индикатора пружинного типа (10), направляющих роликов (11), установочных поперечных пластин (12), стопорного устройства (13) и кнопки «пуск» (14).

Основной частью прибора является рабочий конус. Он имеет рифленую поверхность, что исключает скольжение исследуемой массы вдоль его поверхности. Конус соединяется со штангой с помощью стопорного винта. Штанга служит вертикальной направляющей и перемещается в вертикальном направлении по направляющим роликам, которые закреплены в обойме.

Замер глубины погружения конуса осуществляется индикатором. Индикатор позволяет измерять глубину погружения конуса лишь на 0,01 м. Для отчета большей глубины погружения (до 0,04 м), служат четыре поперечных пластины, жестко связанные между собой, расположенные одна от другой на расстоянии 0,01 м. В центре на основании укреплен столик, который может перемещаться вдоль вертикальной оси прибора. Грубая регулировка положения столика производится стопорным винтом, а точная – микрометрической гайкой. На круглой плите расположены три винта для установки оси прибора в вертикальном положении. Кнопка «пуск» служит для удержания штанги с конусом в начальном положении и для освобождения их в момент испытания. Для проведения испытаний образцов прибор снабжен емкостью цилиндрической формы диаметром 80 мм и высотой 50 мм. Прибор имеет комплект конусов с

различными углами при вершине – 30, 45, 60, 90, 120°. Характеристика прибора: пределы измерения напряжения сдвига – от 5 до 10^4 Па; интервал температур – от 2 до 100°C; габаритные размеры – 350×350×700 мм.

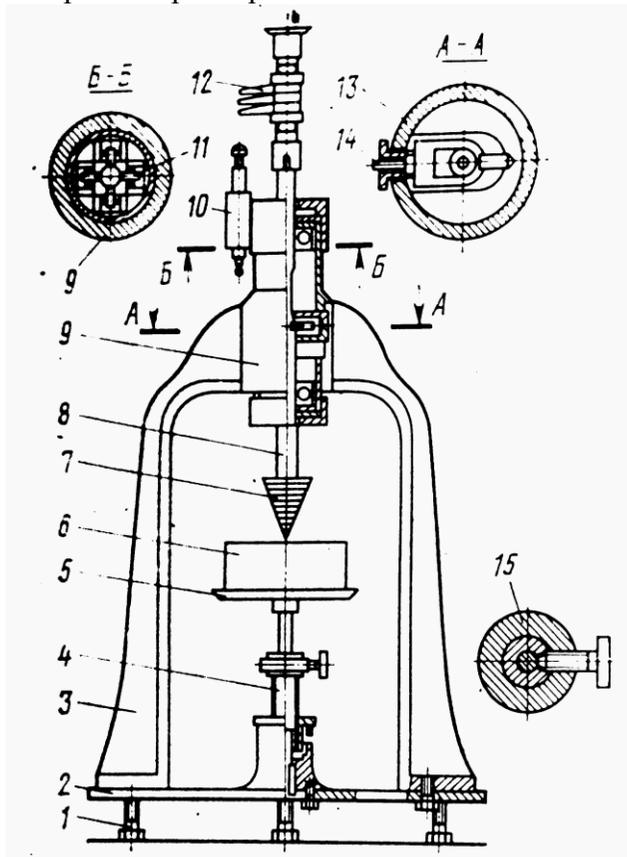


Рис. 1.2. Конический пластометр КП-3

4. Подготовьте прибор к измерениям.

Для правильной работы прибора необходимо провести его предварительную подготовку, которая включает: установку прибора по уровню; выбор конуса; массы дополни-

тельных грузов (по необходимости), тарировку индикатора и проведение контрольного испытания (замера).

Установка прибора по уровню. На основании прибора (2) кладут уровнемер и, вращая установочные винты (3), выставляют прибор, совмещая шарик уровнемера с риском центра. Правильная установка прибора по уровню необходима для того, чтобы штанга прибора располагалась строго вертикально, в противном случае, измерения будут неправильны.

Выбор конуса. Из комплекта прибора берут конус с наименьшим углом при вершине, например $\alpha = 30^\circ$. Затем выбранный конус закрепляют и производят контрольный спуск штанги. По окончании времени погружения конуса в продукт, равного 180 с, производят контрольный замер по шкале индикатора. Для правильности работы прибора глубина погружения конуса $h_{\text{конус}}$ в продукт высотой h должна удовлетворять условию $0,33h \leq h_{\text{конус}} \leq 0,75h$. Если погружение конуса происходит на большую величину, то необходимо взять конус с большим углом при вершине и вновь повторить испытание. Либо добавить груз с учетом условия.

Тарировка индикатора. Под стержень индикатора (10) подвести первую (нижнюю) установочную планку (12), которая определяет нулевое положение индикатора. Если нулевое положение индикатора нарушено, то надо установить стрелку на нуль вращением его диска.

5. Познакомьтесь с методикой проведения испытаний образцов продукта и измерения его характеристик.

Вначале готовят образцы продукта заданной консистенции.

Приготовленный продукт закладывают в цилиндрическую емкость (6) и уплотняют с помощью шпателя, так чтобы масса не содержала пустот. Избытки продукта снимают острым краем шпателя, одновременно выравнивая и сглаживая поверхность образца.

Емкость (6) с приготовленным продуктом устанавлива-

ют на подъемный столик (5) и далее, ослабив стопорный винт механизма подъема столика, свободно поднимают вверх, немного не доводя до соприкосновения поверхность с вершиной конуса. Вращая микрометрическую гайку, подводят продукт до соприкосновения с вершиной конуса. Затем, в зависимости от ожидаемой глубины погружения конуса, установить соответствующую поперечную пластину напротив головки индикатора.

После, слегка придерживая штангу, нажать кнопку «пуск» и включить секундомер. Под действием собственного веса и веса штанги конус погружается в испытываемый продукт.

По мере погружения конуса в исследуемый продукт через каждую минуту записывать глубину погружения по индикатору. Во время погружения площадь соприкосновения конуса с продуктом возрастает, а напряжение уменьшается. В результате этого скорость погружения конуса затухает. Затухание происходит до тех пор, пока практически скорость не становится равной нулю.

Принято считать, что погружение заканчивается через 3-5 мин, так как после этого промежутка времени конус погружается на незначительную глубину, чем практически можно пренебречь. Длительность погружения 180-300 с соответствует наибольшему периоду релаксации и для пластично-вязких продуктов. При выполнении работы длительность погружения конуса принять равной 180 с.

По окончании измерения производят подъем штанги с конусом в исходное положение до фиксации в стопорном устройстве. Далее конус очищают и аналогично готовят прибор к следующему измерению.

Для одного образца продукта выполняют 3-5 измерений. Для повторного измерения, продукт после испытания выкладывают из емкости, перемешивают, укладывают назад, уплотняют, выравнивают и снова испытывают.

6. Измерьте величину угла конуса, массу конуса и штанги, рассчитайте истинную массу грузов, определите константу прибора K_a и результат запишите в табл. 1.1.

Измерение угла конуса проводится с помощью прибора угломера или школьного транспортера. Массу конуса и штанги определяют путем измерения на технических весах. Истинную массу грузов $m_{ист}$, кг, рассчитайте по формуле

$$m_{ист} = (m_{конуса} + m_{штанги}) - m_{тр}, \quad (1.3)$$

где $m_{конуса}$ – масса конуса, кг;

$m_{штанги}$ – масса штанги, кг;

$m_{тр}$ – масса трения, кг.

Принять $m_{тр} = 0,003$ кг.

Константа прибора K_a принимается по данным Н.Н. Аграната.

7. Приготовьте из мяса три модельных образца продукта для испытаний.

Для подготовки модельных образцов продукта сырье измельчается на мясорубке через решетку диаметром отверстий 3 мм. Для первого образца сырье измельчается однократно, для второго – трехкратно, для третьего – пятикратно.

8. Проведите испытания образцов и результаты измерения запишите в табл. 1.1. Для точности получения результатов каждый образец подвергается трехкратному измерению.

9. Рассчитайте для каждого испытания предельное напряжение сдвига, его среднее значение для каждой серии и результаты впишите в табл. 1.1

Таблица 1.1 Результаты испытаний

Образцы продукта	K_a	$m_{ист},$ кг	Номер испытания	$\theta_0,$ Pa	$\theta_{0cp},$ Pa
Однократное измельчение			1		
			2		
			3		
Трехкратное измельчение			1		
			2		
			3		
Пятикратное измельчение			1		
			2		
			3		

10. По результатам испытаний сделайте вывод.

11. Оформите отчет.

12. Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Консистенция продукта, что под ней понимают, и что она выражает.
2. Что называется предельным напряжением сдвига, формула расчета.
3. Объясните, какова значимость предельного напряжения сдвига в оценке сырья и готового продукта.
4. Расскажите механизм погружения конуса в продукт.
5. Расскажите устройство и принцип работы конического пластометра КП-3.
6. Дайте описание методике измерения предельного напряжения сдвига на коническом пластометре КП-3.
7. Дайте описание методике подготовки образца для испытаний.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Определение сдвиговых свойств мясного фарша на ротационном вискозиметре РВ-8

Цель работы: углубить теоретические знания по структурно-механическим свойствам пищевых материалов, изучить конструкцию прибора РВ-8 и методику измерения характеристик, определить предельное напряжение сдвига и эффективной вязкости мясного фарша.

В условиях все возрастающих масштабов производства мяса и мясопродуктов повышаются требования к качеству сырья и готовой продукции. Решение данной проблемы возможно путем применением приборов для постоянного контроля свойств сырья на этапах его обработки, что позволит исключить выпуск некачественной продукции. В этой связи применению приборной технике придается большое значение.

Наиболее полное представление о качестве сырья, продукта дают свойства определяемые их структурой. Под структурой понимают внутреннее строение продукта и характер взаимодействия между отдельными ее элементами (частицами), которые определяются химическим составом, биохимическими показателями, дисперсностью частиц, агрегатным состоянием, температурой и рядом технологических факторов.

В инженерной реологии поведение материала в условиях напряженного состояния описывается реологическими характеристиками, как-то: напряжение, деформация, скорость деформации, вязкость, упругость, пластичность и др., которые входят в группу показателей продукта и которые принято называть структурно-механическими свойствами.

Структурно-механические свойства (СМС) по виду

приложения усилия или напряжения к продукту делят на три группы: сдвиговые, компрессионные и поверхностные.

Среди них сдвиговые свойства наиболее полно отражают внутреннюю сущность материала при воздействии на него сдвиговых, касательных напряжений, поэтому их принято считать основными. С их помощью рассчитывают течение продуктов по трубам, в рабочих органах машин и аппаратов, определяют необходимые условия для перемещения продукта. Кроме того, они позволяют судить о качестве продукта и степени его обработки, т.е. дают возможность обосновать оптимальные технологические и механические условия процесса. Оснащение технологического оборудования приборами позволяет их контролировать и регулировать, обеспечивая тем самым постоянное и стабильное качество готовой продукции.

К сдвиговым свойствам продуктов относятся: предельное напряжение сдвига θ_0 , Па; эффективная вязкость $\eta_{эф}$, Па·с; пластическая вязкость $\eta_{пл}$, Па·с; период релаксации τ_p , с.

Одним из важных показателей, определяющих качество вареных колбасных изделий, является консистенция, характеризующаяся структурно-механическими свойствами, в частности сдвиговыми свойствами, которые наиболее полно и точно определяют рациональные и оптимальные параметры обработки мясных продуктов на стадиях технологического процесса.

Определение сдвиговых свойств пластично-вязких материалов, к которым относится мясной фарш, возможно с помощью вискозиметров. Наибольшее применение в пищевой промышленности получил ротационный вискозиметр типа РВ-8 конструкции М.П. Волоровича.

Ротационные вискозиметры – первичные, теоретически обоснованные приборы, позволяющие получать практически однородные поля напряжений и деформаций при сколько угодно малых и гигантских деформациях сдвига и

определять для вязко-пластичных материалов предельное напряжение сдвига θ_0 и вязкость η .

В ротационных вискозиметрах, в виду малого зазора между рабочими органами, характер течения продуктов близок к простому сдвигу, что упрощает обработку опытных данных. Диапазон материалов, свойства которых определяются на ротационных вискозиметрах, достаточно широк: мясные фарши вареных и ливерных колбас, паштеты, сиропы, кондитерские массы, сыры и т.д.

По методу проведения испытаний ротационные вискозиметры подразделяют на две группы: приборы с постоянной скоростью деформации и приборы с постоянным напряжением сдвига. У приборов первой группы, вращающий момент определяют по углу закручивания упругого элемента, на котором закреплен внутренний цилиндр - ротор. У второй группы – ротор вращается за счет подающих грузов.

Рабочие органы ротационного вискозиметра, как правило, состоят из двух коаксиально расположенных цилиндров, внутреннего и внешнего, разного диаметра, один из которых закреплен неподвижно, а второй соединен с приводом и может вращаться вокруг своей оси с различной частотой. По форме, рабочие органы ротационных вискозиметров могут быть цилиндрическими, сферическими, коническими или дисковыми. Рабочие органы могут быть также комбинированными, т.е. состоять из нескольких различных поверхностей.

В ротационном вискозиметре РВ-8 внешний цилиндр неподвижен, а внутренний является подвижным. Исследуемая масса при испытаниях помещается в зазор между цилиндрами.

Определение значений величин предельного напряжения сдвига θ_0 и эффективной вязкости $\eta_{эф}$ исследуемых продуктов производят по формулам, представленным ниже.

При исследовании структурно-механических свойств с

помощью ротационных вискозиметров на показания прибора влияют: размер и форма рабочих органов, выбор математической модели для обобщения экспериментальных данных, форма торца цилиндра, толщина слоя материала и величина градиента скорости. Поэтому при исследовании конкретного вида материала первоначально необходимо ознакомиться с рекомендациями по вышеуказанным моментам, которые можно найти в монографиях, справочниках, посвященных данному вопросу.

Ротационные вискозиметры, по сравнению с другими обладают рядом преимуществ: они надежны в эксплуатации; могут применяться как для экспресс-измерений, так и для непрерывного измерения.

Требования, предъявляемые к ротационным вискозиметрам: в рабочем зазоре прибора движение продукта должно иметь ламинарный режим; должны иметь термостатирующий сосуд; устройства обеспечивающие контроль температуры продукта в измерительном зазоре; просты для заправки и очистки рабочих органов.

В настоящее время для определения сдвиговых свойств пищевых продуктов применяются отечественные ротационные вискозиметры РВ-4, РВ-8, Ротационный вискозиметр МТИММПа (МАПБ), РМ-1, РМ-2 и др. Среди приборов зарубежных фирм представляют интерес ротационные вискозиметры «Реотест RV», «Реотест RN» производства Германии, которые позволяют определять сдвиговые свойства пищевых продуктов в широком диапазоне и др.

Оборудование, приборы, инструменты, материалы

Оборудование: весы технические.

Приборы: ротационный вискозиметр РВ-8.

Инструменты: штангенциркуль, разновесы, секундомер, нож.

Материалы (сырье): свинина нежирная – 0,5 кг или говядина – 0,5 кг.

Порядок выполнения работы

1. Познакомьтесь с целью, содержанием и порядком выполнения работы.

2. Изучите теоретические положения работы.

3. Изучите назначение и конструкцию прибора РВ-8.

Назначение. Ротационный вискозиметр РВ-8 предназначен для испытания вязких и вязко-пластичных материалов и используется для определения вязкости и предельного напряжения сдвига широкого круга пищевых материалов: мясных и рыбных фаршей, мучного теста, кондитерских масс и т.д.

Конструкция прибора. Общий вид конструкции прибора РВ-8 представлен на рис. 2.1. Прибор РВ-8 состоит: из корпуса со станиной (1), асбестового сосуда (2), вставного сосуда для термостатируемой жидкости (3), термопар (4), отражательного кольца (5), электронагревательного элемента (6), шкива (7), тормозного устройства (8), шкалы отсчета (9), стрелки (10), барабана (11), подшипника (12), крышки прибора (13), обоймы для стакана (14), ротора (15), стакана (16), мешалки (17) и установочных винтов (18).

Рабочие органы прибора ротор (15) и стакан (14) имеют цилиндрическо-полусферическую форму, причем стакан закрепляется неподвижно, а ротор приводится во вращение с помощью грузов уложенных в чашечки, подвешенных на концах нитей, которые через шкивы (8) соединены с барабаном (11). Ротор имеет рифленую поверхность, что исключает скольжение материала по его поверхности. Стакан одевается на ротор снизу и фиксируется на корпусе поворотом против часовой стрелки. Остановка и пуск прибора осуществляется тормозным устройством. Разборка прибора осуществляется в несколько приемов: поднять крышку прибора и укрепить ее в верхнем положении на штанге, слегка повернуть стакан по часовой стрелке до упора, затем движением вниз вынуть его из гнезда.

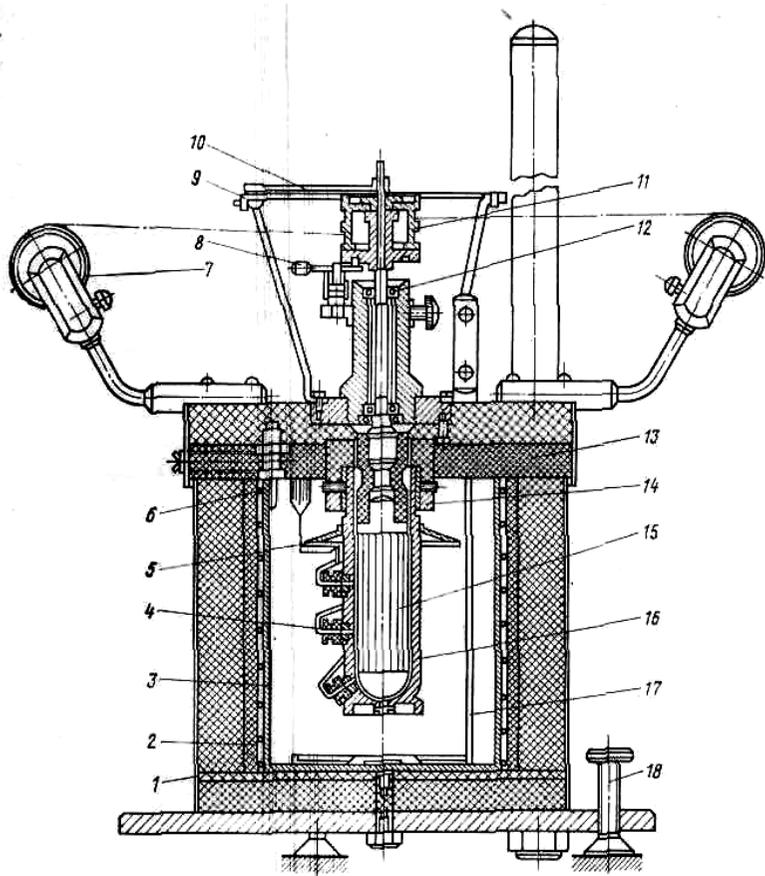


Рис. 2.1 Ротационный вискозиметр РВ-8.

Длина нитей, наматываемых на рабочий барабан должна быть такой, чтобы ротор смог совершить пять оборотов.

Характеристика прибора: пределы измерения вязкости от $0,5$ до 10^6 Па·с; пределы измерения напряжения сдвига от 5 до 10^4 Па; интервал температур от 60 до 150°C .

4. Подготовьте прибор к измерениям.

Вначале проверяют правильность установки прибора, для чего с помощью вращения установочного винта выставляют прибор по уровню.

Поднять крышку прибора и укрепить ее в верхнем положении на штанге. Слегка повернуть стакан по часовой стрелке до упора и движением вниз вынуть его из гнезда и снять с ротора. Проверить чистоту ротора и стакана, в случае наличия загрязнений удалить их. В ставной сосуд (3) залить воду до верхней отметки. Включить электронагревательные элементы (6) и нагреть ее до температуры, при которой предполагается проводить измерения. Контроль температуры в термостатирующем сосуде проводят с помощью спиртового термометра со шкалой от 0 до 100°C.

5. Познакомьтесь с методикой проведения испытаний образцов продукта и измерения его характеристик.

Вначале готовят образцы продукта заданной консистенции.

Снять стакан и заполнить его исследуемым продуктом в количестве примерно 30-40 г. Подвести стакан под ротор, постепенно перемещая вверх довести до упора и, повернув против часовой стрелки, зафиксировать его в обойме на крышке прибора. Аккуратно опуская крышку прибора, погрузить рабочую часть прибора вместе с продуктом в воду. Далее в течение 10-15 мин проводят термостатирование, в результате чего все рабочие органы прибора и сам продукт прогреваются и нагреваются до температуры измерения.

Измерения проводятся в зависимости от определяемой характеристики.

Для измерения предельного напряжения сдвига на чашки устанавливают равные грузы массой 0,01-0,02 кг в зависимости от диаметра ротора, чем меньше диаметр, тем меньше масса. Отводят тормозное устройство от шкива и наблюдают за началом движения стрелки 10 по шкале 9. Далее, постепенно увеличивая массу грузов, определяют массу, при которой только начинается движение стрелки. Испытания останавливают и производят измерение массы грузов вместе с чашечками на технических весах. Производят подъем крыш-

ки прибора вверх, ее фиксацию на штанге. Снимают стакан и с помощью линейки измеряют смоченную часть ротора. Результаты измерения записывают и по формуле рассчитывают значение предельного напряжения сдвига. Для повторения испытания продукт, находящийся в стакане, счищают с краев и оставляют на дне стакана. Ротор влажной тряпкой протирают, очищая от остатков продукта. Далее измерения повторяют в том же порядке.

Для измерения эффективной вязкости на чашки устанавливают груз несколько больший, чем при котором только началось движение стрелки, например на 50-100 г. Отводят тормозное устройство от шкива, одновременно включают секундомер и после пяти полных оборотов стрелки отключают, а прибор останавливают. Затем, не вращая ротор, нити наматывают на шкив. Следующее измерение производят при увеличении массы грузов, например, еще добавляют 50-100 г и вновь повторяют измерение. Так делают до тех пор, пока время пяти оборотов ротора не станет равным 1,5-2,0 с. Далее производят измерение с уменьшающимися массами грузов, всего их следует сделать 15-20. Затем разбирают прибор и линейкой измеряют смоченную часть ротора. Данные измерения записываются, и далее по формуле рассчитывается значение эффективной вязкости для конкретного значения массы грузов.

6. Измерьте постоянные прибора и опыта:

радиус ротора $R_B =$ м;

радиус стакана $R_H =$ м;

радиус шкива $R =$ м;

высота смоченной части ротора $h =$ м.

7. Приготовьте из мяса три модельных образца продукта для испытаний.

Для подготовки модельных образцов продукта сырье измельчается на микроизмельчителе, продолжительность измельчения 2-3 мин. Измельченное сырье разделяется на рав-

ные три партии массой по 100 г. Затем добавить воды: во вторую 10 %, в третью – 20 % и тщательно все перемешать.

8. Проведите испытания образцов для определения предельного напряжения сдвига и результаты измерения запишите в табл. 2.1.

9. Рассчитайте действительную массу грузов m_D , кг, по формуле

$$m_D = (m_2 + m_4) - m_{тр}, \quad (2.1)$$

где m_2 – масса гирь, кг;

m_4 – масса чаш, кг;

$m_{тр}$ – масса трения, кг.

Принять $m_{тр} = 0,003$ кг.

10. Рассчитайте константу прибора K_0 для расчета предельного напряжения сдвига по формуле

$$K_0 = Rg / [2\pi R_B^2 (h + \pi R_B / 4)], \quad (2.2)$$

где $g = 9,81$ м/с² – ускорение силы тяжести.

11. Вычислите предельное напряжение сдвига θ_0 , Па, для момента когда только началось вращение ротора по формуле

$$\theta_0 = K_0 m_D. \quad (2.3)$$

Результаты измерения и расчета внесите в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Образцы продукта	$m_d, кг$	K_0	$h, м$	$\theta_0, Па$
1				
2				
3				

12. Проведите испытания образцов для определения эффективной вязкости продукта и результаты испытаний внесите в табл. 2.2. Испытания образцов проводить только для трех конкретных значений масс грузов, которые должны отличаться друг от друга на 100 г. Вначале испытания проводятся в сторону увеличения массы грузов, а после – в сторону убывания, при тех же значениях массы грузов.

13. Рассчитайте частоту вращения ротора $N, с^{-1}$, для каждого испытания по формуле

$$N = n / \tau, \quad (2.4)$$

где n – число оборотов ротора;

τ – время, за которое ротор совершит n оборотов.

14. Рассчитайте константу прибора K для расчета эффективной вязкости по формуле

$$K = Rg / \left\{ 8\pi^2 \left[R_H^2 R_B^2 h / (R_H^2 - R_B^2) + (R_H^3 R_B^3) / (R_H^3 - R_B^3) \right] \right\}. \quad (2.5)$$

15. Вычислите значение эффективной вязкости для каждой модели по формуле

$$\eta_{эф} = Km_d / N. \quad (2.6)$$

Результаты измерений и расчета внесите в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Образцы продукта	m_{Di} , кг	K	h_i , м	n_i , об	τ_i , с	N_i , с ⁻¹	$\eta_{эфi}$, Па·с
1 модель							
1' модель							
2 модель							
2' модель							
3 модель							
3' модель							

16. По результатам испытаний сделайте вывод, как влияет содержание влаги в продукте на структурно-механические характеристики: предельное напряжение сдвига и эффективную вязкость.

17. Оформите отчет.

18. Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какова роль приборной техники в оценке технологических процессов производства продукции?
2. Какими структурно-механическими (реологическими) характеристиками может быть дана оценка качества вареных колбас?
3. Что называется предельным напряжением сдвига и эффективной вязкостью?
4. Назовите факторы, которые необходимо учитывать при измерении на ротационных вискозиметрах.
5. Дайте описание устройству и принципу работы ротационного вискозиметра РВ-8. Дайте описание методике измерения предельного напряжения сдвига и эффективной вязкости мясного фарша.
6. Перечислите факторы, от которых зависит точность получаемых результатов измерения предельного напряжения сдвига и эффективность вязкости фарша.

7. Дайте объяснение своим результатам измерения, полученным во время выполнения лабораторной работы.
8. По какой формуле рассчитывается предельное напряжения сдвига?
9. По какой формуле рассчитывается эффективная вязкость?
10. Дайте объяснение, почему в качестве главного, основного показателя в оценке качества сырья и готовой продукции используется предельное напряжение сдвига?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Определение усилия среза для целых тканей мяса

Цель работы: расширить теоретические знания по структуре продуктов, изучить конструкцию прибора и методику измерения усилия среза, определить влияние продолжительности варки на усилие среза целых тканей мяса.

Увеличение производства качественных мясных изделий – является одной из главных задач, стоящих перед мясной промышленностью. Одним из путей решения поставленной задачи является широкое использование в процессе производства продуктов различных способов обработки мяса с целью улучшения его консистенции и повышения нежности – главных показателей качества для потребителя.

В последние годы в научной и патентной литературе появилось значительное число сообщений об экспериментальных исследованиях, в которых улучшение нежности мяса удавалось добиться путем использования механических, физических, химических или комбинированных способов воздействия на него.

Следует отметить, что многие проблемы, связанные с улучшением нежности мяса, и теоретические аспекты механизма этого процесса, имеющие прямое отношение к выявлению оптимальных путей практического использования различных методов обработки, остаются до сих пор нерешенными и оставляют широкое поле деятельности для специалистов мясной промышленности.

Вопросам изучения нежности мяса посвящены многочисленные работы советских и зарубежных ученых: А.С. Большакова, И.А. Рогова, Н.К. Журавской, А.В. Горбатова, А.С. Ратушного, В.Е. Мицыка, Э. Кармаса и др. Однако

причины нежности или жесткости мяса до конца еще не раскрыты, поскольку исследователям приходится иметь дело со сложной многокомпонентной биологической системой, состояние которой зависит от различных факторов: прижизненных (вида, пола, возраста, условий содержания животного, состава и строения соединительной ткани, размера мышечных пучков и волокон, количество внутримышечного жира и т. п.) и послеубойных – скорости и степени созревания мяса, а также различных видов обработки.

Целенаправленное использование перечисленных факторов, активно воздействующих на процессы, протекающие в мясе при автолизе, однотипные для всех теплокровных животных и птиц, позволяет получить продукты высокого качества. Управлять нежностью мяса можно предубойной обработкой животных или воздействием на мясо после убоя. Главная цель того или другого вида обработки - добиться быстрого и полного созревания мяса, т. е. совокупности изменений важнейших его свойств, обусловленных углублением автолиза, в результате чего мясо приобретает хорошо выраженный вкус и аромат, становится мягким и сочным, более влагоемким и доступным действию пищеварительных ферментов.

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

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

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

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

Оборудование, приборы, инструменты, материалы

Оборудование: электрическая плитка, технические весы,

Приборы: прибор для определения усилия среза, спиртовой термометр с диапазоном измерения 0-100°C.

Инструменты: нож.

Материалы: сырье – свинина нежирная – 0,5 кг или говядина – 0,5 кг.

Порядок выполнения работы

1. Познакомьтесь с целью, содержанием и порядком выполнения работы.

2. Изучите теоретические положения работы.

3. Изучите назначение и конструкцию прибора.

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

Конструкция прибора. Общий вид конструкции лабораторного прибора представлен на рис. 3.1. Прибор состоит

из основания (1), П - образной вертикальной стойки (2), на которой в верхней части закреплен держатель образцов (3), подвижной планки (4), в которой установлен режущий орган (5), динамометра (6) и нити (7).

4. Подготовьте прибор к измерениям.

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

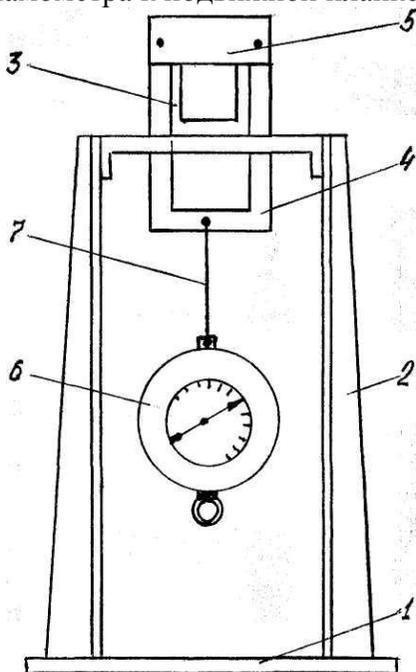


Рис. 3.1 Лабораторный прибор для определения усилия среза

5. Познакомьтесь с методикой проведения испытаний образцов продукта и измерения.

Перед началом испытаний производят выбор режущего органа (ножа), который затем закрепляется с помощью

винтов к планке прибора. Подготовленный образец закладывают в держатель и, взявшись пальцем руки за кольцо динамометра, производят движение ножа вниз. Резание рекомендуется производить без рывков и не слишком медленно, стараясь соблюдать одинаковую скорость движения ножа. В процессе резания по показанию максимальной силы фиксируют значение усилия среза. По окончании процесса резания производят подъем ножа в исходное положение и одновременно осуществляют перемещение испытываемого образца вдоль держателя под лезвие ножа и снова проводят испытание.

6. Приготовьте из мяса образцы для испытаний.

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

На одном образце делают измерение 3-5 раз, каждый раз снимая показания динамометра. Таким же образом проводят испытания и для других кусков мяса.

7. Проведите испытания образцов и результаты измерения запишите в табл. 3.1.

Таблица 3.1

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

8. По результатам испытаний (табл. 3.1) построить график изменения усилия среза P_{cp} , от продолжительности варки τ . Сделать вывод.

9. Оформите отчет.

10. Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Определение вязкости жидкообразных продуктов

Цель работы: углубить знания по структурно-механическим свойствам жидкообразных продуктов, изучить конструкцию капиллярного вискозиметра ВПЖ-4 и методику измерения, определить вязкость мясного бульона.

Среди пищевых продуктов особую группу составляют продукты, которые принято называть жидкостями или жидкообразными. Они относятся к системам, не имеющим статического предельного напряжения сдвига, т.е. обладают текучестью при любых напряжениях сдвига. Эти системы могут быть аномально-вязкими, когда их течение в осях координат, характеризуются кривой линией или истинно-вязкими (ньютоновскими), когда течение характеризуется прямой линией.

Движение жидкостей сопровождается внешним трением ее о стенки канала или трубы и внутренним трением, возникающим в жидкости вследствие скольжения движущихся струек или слоев друг о друга. Внутреннее трение является мерой вязкости – свойства жидкости, характеризующего текучесть, смазывающую способность, растекание, т.е. свойства жидкости оказывать сопротивление касательным усилиям.

В ламинарном потоке скорость элементарно тонких слоев или струек неодинакова и увеличивается к центру, т.е. к оси трубы. Между слоями возникают касательные напряжения, которые обусловлены вязкостью жидкости и подчиняются закону жидкостного трения, который был впервые сформулирован И. Ньютоном:

$$\theta = \eta \dot{\gamma}, \quad (4.1)$$

где η – динамический коэффициент вязкости, Па·с;
 $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, м/с.

Для измерения вязкости жидкообразных систем (мясной бульон, животный жир при температуре выше плавления, молоко, водо-белково-солевые растворы и пр.) преимущественно применяют капиллярные и шариковые вискозиметры. Более универсальными являются капиллярные вискозиметры, так как дают возможность исследовать аномалию вязкости при различных давлениях истечения, т.е. получить зависимость градиента скорости от напряжения сдвига.

Теория капиллярных вискозиметров теоретически обоснована; основана на гипотезе сплошности и непрерывности жидкости и использует следующие допущения и ограничения: скорость жидкости на стенке принимается равной нулю; продукт считается не сжимаемым; реологические характеристики неизменны по длине и не зависят от времени, т.е. на течение не оказывают влияния процессы тиксотропии, реопексии и релаксации.

Главным требованием, предъявляемым к капиллярным вискозиметрам, является отсутствие турбулизации потока, т.е. режим движения должен быть ламинарным или структурным. Режим движения характеризуется критерием Рейнольдса Re , который не должен превышать 150, а длительность истечения жидкости через капилляр не должна быть меньше 100 с. В теории капиллярной вискозиметрии рассматривается только равномерное (силы инерции равны нулю) прямолинейное (центробежные силы равны нулю) движение жидкости в горизонтальной трубке (силы тяжести проектируются на ось, совпадающую с направлением движения и равны нулю).

Наиболее известны и широко применяются: капиллярные вискозиметры Уббелоде и Освальда, вискозиметр Горбатова А.В. и др., вискозиметр ВК-4, автоматические вис-

козиметры АКВ-3 и АКВ-5, шариковый вискозиметр Геплера и многие др.

Оборудование, приборы, инструменты, материалы

Оборудование: электроплитка, емкость для нагрева воды.

Приборы: капиллярный вискозиметр ВПЖ-4

Инструменты: секундомер

Материалы (сырье): мясной бульон – 200 мл.

Порядок выполнения работы

1. Познакомьтесь с целью, содержанием и порядком выполнения работы.

2. Изучите теоретические положения работы.

3. Изучите назначение и устройство прибора ВПЖ-4.

Назначение. Капиллярный стеклянный вискозиметр ВПЖ-4 предназначен для определения кинематической вязкости жидкостей.

Устройство прибора. Вискозиметр ВПЖ-4 (рис. 4.1) представляет собой U образную трубку и состоит из правого колена (1), в которое впаян стеклянный капилляр (6), а также двух шарообразных резервуаров (4) и (5) для измеряемой жидкости, и правого колена (2), которое имеет плоский шарообразный резервуар (7) для приема жидкости и отводной патрубков (3) для подсоединения резинового шланга. Диаметр впаянного капилляра равен 1,47 мм.

4. Познакомьтесь с подготовкой прибора к работе.

Согласно паспорту, перед определением вязкости жидкости вискозиметр должен быть тщательно промыт и высушен.

Вискозиметр вначале промывают бензином, а затем петролейным эфиром. После растворителя промывают водой и заливают не менее чем на 5-6 час хромовой смесью. После этого вискозиметр промывают дистиллированной водой и сушат.

Для более быстрой сушки вискозиметр можно промыть спиртом-сертификатом или ацетоном.

5. Изучите методику проведения испытания и измерения вязкости.

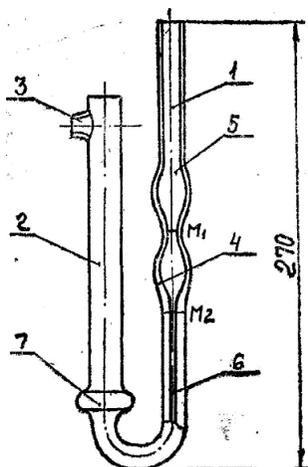


Рис. 4.1. Вискозиметр капиллярный стеклянный ВПЖ-4

Измерение вязкости при помощи вискозиметра ВПЖ-4 основано на определении времени истечения через капилляр определенного объема жидкости из измерительного резервуара.

Для набора исследуемой жидкости в вискозиметр на отводную трубку (3) надевают резиновый шланг, а в него вставляют резиновую грушу (или подключают к водяному насосу) и, перевернув вискозиметр, опускают колено (1) в сосуд с исследуемой жидкостью и засасывают ее до отметки М-2, одновременно следя за тем, чтобы в жидкости не образовались пузырьки воздуха.

В тот момент, когда уровень жидкости достигнет отметки М-2, вискозиметр вынимают из сосуда и быстро перевертывают в нормальное положение. Снимают с внешней стороны конца колена (1) избыток жидкости и надевают на него резиновую трубку.

Вискозиметр устанавливают в термостат так, чтобы расширение (5) было ниже уровня жидкости в термостате.

После выдержки в термостате не менее 15 *мин* при заданной температуре засасывают жидкость в колено (1), примерно до одной трети высоты расширения (5). Сообщают колено (1) с атмосферой и, включая секундомер, определяют время истечения (опускания мениска) жидкости от отметки М-1 до отметки М-2. Для получения точных результатов измерения проводят в 3-5 раз.

6. Проведите испытания и результаты измерения запишите.

Испытания необходимо проводить с трехкратным повтором. В качестве контрольных точек, при которых требуется определить вязкость мясного бульона, взять следующие значения температур – 40, 60, 80°С.

7. Рассчитайте значения кинематической вязкости для полученных данных по формуле

$$\eta = (g / 9,807) K \tau, \quad (4.2)$$

где K – константа прибора, $мм^2/с^2$. Согласно паспорту $K = 0,2970 мм^2/с^2$;

τ – время истечения жидкости через капилляр, $с$;

$g = 9,81 м/с^2$ ускорение свободного падения.

Результаты расчетов и измерений сведите в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Температура измерения, °С	Время τ , с	Вязкость η , Па·с	Среднее значение вязкости $\eta_{эф}$, Па·с
40	1		
	2		
	3		
60	1		
	2		
	3		
80	1		
	2		
	3		

8. По результатам испытаний сделайте вывод о влиянии температуры на значение вязкости.
9. Оформите отчет.
10. Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что такое вязкость жидкости и ее значение для пищевых жидкообразных продуктов?
2. Какова физическая сущность закона жидкостного трения?
3. Как влияет температура на вязкость жидкости?
4. Теория капиллярной вискозиметрии.
5. Дайте описание устройству капиллярного вискозиметра ВПЖ-4.
6. Дайте описание методике измерения вязкости.
7. Опишите, как производится измерение вязкости на приборе ВПЖ-4.
8. Перечислите недостатки и достоинства капиллярных вискозиметров.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Определение вязкости жидкости по методу Стокса

Цель работы: изучение движения тел в вязкой жидкости и измерение вязкости.

Всем реальным жидкостям и газам присуща *вязкость* (внутреннее трение). Макроскопическое движение, возникающее в жидкости или газе, постепенно уменьшается из-за *сил внутреннего трения* после прекращения действия причин (сил), вызывающих это движение.

Явление вязкости в жидкости и газах можно рассматривать следующим образом. Пусть два слоя жидкости или газа, отстоящие друг от друга на расстоянии dx , имеют скорости v_1 и v_2 . Со стороны слоя, который движется быстрее, на слой, который движется медленнее, действует ускоряющая его сила. Наоборот, на быстрый слой действует тормозящая сила со стороны медленного слоя. Это силы внутреннего трения, направленные по касательной к поверхности слоя. Они тем больше, чем больше площадь соприкасающихся слоев, и зависят от изменения скорости течений жидкости (газа) при переходе от слоя к слою (уравнение Ньютона):

$$F = \eta \cdot \frac{dv}{dx} \cdot S, \quad (5.1)$$

где dv/dx – изменение скорости, отнесенное к расстоянию между слоями в направлении, перпендикулярном скорости (градиент модуля скорости);

S – площадь соприкосновения слоев, m^2 ;

η – динамическая вязкость (вязкость) жидкости (газа), $Pa \cdot c$.

Для жидкостей, течение которых подчиняется уравнению (5.1), вязкость не зависит от градиента скорости. Такие жидкости называются *ньютоновскими*, а вязкость – *нормальной*. Жидкости, не подчиняющиеся уравнению (5.1), называются *неньютоновскими*, а их вязкость – *аномальной*. К неньютоновским жидкостям относятся жидкости, состоящие из сложных и крупных молекул, например растворы полимеров. Неньютоновской жидкостью является и бульон, так как содержит белки и клетки, представляющие собой структурированные образования.

Вязкость бульона обычно колеблется от 4 до 5 *мПа·с* и может изменяться от 1,7 до 22,9 *мПа·с*. Вязкость бульона имеет диагностическое значение.

Вязкость зависит от природы жидкости или газа, от температуры, от давления при низких температурах. Вязкость газов увеличивается при повышении температуры, жидкостей – уменьшается.

Зависимость вязкости жидкости от температуры имеет сложный характер. Чем чаще молекулы меняют свои положения равновесия, тем более текуча и менее вязка жидкость, т. е. вязкость жидкости прямо пропорциональна времени релаксации: $\eta \approx \tau$.

При движении тела в вязкой жидкости возникают силы сопротивления. Происхождение этого сопротивления двояко. При небольших скоростях, когда за телом нет вихрей, сила сопротивления обуславливается вязкостью жидкости. Слои жидкости, прилегающие к телу, увлекаются им. Между этими слоями и следующими возникают силы трения.

Второй механизм сил сопротивления связан с образованием вихрей. Часть работы, совершаемой при движении тела в жидкости, идет на образование вихрей, энергия которых переходит во внутреннюю энергию.

Согласно закону Стокса, при движении шарика в вязкой жидкости с небольшой скоростью, когда нет вихрей, сила сопротивления равна:

$$F_C = 6 \cdot \pi \cdot r \cdot v \cdot \eta, \quad (5.2)$$

где r – радиус шарика, m^2 ;
 v – скорость его движения, m/c ;
 η – вязкость жидкости, $Pa \cdot c$.

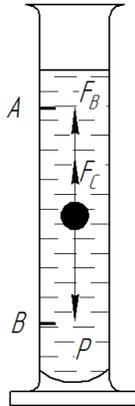


Рисунок 5.1.

На движущийся шарик в жидкости действуют три силы: сила сопротивления F_C (5.2), сила тяжести $mg=P$ и выталкивающая сила F_B (рисунок 5.1)

$$P = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g, \quad (5.3)$$

$$F_B = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_0 \cdot g, \quad (5.4)$$

где ρ – плотность вещества шарика, $кг/м^3$;
 ρ_0 – плотность жидкости, $кг/м^3$.

Сила тяжести и выталкивающая сила постоянны по модулю, сила сопротивления прямо пропорциональна скорости. При движении шарика в жидкости наступает момент,

когда все три силы уравниваются и шарик начинает двигаться равномерно

$$P = F_B + F_C \text{ или}$$
$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_0 \cdot g + 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot v,$$

откуда

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot g \cdot (\rho - \rho_0)}{v}. \quad (5.5)$$

При использовании данного метода следует исключить тормозящее действие на шарик со стороны неподвижных слоев жидкости, находящихся около стенок сосуда. Для этого необходимо, чтобы диаметр сосуда с жидкостью был значительно больше диаметра шарика.

Метод Стокса достаточно прост и не требует специального сложного оборудования, однако его применение в медицинских и биологических исследованиях ограничено, так как для него необходимы большие количества исследуемой жидкости.

Оборудование, приборы, инструменты, материалы

Приборы и принадлежности: установка для определения вязкости по методу Стокса, шарики, микрометр, секундомер, линейка, ареометр.

Описание установки

Для определения вязкости по методу Стокса берут высокий цилиндрический сосуд с исследуемой жидкостью (рисунок 5.1). На сосуде имеются две кольцевые метки *A* и *B*. Метка *A* соответствует высоте, на которой силы, действующие на шарик, уравниваются друг друга и движение становится равномерным. Нижняя метка *B* нанесена для удобства отсчета времени.

Бросая шарик в сосуд, отмечают по секундомеру время τ прохождения шариком расстояния l между метками. Так как $v = l/\tau$, то формула (5.5) принимает вид:

$$\eta = \frac{d^2 \cdot g \cdot (\rho - \rho_0) \cdot \tau}{18 \cdot l}, \quad (5.6)$$

где d – диаметр шарика.

Порядок выполнения работы

1. Измерьте микрометром диаметр d шарика три раза.
2. Вычислите среднее значение диаметра d шарика.
3. Опустите шарик в сосуд с жидкостью так, чтобы он двигался по оси цилиндра. Измерьте время τ прохождения шариком расстояния между метками A и B .
4. Измерьте расстояние l между метками.
5. Определите с помощью ареометра плотность ρ_0 исследуемой жидкости.
6. Вычислите вязкость η жидкости [формула (5.6)].
7. Произведите аналогичные измерения и вычисления с пятью шариками и найдите среднее $\eta_{ср}$.
8. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

$d_1, м$	$d_2, м$	$d_3, м$	$d_{ср}, м$	$\tau, с$	$\eta, Па \cdot с$	$\eta_{ср}, Па \cdot с$

9. Определите погрешность измерения вязкости $\Delta\eta$ с доверительной вероятностью $p = 0,95$.

Контрольные вопросы

1. Что такое сила внутреннего трения?
2. Напишите уравнение Ньютона для течения вязкой жидкости.
3. Как зависит вязкость жидкости от температуры?
4. Что такое ньютоновская и неньютоновская жидкости?
5. Выведите формулу для определения вязкости по методу Стокса.
6. Какие условия должны выполняться при измерении вязкости методом Стокса?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

Изучение упругих свойств костной ткани

Цель работы: определение модуля упругости костной ткани и модуля упругости стали.

Приборы и принадлежности: установка для изучения упругих свойств материалов, образец костной ткани, стальной образец, набор грузов, линейка, микрометр.

Деформация – это изменение взаимного положения точек тела. Деформации могут возникать в твердых телах при воздействии внешних сил. При этом изменяются форма и размер тела и в теле возникают упругие силы. Если после прекращения действия сил тело восстанавливает свою форму, то деформация упругая. Если же форма тела не восстанавливается, то деформация пластическая. *Относительная деформация ε* равна

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x},$$

где x – первоначальный размер тела;

Δx – изменение этого размера.

Механическое напряжение при деформации сжатия и растяжения равно

$$\sigma = \frac{F_{\text{УПР}}}{S},$$

где $F_{\text{УПР}}$ – упругая сила;

S – площадь сечения тела.

Для упругих деформаций справедлив закон Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \text{ или } \frac{F_{УПР}}{S} = E \cdot \frac{\Delta x}{x}, \quad (6.1)$$

где E – модуль упругости (модуль Юнга).

При $\Delta x = x$ модуль упругости

$$E = \frac{F_{УПР}}{S}.$$

Отсюда модуль Юнга численно равен механическому напряжению, возникающему в теле при относительной деформации, равной единице, т. е. при увеличении размеров тела в два раза.

Зависимость механического напряжения от относительной деформации показана на рисунок 6.1. При относительно небольших значениях напряжения деформация имеет упругий характер, что выражается на графике прямо пропорциональной зависимостью (участок OB). При этом выполняется закон Гука. Наибольшее механическое напряжение σ , при котором деформация сохраняет упругий характер, называется *пределом упругости*. При дальнейшем увеличении напряжения деформация имеет пластический характер (участок BC), и при напряжении $\sigma_{пр}$ (*предел прочности*) происходит разрушение образца.

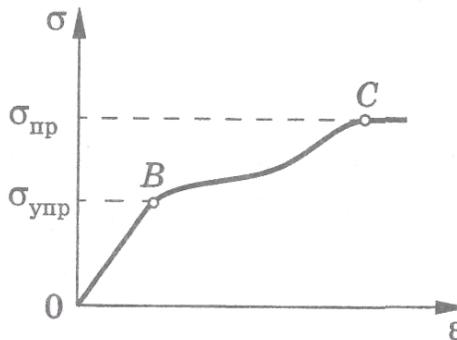


Рисунок 6.1

Строение костной ткани достаточно сложно. В ее состав входят органический материал, главным образом коллаген, и неорганические соединения, содержащие кальций, фосфор и др. Коллаген в кости образует фибриллы – тонкие длинные нити. Кристаллы неорганических веществ расположены между фибриллами и прочно прикреплены к ним.

Такая сложная структура определяет механические свойства костной ткани – упругость и пластичность. Модуль упругости костной ткани имеет промежуточное значение между модулями упругости ее компонентов и существенно зависит от их процентного содержания.

При экспериментальных исследованиях упругих свойств костной ткани предполагают, что кость имеет сплошное строение, так как размеры структурных элементов много меньше, чем сама кость. Кость считают однородной и изотропной, обладающей одинаковыми механическими свойствами во всех точках и по всем направлениям.

Существуют различные методы определения модуля упругости. В данной работе модуль упругости определяется из деформации изгиба.

Если на середину прямого упругого стержня, свободно положенного на твердые опоры, действует сила F (рисунок 6.2), то стержень изгибается. Легко понять, что при таком изгибе верхние слои стержня сжимаются, нижние – растягиваются, а некоторый средний слой, который называют *нейтральным*, сохраняет длину и только претерпевает искривление.

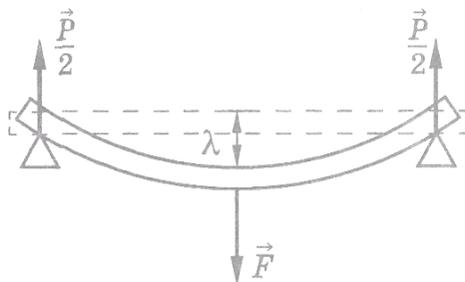


Рисунок 6.2

Перемещение λ , которое получает середина стержня, называется *стрелой прогиба*. Она тем больше, чем больше нагрузка, и, кроме того, зависит от формы и размеров стержня и от его модуля упругости. В теории сопротивления материалов доказывается, что если к стержню длиной L , шириной b и толщиной a приложить в середине силу F (рисунок 6.2), то стрелу прогиба находят по формуле

$$\lambda = \frac{F \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot a^3 \cdot E}, \quad (6.2)$$

$$E = \frac{F \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot a^3 \cdot \lambda}, \quad (6.3)$$

Описание установки

Установка для определения модуля упругости состоит из массивной платформы 1 с двумя стойками, на которые помещают образец 2 (рисунок 6.3).

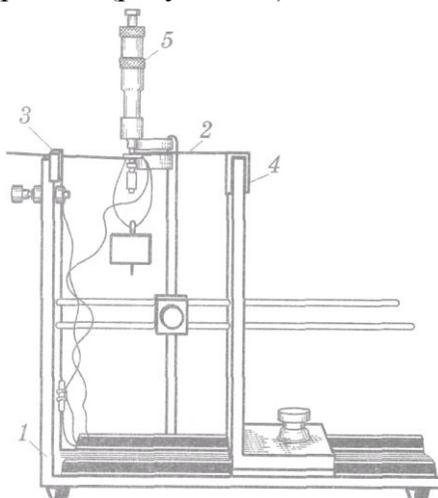


Рисунок 6.3

На конце неподвижной стойки укреплена опорная призма 3. На конце подвижной стойки опорная призма, заменена вращающимся роликом 4 для уменьшения трения при перемещении образца. Кроме того, между стойками имеется стержень с укрепленным на нем в вертикальном положении микронетром 5.

При соприкосновении жала микронетра 1 с контактной пластинкой 2 (рисунок 6.4), наложенной на середину образца, замыкается электрическая цепь установки и загорается сигнальная лампа 3. По центру образца имеется крючок 4 для подвешивания грузов.

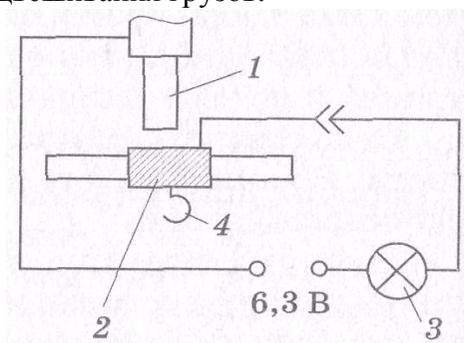


Рисунок 6.4

Подводя жало микронетра к контактной пластинке, при загорании лампы фиксируют показания микронетра: n_0 – без нагрузки, n – при подвешивании к образцу груза массой m . При этом сила F равна весу груза $F = mg$, а стрела прогиба $\lambda = n_0 - n$. Подставляя эти выражения в формулу (6.3), получаем

$$E = \frac{m \cdot g \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot a^3 \cdot (n_0 - n)}. \quad (6.4)$$

Обозначим через C постоянную для данного образца

$$C = \frac{L^3}{4 \cdot b \cdot a^3}. \quad (6.5)$$

Тогда

$$E = \frac{C \cdot m \cdot g}{(n_0 - n)}. \quad (6.6)$$

Порядок выполнения работы

1. Микрометром и линейкой измерьте ширину b , толщину a и длину L образца костной ткани человека (длина измеряется как расстояние между точками опоры). Каждое измерение проделайте три раза в разных местах образца и вычислите a_{cp} , b_{cp} .

2. Вычислите постоянную C образца, подставляя в формулу 6.5 значения a_{cp} , b_{cp} и L .

3. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Образец	a_1 , $м$	a_2 , $м$	a_3 , $м$	a_{cp} , $м$	b_1 , $м$	b_2 , $м$	b_3 , $м$	b_{cp} , $м$	L , $м$	C , $м^{-1}$

4. Положите образец на опоры и подключите установку к источнику питания.

5. Подведите жало микрометра к контактной пластинке до загорания сигнальной лампочки и снимите показания n_0 микрометра.

6. Последовательно нагрузите образец грузами массой m и сделайте соответствующие замеры показаний n микрометра.

7. Вычислите модуль упругости образца E при каждой нагрузке [формула (6.6)] и найдите E_{cp} .

8. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 6.2.

Таблица 6.2

Образец	$n_0, м$	$m, кг$	$n, м$	$E, Па$	$E_{ср}, Па$

9. Вычислите погрешность ΔE измерения модуля упругости с доверительной вероятностью $p = 0,95$.

10. Прodelайте аналогичные измерения и вычисления для стального образца.

Контрольные вопросы

1. Что называется деформацией?
2. Перечислите виды деформации.
3. Что такое механическое натяжение?
4. В каких единицах оно выражается в СИ?
5. Как определяется модуль упругости в данной работе?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

Определение вязкости жидкости вискозиметрами

Цель работы: исследование зависимости вязкости жидкости от температуры и концентрации и ознакомление с работой лабораторного вискозиметра.

Приборы и принадлежности: вискозиметр Освальда, лабораторный вискозиметр, термометр, секундомер, ультратермостат, набор растворов различной концентрации.

Для протекания жидкости или газа через трубку требуется некоторая разность давлений. Зависимость между объемом V жидкости (газа), протекающей за время τ через трубку длиной l , и разностью давлений Δp на концах трубки выражается *формулой Пуазейля*

$$V = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p \cdot \tau}{8 \cdot \eta \cdot l}, \quad (7.1)$$

где r – радиус трубки;

η – вязкость жидкости или газа.

Для определения вязкости по формуле (7.1) необходимо, чтобы течение было ламинарным, т.е. таким, при котором слои жидкости (газа) текут, не перемешиваясь. Для вихревого (турбулентного) течения формула Пуазейля несправедлива. Чтобы при обычных скоростях вихри не появились, трубка должна быть достаточно тонкой.

Более полно характер течения вязкой жидкости определяется *кинематической вязкостью* ν

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \quad (7.2)$$

где ρ – плотность жидкости.

Описание установки

Приборы, с помощью которых определяют вязкость, называются *вискозиметрами*.

Измерение входящих в формулу Пуазейля величин r , l и Δp провести трудно, поэтому прибегают к определению вязкости жидкости методом сравнения ее движения в данном вискозиметре с движением эталонной жидкости, вязкость η_0 которой известна, например воды.

Капиллярный вискозиметр Освальда изображен на рисунке 7.1.

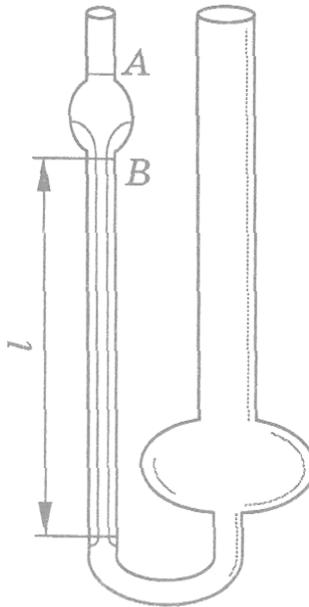


Рисунок 7.1.

Одно колено вискозиметра представляет собой капиллярную трубку. Определенный объем воды вливают в широкое колено вискозиметра, а затем грушей всасывают воду в другое колено так, чтобы ее уровень поднялся чуть выше отметки A , и, сняв грушу, наблюдают за понижением этого уровня. Когда мениск проходит метку A , включают

секундомер, а при прохождении метки B – выключают. Так находят время τ_0 прохождения воды между метками A и B . При ламинарном течении жидкости время прохождения этого объема через капилляр длиной l будет таким же. Так же определяют время τ протекания исследуемой жидкости между метками A и B . Объем исследуемой жидкости берут равным объему воды.

Жидкости в капилляре движутся под действием гидростатического давления

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h, \quad (7.3)$$

где ρ – плотность жидкости;

h – разность уровней жидкости в двух коленах вискозиметра.

Для равных объемов жидкостей, протекающих через капилляр, можно записать

$$V = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p_0 \cdot \tau_0}{8 \cdot \eta_0 \cdot l}, \quad V = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p \cdot \tau}{8 \cdot \eta \cdot l}, \quad (7.4)$$

откуда

$$\frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p_0 \cdot \tau_0}{8 \cdot \eta_0 \cdot l} = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p \cdot \tau}{8 \cdot \eta \cdot l}, \quad \text{или} \quad \frac{\Delta p_0 \cdot \tau_0}{\eta_0} = \frac{\Delta p \cdot \tau}{\eta}. \quad (7.5)$$

Подставляя $\Delta p_0 = \rho_0 \cdot g \cdot h$ и $\Delta p = \rho \cdot g \cdot h$ в формулу (7.5), получаем:

$$\frac{\Delta p_0 \cdot g \cdot h \cdot \tau_0}{\eta_0} = \frac{\Delta p \cdot g \cdot h \cdot \tau}{\eta}, \quad \text{или} \quad \frac{g \cdot h \cdot \tau_0}{\nu_0} = \frac{g \cdot h \cdot \tau}{\nu},$$

Откуда

$$v = \frac{v_0 \cdot \tau}{\tau_0}, \quad (7.6)$$

где v – кинематическая вязкость исследуемой жидкости;
 v_0 – кинематическая вязкость воды;
 τ – время истечения исследуемой жидкости;
 τ_0 – время истечения воды.

Обозначим постоянную прибора

$$A = \frac{v_0}{\tau_0}, \quad (7.7)$$

Тогда формула (7.6) принимает вид

$$v = A \cdot \tau. \quad (7.8)$$

Лабораторный вискозиметр используется для определения вязкости бульона. Принцип его действия основан на том, что скорости продвижения жидкостей в капиллярах с одинаковыми сечениями при равных температурах и давлениях зависят от вязкости этих жидкостей.

Из формулы Пуазейля следует, что объемы жидкостей, протекающих за равные промежутки времени по одинаковым капиллярам, обратно пропорциональны вязкостям этих жидкостей

$$\frac{V_0}{V} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot l_0}{\pi \cdot r^2 \cdot l} = \frac{l_0}{l} = \frac{\eta}{\eta_0}.$$

Лабораторный вискозиметр состоит из двух одинаковых градуированных капилляров A_1 и A_2 (рисунок 7.2).

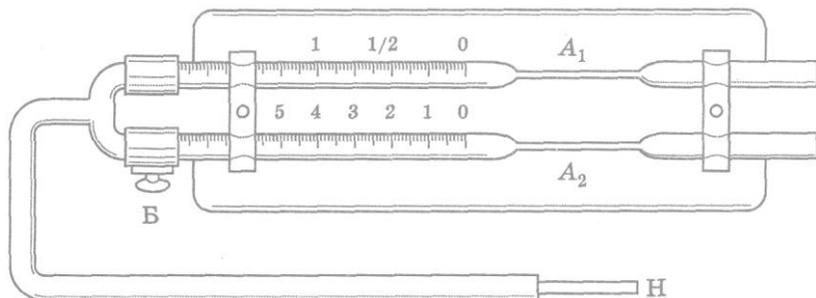


Рисунок 7.2.

В капилляр A_1 набирают определенный объем дистиллированной воды и перекрывают кран B . Это позволяет набрать в капилляр A исследуемую жидкость, не изменяя уровень воды. Если теперь, открыв кран B , создать разрежение в вискозиметре, то перемещения жидкостей за одно и то же время будут обратно пропорциональны их вязкости

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{l_0}{l}, \text{ или } \eta = \frac{\eta_0 \cdot l_0}{l}, \quad (7.9)$$

где η – вязкость исследуемой жидкости;
 η_0 – вязкость воды.

Если вязкость воды принять равной единице, а путь, пройденный жидкостью, составляет одно деление вискозиметра, то на основании формулы (7.9) вязкость жидкости численно равна пути l_0 , пройденному при этом водой.

Порядок выполнения работы

1. Определение кинематической вязкости жидкости:
 - а) залейте в вискозиметр определенный объем воды;
 - б) определите время τ_0 протекания воды через капилляр. Измерения повторите три раза и вычислите τ_{0cp} ;

- в) вычислите постоянную A прибора [формула (7.7)];
- г) проведите измерение времени τ протекания исследуемых жидкостей разных концентраций C (по три измерения для каждой) и найдите τ для каждой концентрации;
- д) вычислите кинематическую вязкость ν исследуемых жидкостей [формула (7.8)];
- е) результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 7.1;

Таблица 7.1

$\tau_{01},$ c	$\tau_{02},$ c	$\tau_{03},$ c	$\tau_{0cp},$ c	$A,$ m^2/c^2	$C,$ %	$\tau_1,$ c	$\tau_2,$ c	$\tau_3,$ c	$\tau_{cp},$ c	$\nu,$ m^2/c

- ж) вычислите погрешность $\Delta\nu$ измерения кинематической вязкости жидкости для каждой концентрации с доверительной вероятностью $p = 0,95$;
- з) постройте график зависимости кинематической вязкости жидкости от концентрации;
- и) поместите вискозиметр в ультратермостат и измерьте продолжительность протекания жидкости при нескольких значениях температуры. Каждое измерение повторите три раза и найдите τ . Вычислите кинематическую вязкость жидкости при каждой температуре;
- к) результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 7.2;

Таблица 2.2

$t, ^\circ C$	τ_1, c	τ_2, c	τ_3, c	τ_{cp}, c	$\nu, m^2/c$

- л) вычислите погрешность $\Delta\nu$ измерения кинематической вязкости жидкости для каждой температуры с доверительной вероятностью $p = 0,95$;

м) постройте график зависимости кинематической вязкости жидкости от температуры.

2. Определение вязкости жидкости лабораторным вискозиметром:

а) откройте кран *Б* и свободный конец капилляра *А* опустите в дистиллированную воду;

б) возьмите стеклянный наконечник *Н* в рот и, осторожно втянув воду до метки 0, закройте кран *Б*;

в) втяните в другой капилляр до метки 0 исследуемую жидкость;

г) поверните кран *Б*, соединив капилляр *А* с тройником;

д) осторожно втяните воздух через наконечник *Н*. Положение воды в капилляре τ_0 при достижении исследуемой жидкостью метки *l* показывает вязкость этой жидкости в относительных единицах;

е) вычислите вязкость η исследуемой жидкости [формула (7.9)]. Опыт повторите три раза и найдите η_{cp} ;

ж) результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 7.3.

Таблица 7.3

<i>l</i> , делений шкалы	η , Па·с	η_{cp} , Па·с

Контрольные вопросы

1. Представьте схему капиллярного вискозиметра Освальда.
2. Что такое вязкость.
3. Единицы измерения вязкости в системе СИ.
4. По какой формуле выполняется расчет кинематической вязкости.
5. С какой целью выполняется нагрев исследуемой жидкости.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

Определение поверхностного натяжения жидкостей

Цель работы: изучение зависимости поверхностного натяжения от концентрации раствора и температуры.

Приборы и принадлежности: установка для определения поверхностного натяжения методом Ребиндера, исследуемая жидкость, капельница, растворы спирта различных концентраций.

Молекула, находящаяся внутри жидкости, взаимодействует с окружающими ее молекулами. Так как взаимодействия симметричны, то равнодействующая равна нулю. Для молекулы, находящейся вблизи поверхности, симметрия нарушается и возникает сила, не скомпенсированная действием других молекул и направленная внутрь жидкости. Поэтому для перемещения молекул из глубины жидкости в поверхностный слой необходимо совершить работу.

При отсутствии внешних сил молекулы жидкости стремятся занять положение, соответствующее минимуму потенциальной энергии, поэтому жидкость в свободном состоянии стремится иметь минимальную площадь поверхности и принимает форму шара. Поверхностный слой уплотняется, что похоже на упругую пленку, в которой действуют упругие силы (силы поверхностного натяжения), направленные по касательной к поверхности. Если условно выбрать на поверхности жидкости отрезок длиной l (рисунок 8.1), то силы поверхностного натяжения F можно изобразить стрелками, перпендикулярными отрезку.

Поверхностное натяжение равно

$$\sigma = \frac{F}{l}.$$

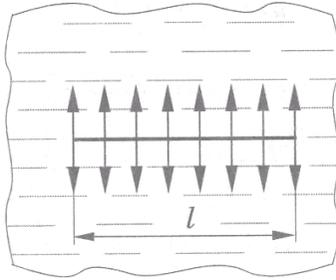


Рисунок 8.1

Так как молекулы поверхностного слоя обладают большей потенциальной энергией по сравнению с молекулами, находящимися внутри жидкости, то для увеличения площади поверхности жидкости необходимо совершить работу против сил поверхностного натяжения. Тогда

$$\sigma = \frac{A}{S}.$$

Для определения поверхностного натяжения используют метод отрыва капель. При медленном истечении жидкости из отверстия или из вертикальной трубки образуется капля. Отрыв происходит по шейке капли или перетяжке, радиус которой меньше радиуса отверстия. Предполагается, что в момент отрыва сила поверхностного натяжения

$$F = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma$$

равна силе тяжести капли

$$p = \rho \cdot g \cdot V$$

где R – радиус шейки капли;

ρ – плотность жидкости;

V – объем капли.

То есть

$$2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma = \rho \cdot g \cdot V,$$

Откуда

$$\sigma = \frac{\rho \cdot g \cdot V}{2 \cdot \pi \cdot R}. \quad (8.1)$$

Измерить радиус шейки капли практически нельзя (это можно сделать только при фотографировании капли в момент отрыва), поэтому, используя метод отрыва капли, прибегают к сравнительному способу.

Если известно поверхностное натяжение σ_0 стандартной жидкости, например воды, то [формула (8.1)] можно записать, что

$$\sigma_0 = \frac{\rho_0 \cdot g \cdot V_0}{2 \cdot \pi \cdot R}. \quad (8.2)$$

Взяв одинаковые объемы V_1 воды и исследуемой жидкости и подсчитав количество капель в этих объемах, можно вычислить объем одной капли

$$V_0 = \frac{V_1}{n_0} \text{ (вода)}, \quad V = \frac{V_1}{n} \text{ (исследуемая жидкость)}.$$

Подставив эти выражения соответственно в (8.1) и (8.2), получим

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{\rho \cdot n_0}{\rho_0 \cdot n}, \quad (8.3)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_0 \cdot \rho \cdot n_0}{\rho_0 \cdot n}. \quad (8.4)$$

Для определения поверхностного натяжения используют также метод максимального давления в пузырьке воздуха. Под действием сил поверхностного натяжения поверхностный слой жидкости искривляется, что приводит к появлению дополнительного давления на жидкость. Это избыточное давление направлено в сторону вогнутости искривленной поверхности. В случае сферической поверхности избыточное давление равно

$$\Delta p = \frac{2 \cdot \sigma}{r}, \quad (8.5)$$

где r – радиус кривизны поверхности.

Если в плотно закрытый сосуд с жидкостью через пробку ввести капилляр, конец которого касается жидкости, а верхний конец открыт, то при понижении давления в сосуде в жидкость через капилляр под действием атмосферного давления p_{am} будет выдавливаться пузырек воздуха. В момент отрыва пузырька атмосферное давление равно сумме давления в сосуде и избыточного давления

$$p_{am} = p + \Delta p, \text{ или } \Delta p = p_{am} - p. \quad (8.6)$$

Используя выражение (8.5), получаем

$$\sigma = \frac{r \cdot \Delta p}{2}. \quad (8.7)$$

Описание установки

Установка для определения поверхностного натяжения методом отрыва капле представляет собой укрепленную на вертикальном штативе капельницу (рисунок 8.1, *а*) или сталагмометр (рисунок 8.1, *б*). Капельница – это стеклянная трубка с узким нижним концом.

Перед узкой частью трубки имеется кран, которым регулируется истечение жидкости из капельницы. На трубке нанесены деления, позволяющие измерять объем протекающей жидкости.

Сталагмометр – это стеклянная капиллярная трубка, имеющая шарообразное уширение. На сталагмометре имеются метки *A* и *B*, ограничивающие определенный объем жидкости. Жидкость в сталагмометр засасывается резиновой грушей.

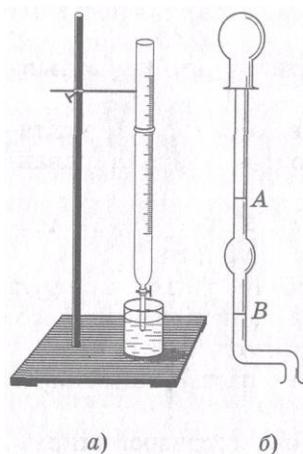


Рисунок 8.1

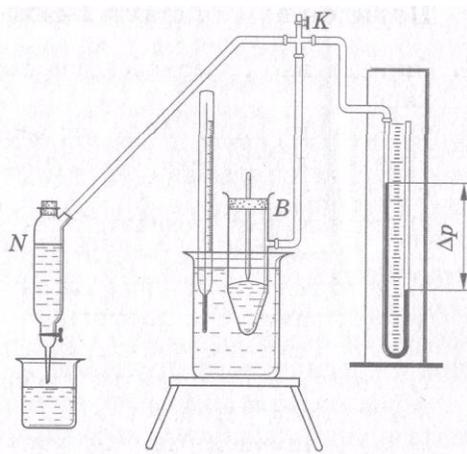


Рисунок 8.2

Прибор для измерения поверхностного натяжения методом максимального давления в пузырьке воздуха (рис. 8.2) разработан П. А. Ребиндером.

Он состоит из наполненного водой аспиратора *N*, со-

единенного с манометром и закрытым сосудом B , заполненным исследуемой жидкостью. Сосуд B помещают в стакан с водой, который может подогреваться электроплиткой. Температура измеряется термометром. Если закрыть кран K и открыть кран аспиратора, то вода начнет вытекать из него. Это приведет к понижению давления в аспираторе, следовательно, и в соединенном с ним сосуде B . При некоторой разности давлений (между атмосферным и внутри системы) в жидкость через капилляр будет проталкиваться пузырек воздуха. При этом выполняется условие (8.6). Давление Δp измеряется манометром. Поверхностное натяжение может быть определено по формуле (8.7). Для нахождения радиуса капилляра используют относительный метод. Сначала проводят измерения Δp_0 для стандартной жидкости, поверхностное натяжение σ_0 которой известно. Величина $A = r/2$ является постоянной данного прибора и определяется из измерений для стандартной жидкости

$$A = \frac{\sigma_0}{\Delta p_0}. \quad (8.8)$$

Поверхностное натяжение исследуемой жидкости:

$$\sigma = A \cdot \Delta p. \quad (8.9)$$

Порядок выполнения работы

1. Определение поверхностного натяжения методом отрыва капель:

а) промойте капельницу, закрепите ее вертикально в штативе и залейте в нее определенный объем дистиллированной воды;

б) открыв кран, подсчитайте число n_0 капель воды в данном объеме. Опыт проведите три раза и найдите n_{0cp} ;

в) залейте в капельницу такой же объем раствора спирта концентрации C и подсчитайте число n капель в данном объеме. Опыт повторите три раза и найдите n_{cp} ;

г) проведите аналогичные измерения с растворами спирта других концентраций C_2 и C_3 ;

д) вычислите поверхностное натяжение σ растворов спирта;

е) результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 8.1;

Таблица 8.1

n_1	n_2	n_3	n_{cp}	$\sigma, Н/м$

ж) определите погрешность $\Delta\sigma$ измерения поверхностного натяжения для растворов каждой концентрации с доверительной вероятностью $p = 0,95$;

з) постройте график зависимости поверхностного натяжения растворов спирта от их концентрации.

2. Определение поверхностного натяжения методом максимального давления в пузырьке воздуха:

а) налейте в аспиратор воду до уровня бокового отростка;

б) вставьте в держатель сосуд B с дистиллированной водой.

Плотно закройте его пробкой с капилляром так, чтобы конец капилляра был погружен в воду не более чем на 2 мм;

в) закройте кран K ;

г) откройте кран аспиратора так, чтобы изменение давления происходило медленно и можно было легко отсчитывать уровни жидкости в коленах манометра в момент отрыва пузырьков;

д) в момент отрыва пузырька произведите отсчет H_1 по левому колену манометра. Отсчет произведите не менее трех раз и найдите H_{1cp} ;

е) продолжая наблюдения за отрывом пузырьков, произведите не менее трех отсчетов H_2 по правому колену манометра и найдите H_{2cp} ;

ж) вычислите $\Delta p_0 = H_1 - H_2$;

з) определите постоянную A прибора [формула (8.8)];

и) результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 8.2;

Таблица 8.2

$H_{11},$ мм	$H_{12},$ мм	$H_{13},$ мм	$H_{1cp},$ мм	$H_{21},$ мм	$H_{22},$ мм	$H_{23},$ мм	$H_{2cp},$ мм	$\Delta p_0,$ мм. вод. ст.	$A,$ (Н/мм .вод. ст)

к) замените сосуд B_1 с дистиллированной водой на сосуд B_2 с исследуемой жидкостью;

л) включите электроплитку и проведите измерения аналогично заданию 1 при различных температурах;

м) вычислите поверхностное натяжение с жидкости при различной температуре (8.9);

н) результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 8.3;

Таблица 8.3

$t, ^\circ\text{C}$	$H_{11},$ мм	$H_{12},$ мм	$H_{13},$ мм	$H_{1cp},$ мм	$H_{21},$ мм	$H_{22},$ мм	$H_{23},$ мм	$H_{2cp},$ мм	$\Delta p_0,$ мм. вод. ст.	$\sigma,$ Н/м

Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление поверхностного натяжения?
2. Что такое сила поверхностного натяжения и как она направлена?
3. Дайте определение поверхностного натяжения и укажите его единицы в СИ.
4. Что такое поверхностно-активные вещества?
5. В чем заключается измерение поверхностного натяжения методом отрыва капель?
6. В чем заключается измерение поверхностного натяжения методом максимального давления в пузырьке?
7. Как зависит поверхностное натяжение от температуры?
8. Какое значение имеет изучение поверхностного натяжения для медицины?
9. Как зависит поверхностное натяжение от концентрации раствора?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9

Изучение механических моделей тканей

Цель работы: исследование поведения различных моделей тканей при различных режимах деформации.

Приборы и принадлежности: персональный компьютер.

Изучению механических свойств пищевых продуктов и биоматериалов уделяют большое внимание. Исследования взаимосвязи структуры тканей и их механических свойств, особенностей поведения тканей при различных режимах нагрузки позволяют решать конкретные задачи: разработку новых пищевых продуктов и биоматериалов; оценку их механических параметров и др.

Механические свойства твердых тел проявляются при деформациях. Кроме описанных ранее упругой и пластической деформаций, различают также другие виды деформаций.

Упругопластической называется деформация, которая частично сохраняется после прекращения действия внешней силы.

Вязкоупругой называется деформация, которая при действии постоянной силы с течением времени достигает значительной величины, а после снятия нагрузки постепенно исчезает полностью или частично. Этот вид деформации наиболее характерен для полимеров и обусловлен строением их молекул. Для вязкоупругих объектов характерны явления ползучести и релаксации напряжения.

Ползучесть – явление изменения относительной деформации объекта с течением времени при постоянном напряжении: $\varepsilon = f(t)$ при $\sigma = const$. Процессы, происходящие в полимерах при ползучести, соответствуют течению вязкой жидкости. Исследование ползучести проводят в *изотоническом режиме* деформации: в объекте создают

постоянное механическое напряжение $\sigma = const$ (действуют постоянной силой) и изучают зависимость $e = f(t)$.

Релаксация напряжения – уменьшение механического напряжения с течением времени при постоянной величине относительной деформации: $\sigma = f(t)$ при $\varepsilon = const$.

Исследование релаксации напряжения проводят в *изометрическом режиме* деформации: в объекте создают ступенчатое удлинение и, сохраняя его постоянным ($\varepsilon = const$), изучают зависимость $\sigma = f(t)$.

При изучении механических свойств любого материала исследуют, прежде всего, зависимость механического напряжения σ от относительной деформации ε : $\sigma = f(\varepsilon)$ и временные зависимости напряжения $\sigma = f(t)$ и относительной деформации $\varepsilon = f(t)$.

Биологические ткани такие, как мышцы, сухожилия, кровеносные сосуды, костная ткань, представляют собой вязкоупругие системы. Их пассивные механические свойства, проявляющиеся под действием внешней силы, удобно моделировать сочетанием упругих и вязких элементов.

Модель упругого элемента – идеально упругая пружина (рисунок 1, а), в которой процесс деформации происходит мгновенно и подчиняется закону Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (9.1)$$

где E – модуль упругости.

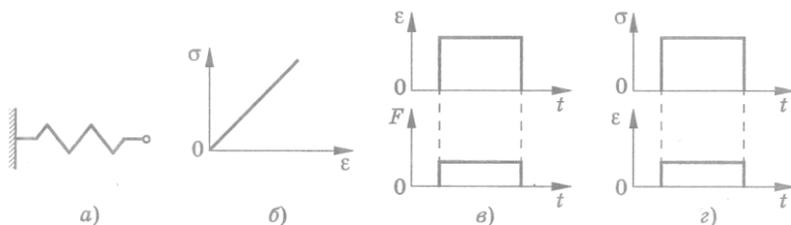


Рисунок 9.1

На рисунке 9.1, б изображен график зависимости $\sigma = f(\varepsilon)$; а на рисунке 9.1, в и г – графики зависимости $\varepsilon = f(t)$ в изотоническом и $\sigma = f(t)$ в изометрическом режимах.

Модель вязкого элемента – поршень с отверстиями, движущийся в цилиндре с вязкой жидкостью (рисунок 9.2, а). При движении поршня жидкость протекает через отверстия и создает сопротивление, которое растет пропорционально скорости движения поршня. Относительная деформация вязкого элемента пропорциональна времени t действия внешней силы и зависит от напряжения a и вязкости η жидкости

$$\varepsilon = \frac{\sigma \cdot t}{\eta}. \quad (9.2)$$

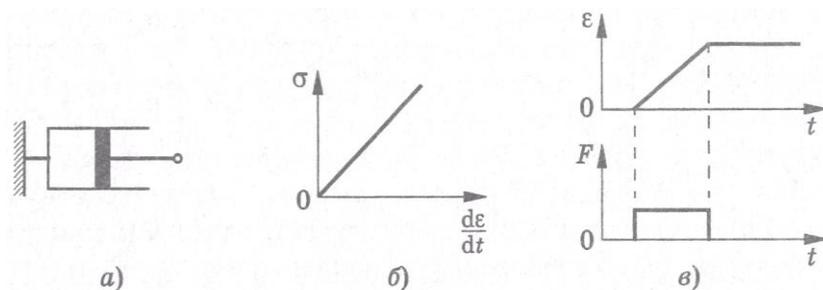


Рисунок 9.2

На рисунке 9.2, б, в изображены графики зависимости в $\sigma = \frac{d\varepsilon}{dt}$ и $\varepsilon = f(t)$ изотоническом режиме. Исследование реформации вязкого элемента в изометрическом режиме невозможно, так как нельзя ступенчато изменить относительную деформацию (мгновенно вытянуть поршень).

Вязкоупругие свойства тел моделируются системами, состоящими из различных комбинаций моделей упругого и вязкого элементов.

Модель Кельвина-Фойгта – параллельное соединение упругого и вязкого элементов (рисунок 9.3, а). При постоянно действующей силе относительная деформация этой модели экспоненциально возрастает со временем. После снятия нагрузки деформация экспоненциально убывает, и через некоторое время система возвращается в исходное состояние ($\varepsilon = 0$) (см. кривую ползучести, приведенную на рисунке 9.3, б).

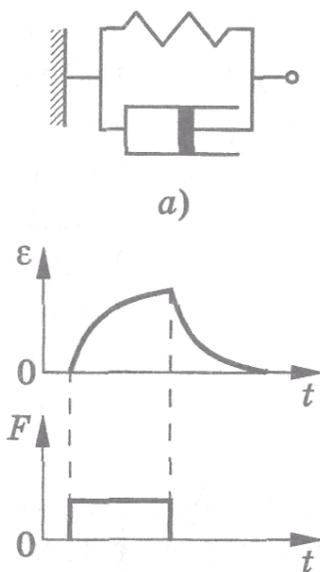


Рис. 9.3

Модель Максвелла – последовательное соединение упругого и вязкого элементов (рисунок 9.4, а). В изотоническом режиме (рисунок 9.4, б) пружина мгновенно удлиняется (момент времени t_1) до значения, определяемого законом Гука, а поршень движется с постоянной скоростью до тех пор, пока действует постоянная внешняя сила. После снятия нагрузки (момент времени t_2) пружина мгновенно сокращается, а положение поршня остается неизменным. В изометрическом режиме (рисунок 9.4, в) пружина

жина после быстрого растяжения начинает сокращаться, вытягивая при этом поршень, т. е. происходит релаксация напряжения.

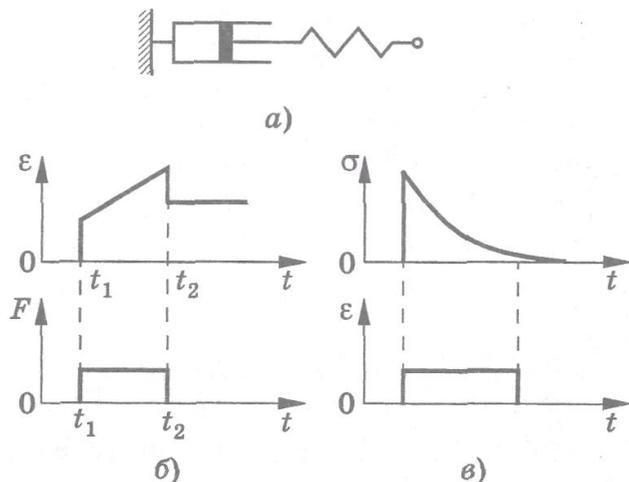


Рис. 9.4

Модель Зинера – последовательное соединение моделей Кельвина-Фойгта и упругого элемента (рисунок 9.5, а). В изотоническом режиме (рисунок 9.5, б) пружина 1 мгновенно удлиняется до значения, определяемого законом Гука, а пружина 2 удлиняется постепенно по мере вытягивания поршня и ее удлинение имеет нелинейный характер.

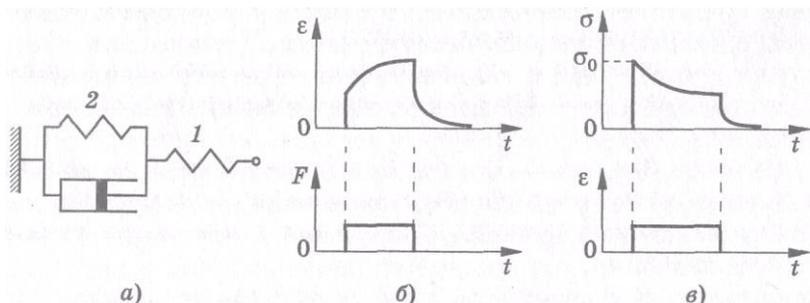


Рис. 9.5

После прекращения действия внешней постоянной силы пружина 1 мгновенно сокращается, пружина 2 сокращается постепенно, втягивая поршень в обратном направлении. Таким образом, после снятия нагрузки в модели не сохраняется остаточная деформация. Зависимость деформации от времени имеет сложный характер: она определяется начальным напряжением, модулями упругости пружин 1 и 2 и вязкостью системы. В изометрическом режиме (рисунок 9.5, *в*) в пружине 1 мгновенно создается напряжение σ_0 , затем напряжение убывает по экспоненциальному закону, так как происходит постепенное вытягивание поршня и растяжение пружины 2. После прекращения деформации напряжение резко падает до некоторой величины (сокращается пружина 1), а затем плавно убывает до нуля.

Механические свойства биосистем обусловлены их структурным строением.

Мышцы. В состав мышц входят волокна коллагена и эластина, поэтому они ведут себя подобно полимерам – в них происходит вязкоупругая деформация. Гладкие мышцы при деформации ведут себя подобно модели Максвелла (см. рисунок 9.4). Для них характерна релаксация напряжения, поэтому они могут сильно растягиваться без особого напряжения, что способствует большей растяжимости полых органов. Скелетные мышцы при деформации подобны модели Зинера (рисунок 9.5): при быстром растяжении напряжение в них быстро возрастает, а затем постепенно уменьшается до некоторого остаточного значения. В отличие от модели зависимость $\sigma = f(\epsilon)$ для скелетной мышцы нелинейная.

Кости. Костная ткань по своим свойствам отличается от мышц. Ее строение и свойства были рассмотрены ранее. По своему поведению при деформации костная ткань подобна модели Зинера (рисунок 9.5). Минеральные компоненты костной ткани обеспечивают ее упругие свойства и быструю деформацию, а органические волокна коллагена – вязкие свойства и определяют ползучесть кости.

Порядок выполнения работы

1. Исследование поведения механических моделей в изотоническом режиме деформации:

а) приложите внешнюю силу к пружине и поддерживайте ее действие в течение некоторого времени;

б) прекратите действие внешней силы;

в) зарисуйте в тетрадь график временной зависимости относительного удлинения при действии постоянной внешней силы и после снятия нагрузки;

г) проделайте действия, аналогичные пп. а)-в), для остальных моделей;

д) сделайте вывод о том, в каких моделях наблюдается ползучесть.

2. Исследование поведения механических моделей в изометрическом режиме деформации:

а) создайте в пружине постоянное относительное удлинение и поддерживайте его в течение некоторого времени;

б) снимите это удлинение;

в) зарисуйте в тетрадь график временной зависимости напряжения при постоянном относительном удлинении;

г) проделайте действия, аналогичные пп. а)-в), для остальных моделей;

д) сделайте вывод о том, в каких моделях наблюдается релаксация напряжения.

3. Наблюдение графиков зависимостей $\varepsilon = f(t)$ и $\sigma = f(t)$ биологических тканей:

а) поочередно получите на экране графики зависимости $\varepsilon = f(t)$ для деформации гладкой мышцы; $\sigma = f(t)$ – для скелетной мышцы; $\sigma = f(t)$ – для костной ткани в изотоническом режиме при двух значениях напряжения;

б) зарисуйте полученные графики в тетрадь и укажите модели, соответствующие каждой из указанных биологических тканей.

4. Исследование зависимости модуля упругости сухожилия от возраста животного:

а) введите возраст животного и получите на экране график зависимости $\sigma = f(t)$;

б) по полученному графику определите модуль упругости E сухожилия как тангенс угла наклона графика к оси абсцисс;

в) проделайте аналогичные действия для других значений возраста;

г) полученные данные занесите в таблицу 1;

д) постройте график зависимости модуля упругости сухожилия от возраста;

е) сделайте вывод о характере изменения модуля упругости сухожилия с возрастом.

5. Исследование зависимости предела упругости сухожилия от возраста:

а) введите возраст животного;

б) изменяя нагрузку, прикладываемую к сухожилию, получите на экране график зависимости относительной деформации ε от действующей силы F ;

в) определите по полученному графику максимальное относительное удлинение ε_{max} и предельное значение нагрузки F_{max} ;

г) вычислите предел упругости о сухожилия по формуле

$$\sigma_{VII} = \frac{F_{max}}{S}$$

где S – площадь поперечного сечения сухожилия (равна $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$);

д) вычислите максимальное абсолютное удлинение сухожилия (длину l_0 недеформированного сухожилия принять равной 0,12 м);

е) проделайте действия, аналогичные пп. а)-д), для других значений возраста;

ж) результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 9.1;

Таблица 9.1

Возраст, <i>лет</i>	$E, Па$	$F_{max}, Н$	$\sigma_{уп}, Па$	ϵ_{max}	$\Delta l_{max}, м$

з) постройте график зависимости предела упругости сухожилия от возраста;

и) сделайте вывод о характере изменения предела упругости сухожилия с возрастом.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение механической деформации.
2. Перечислите возможные виды деформаций.
3. В чем заключаются изотонический и изометрические режимы деформации?
4. Что называется релаксацией напряжения и ползучестью?
5. Укажите модели твердых тел и опишите особенности их деформаций.
6. Опишите механические свойства биологических тканей.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Реология – это ...

- а) наука о веществах, их свойствах, строении и превращениях, происходящих в результате химических реакций;
- б) наука, изучающая законы движения и равновесия твердых тел;
- в) наука, изучающая законы движения и равновесия жидкости;
- г) наука о текучести и деформациях реальных тел.

2. Изменение под действием внешних сил формы и объема тела, при котором частицы или молекулы смещаются относительно друг друга без нарушения сплошности тела, называется:

- а) пластичностью;
- б) текучестью;
- в) прочностью;
- г) деформацией.

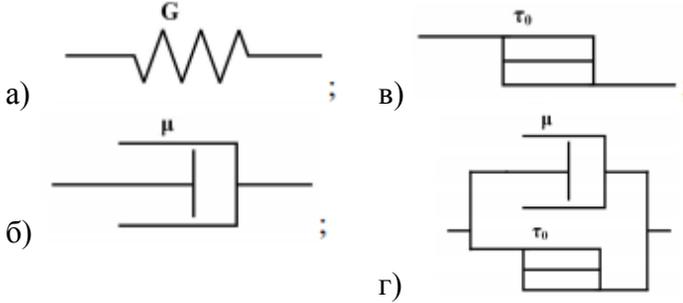
3. Способность тела при деформации полностью восстанавливать свою первоначальную форму называется:

- а) упругостью;
- б) пластичностью;
- в) твердостью;
- г) прочностью.

4. Совокупность реологических свойств вязкой жидкости, вязкопластичного или вязкоэластичного тела называется

- а) консистенцией;
- б) текстурой;
- в) плотностью;
- г) твердостью.

5. Механическая модель упругого тела (модель Гука) изображена на рисунке:



6. Уравнение Гершеля-Балкли для математического описания течения пластичных реологических тел имеет вид:

- а) $\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$;
- б) $\tau = \tau_0 \cdot K \cdot \dot{\gamma}^n$;
- в) $\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$;
- г) $\tau = \tau_0^n + K \cdot \dot{\gamma}$.

7. Явление медленного развития деформации под постоянной нагрузкой с течением времени называется:

- а) сдвигом;
- б) упругим возвратом;
- в) релаксацией напряжений;
- г) ползучестью.

8. Уравнение для определения адгезионных характеристик молочных продуктов имеет вид:

- а) $\frac{1}{p} = \frac{h}{2\alpha} \cdot \frac{C}{W_C}$;
- б) $\frac{1}{p} = \frac{h}{2\alpha} + \frac{C}{W_C}$;
- в) $\frac{1}{p} = 2 \cdot h \cdot \alpha + C \cdot W_C$;
- г) $\frac{1}{p} = \frac{h}{2C} + \frac{1}{W_C}$.

9. Прибор, предназначенный для измерения вязкости или внутреннего трения жидкостей и газов, называют:

- а) ареометром;
- б) вискозиметром;
- в) термометром;
- г) анероидом.

10. Прибор, принцип действия которого основан на изучении течения жидкости между двумя плоскопараллельными плоскостями, называется:

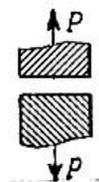
- а) пластомером;
- б) пенетрометром;
- в) ареометром;
- г) адгезиомером.

11. Кривыми ползучести называют:

- а) графики зависимостей деформации от времени;
- б) графики зависимостей напряжений от времени;
- в) графики зависимостей скорости деформаций от времени;
- г) графики зависимостей деформации от напряжений.

12. При разделении контактирующих тел, изображенном на рисунке, наблюдается следующий характер разрушения

- а) адгезионный;
- б) когезионный;
- в) смешанный (адгезионно-когезионный);
- г) сдвиговойый.



13. Консистентными переменными в реодинамических расчетах являются:

- а) масса;
- б) вязкость;
- в) напряжение сдвига;
- г) градиент скорости.

14. Осаливанием называется:

- а) добавление растительных и животных жиров в транспортируемый по трубопроводу продукт;
- б) уменьшение живого сечения потока трубопровода засчет налипания слоя жира на стенки;
- в) процесс смазывания стенок трубопровода для улучшения транспортировки продукта;
- г) «расслаивание» продукта при транспортировке по трубопроводу.

15. Потери давления при истечении продукта через насадок определяются выражением $P=P_M+P_1+P_a$. Величина P_a является:

- а) потерями давления при расширении или сужении потока за счет конусности;
- б) инерционными потерями давления;
- в) потерями давления, возникающими вследствие сжатия продукта;
- г) потерями давления из-за противодействия в технологических аппаратах.

16. Отношение полезной мощности насоса к его полной мощности называется:

- а) напором;
- б) действительной подачей;
- в) коэффициентом полезного действия;
- г) теоретической подачей.

17. Прибором для измерения перепада давления в трубопроводе является:

- а) ротаметр;
- б) расходомер;
- в) вискозиметр;
- г) манометр.

18. К расходомерам постоянного перепада давления относятся:

- а) ротаметр;
- б) сопло Вентури;
- в) турбинный расходомер;
- г) труба Вентури.

19. Для изучения текстуры сенсорными методами используют (выбрать несколько вариантов ответа):

- а) гаптическую оценку;
- б) визуальную оценку;
- в) слуховую оценку;
- г) изучение вкуса и запаха продуктов.

20. К инструментальным методам контроля кинестетических свойств биотехнологических сред относятся (выберите несколько вариантов ответа):

- а) методы точного измерения реологических свойств;
- б) эмпирические методы определения параметров консистенции;
- в) имитационные методы;
- г) методы сенсорной оценки.

21. Изучением материалов как однородных и лишенных структуры занимается:

- а) феноменологическая реология (макрореология);
- б) микрореология;
- в) реометрия;
- г) вискозиметрия.

22. Деформация вязкоупругопластичного тела, характеризующаяся взаимным смещением параллельных слоев (или волокон) материала под действием приложенных сил при неизменном расстоянии между слоями, называется:

- а) растяжением;
- б) сдвигом;
- в) сжатием;
- г) кручением.

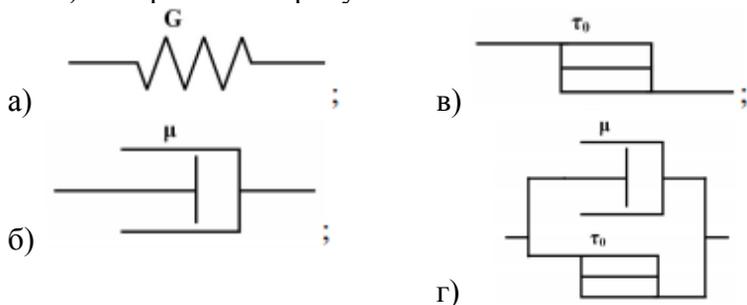
23. Способность материала твердого тела сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела (индентора) называется:

- а) упругостью;
- б) пластичностью;
- в) прочностью;
- г) твердостью.

24. Физико-структурные свойства сырья и готовых продуктов, воспринимаемые органами слуха, зрения и осязания и вызывающие у человека определенные ощущения при потреблении, называются:

- а) консистенцией;
- б) плотностью;
- в) вязкостью;
- г) текстурой.

25. Механическая модель вязкой жидкости (модель Ньютона) изображена на рисунке:



26. Уравнение Оствальд-де-Вилля для математического описания течения неньютоновских жидкостей имеет вид:

а) $\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$;

б) $\tau = K \cdot \dot{\gamma} \cdot n$;

в) $\tau = \frac{K}{\dot{\gamma}^n}$;

г) $\tau = \left(\frac{K}{\dot{\gamma}} \right)^n$.

27. Объемный модуль упругости E_V определяется по формуле:

а) $E_V = \frac{E}{(1-\mu)}$;

б) $E_V = \frac{E \cdot (1-2\mu)}{3}$;

в) $E_V = \frac{E}{(1-2\mu)}$;

г) $E_V = \frac{E}{3(1-2\mu)}$.

28. Закон внешнего трения (Дерягина) имеет вид:

а) $p_{mp} = \mu \cdot (p_k - p_0)$;

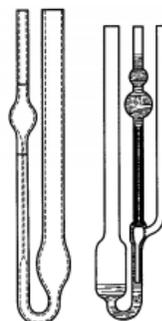
б) $p_{mp} = \mu \cdot (p_k - p_0)$;

в) $p_{mp} = \mu \cdot \frac{p_k}{p_0}$;

г) $p_{mp} = \mu \cdot (p_k + p_0)$.

29. На рисунке показаны конструкции:

- а) ротационных вискозиметров;
- б) капиллярных вискозиметров;
- в) вискозиметров с падающим шаром;
- г) вискозиметров с падающим цилиндром.



30. Прибор, принцип действия которого основан на изучении механизмов вдавливания твердого тела в исследуемый материал, называется:

- а) пластомером;
- б) пенетрометром;
- в) ареометром;
- г) адгезиометром.

31. При испытаниях в условиях всестороннего или осевого сжатия общая относительная деформация равна:

- а) сумме мгновенной упругой деформации, запаздывающей упругой деформации и пластической деформации;
- б) сумме мгновенной упругой деформации и запаздывающей упругой деформации;
- в) сумме мгновенной упругой деформации и пластической деформации;
- г) сумме запаздывающей упругой деформации и пластической деформации.

32. При разделении контактирующих тел, изображенном на рисунке наблюдается следующий характер разрушения:

- а) адгезионный;
- б) когезионный;
- в) смешанный (адгезионно-когезионный);
- г) сдвиговой.



33. Консистентными переменными в реодинамических расчетах являются:

- а) масса;
- б) вязкость;
- в) напряжение сдвига;
- г) градиент скорости.

34. Для снижения отрицательного влияния осаливания:

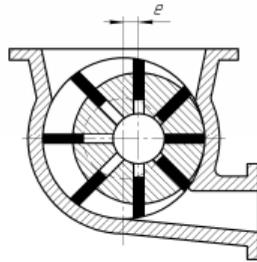
- а) применяют подогрев трубопровода;
- б) повышают давление в трубопроводе;
- в) производят охлаждение трубопровода;
- г) заменяют трубопровод с круглым сечением на трубопровод с квадратным сечением.

35. Для конических насадков давление, необходимое для экструдирования, зависит от:

- а) общего давления;
- б) входного диаметра насадка;
- в) среднеобъемной скорости;
- г) выходного диаметра насадка.

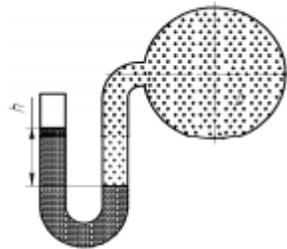
36. Какая конструкция насоса показана на рисунке:

- а) пластинчатого;
- б) диафрагменного;
- в) винтового;
- г) шестеренчатого.



37. На рисунке показана конструкция:

- а) жидкостного манометра;
- б) манометра с пластинчатой мембраной;
- в) манометра с одновитковой трубчатой пружиной;
- г) сильфонного манометра.



38. К расходомерам переменного перепада давления относятся:

- а) турбинный расходомер;
- б) ротаметр;
- в) труба Вентури;
- г) ультразвуковой расходомер.

39. Совокупность реологических свойств вязкой жидкости, вязко-пластичного или упруго-эластичного тела, степень твердости, плотности продукта называется:

- а) консистенцией;
- б) текстурой;
- в) липкостью;
- г) прочностью.

40. Для инструментального контроля консистенции используют (выберите несколько вариантов ответа):

- а) вискозиметры;
- б) пенетрометры;
- в) манометры;
- г) расходомеры.

41. Связнодисперсные системы обладают:

- а) прочностью;
- б) прочность отсутствует;
- в) течением подобно жидкостям;
- г) отсутствием связи между частицами дисперсной фазы.

42. Упругие свойства тела можно представить с помощью идеальной модели:

- а) Гука;
- б) Ньютона;
- в) Сен-Венана-Кулона;
- г) Максвелла.

43. Вязкие свойства тела можно представить с помощью идеальной модели:

- а) Гука;
- б) Ньютона;
- в) Сен-Венана-Кулона;
- г) Максвелла.

44. По реологическим свойствам все пищевые массы можно разделить на:

- а) свободнодисперсные;
- б) связнодисперсные;
- в) сыпучие и упруго-вязко-пластические;
- г) твердые.

45. К свободнодисперсным системам относятся:

- а) мука;
- б) кофе в зернах;
- в) кофе молотый;
- г)

46. Какой способ борьбы со слеживанием сыпучих пищевых масс является активным:

- а) вибрация и встряхивание;
- б) применение скребков;
- в) аэрирование;
- г) введение добавок (ПАВ).

47. Согласно закону Амонтона сила трения:

- а) пропорциональна силе нормального давления;
- б) равна величине внешнего давления;
- в) равна силе адгезии;
- г) равна силе аутогезии.

48. Величина обратная вязкости:

- а) эластичность;
- б) текучесть;
- в) пластичность;
- г) модуль упругости.

49. При каких условиях идеальные жидкости способны течь (деформироваться):

- а) под действием самых малых внешних нагрузок;
- б) под действием самых больших внешних нагрузок;
- в) под действием самой высокой температуры;
- г) под действием самой низкой температуры.

50. Согласно первой аксиоме реологии при равномерном изотропном сжатии все тела ведут себя одинаково, как _____ тела.

51. В каком состоянии находится тело по модели Максвелла, если время релаксации значительно больше времени действия напряжения:

- а) аморфном;
- б) жидком;
- в) газообразном;
- г) твердом.

52. Текучесть – это:

- а) структура не разрушается, а наблюдается перемещение частиц относительно друг друга;
- б) структура разрушается и наблюдается перемещение частиц относительно друг друга;
- в) структура не разрушается, и частицы находятся в неподвижном состоянии;
- г) вязкость системы наиболее максимальная.

53. Какой из перечисленных студнеобразователей не относится к полисахаридам морских растений:

- а) агар;
- б) пектин;
- в) агароид;
- г) фуцелларан.

54. Водные растворы студнеобразователей относятся к:

- а) лиофильным дисперсным системам;
- б) пористым телам;
- в) аэрозолям;
- г) эмульсиям.

55. При каких условиях получается прочный пектиновый студень:

- а) пектин, сахар, кислота;
- б) пектин, соль-модификатор, сахар;

- в) пектин, вода;
- г) пектин, сахар, вода.

56. При какой температуре уваривают желеино-фруктовые массы, которые при охлаждении переходят в структурированные системы:

- а) 80-90°C;
- б) 115-120°C;
- в) 90-95°C;
- г) 100-110°C.

57. Свойства гелей:

- а) предел текучести равен 0;
- б) отсутствие текучести;
- в) предел текучести не равен 0;
- г) отсутствие тиксотропии.

58. Источник получения гелеобразователя желатиновой ка-меди:

- а) бурые водоросли;
- б) соединительная ткань крупного рогатого скота;
- в) микроорганизмы;
- г) картофель.

59. Основные реологические параметры, характеризующие сыпучие пищевые массы:

- а) коэффициент внутреннего и внешнего трения;
- б) угол наклона поверхности;
- в) аутогезия и адгезия;
- г) прочность на сдвиг и на разрыв.

60. Какой прибор основан на внедрении тела в структурированную систему:

- а) вискозиметр;
- б) ареометр;

- в) пенетрометр;
- г) структуромер.

61. Пластомер позволяет определить:

- а) растяжение образца;
- б) эластическую и пластическую деформацию;
- в) модуль упругости;
- г) вязкость, которая зависит от скорости движения пластины.

62. Что такое структурообразование?

- а) восстановление структуры системы после ее механического разрушения;
- б) потеря агрегативной устойчивости дисперсной системы в результате слипания и слияния частиц;
- в) образование пространственной сетки за счет взаимодействия частиц дисперсной фазы в процессе коагуляции;
- г) самопроизвольный процесс перераспределения молекул вблизи поверхности раздела фаз в дисперсионной системе.

63. Какое уравнение отражает зависимости динамической вязкости от объемной доли дисперсной фазы со сферической формой частиц?

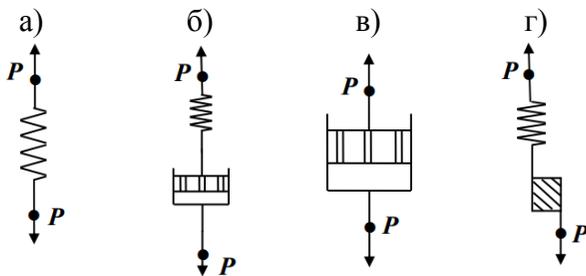
а) $\eta = \eta_0 \cdot (1 + 2,5\varphi + 7,349\varphi^2)$;

б) $\eta = \eta_0 \cdot (1 + \alpha\varphi)$;

в) $\eta = \eta_0 \cdot \left[1 + \left(2,5 + \frac{1}{16} f^2 \right) \cdot \varphi \right]$;

г) $\eta = \eta_0 \cdot (1 + 2,5\varphi)$.

64. Какая схема отвечает поведению идеально вязкого тела Ньютона?



65. Какой закон лежит в основе вискозиметрического метода определения вязкости растворов полимеров?

- а) закон Ньютона;
- б) закон Пуазейля;
- в) первая аксиома реологии;
- г) вторая аксиома реологии.

66. С чем может быть связано несоответствие экспериментально определенной вязкости системы и истинного значения вязкости?

- а) с разрушением структурных связей между отдельными фрагментами макромолекулы;
- б) с несоблюдением режимов проведения эксперимента;
- в) с изменением постоянной вискозиметра с течением времени;
- г) с деформацией и ориентацией молекул, а также межмолекулярным взаимодействием.

67. По какому соотношению определяется величина относительной вязкости?

а) $\eta_{\text{отн}} = 1/\eta$;

б) $\eta_{\text{отн}} = \eta/\eta_0$;

в) $\eta_{\text{отн}} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0}$;

г) $\eta_{\text{отн}} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0 \cdot c}$.

68. В каком порядке проводится измерение времени истечения растворов полимера при определении их вязкости относительным методом?

- а) проводится по мере уменьшения концентрации растворов, но начиная с чистого растворителя;
- б) проводится по мере уменьшения концентрации растворов, опыт с чистым растворителем последний;
- в) проводится по мере увеличения концентрации растворов, но начиная с чистого растворителя;
- г) проводится по мере увеличения концентрации растворов, опыт с чистым растворителем последний.

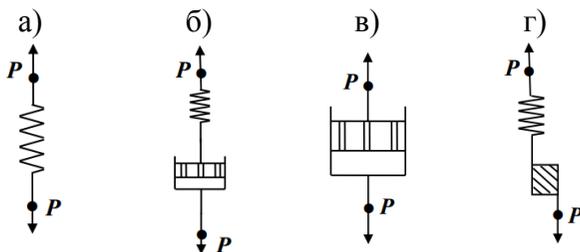
69. Какие изменения происходят в структурированной системе при нагрузке, равной статистическому предельному напряжению сдвига?

- а) структура начинает раскалываться на отдельные участки и наблюдается деформация сдвига, но структура при этом успевает обратимо восстановиться;
- б) происходит медленное вязкопластическое течение (ползучесть), вязкость в системе практически не изменяется и имеет высокие значения;
- в) структура разрушается и не успевает восстановиться;
- г) остатки структуры полностью распадаются до отдельных коллоидных частиц или макромолекул.

70. Что такое деформация?

- а) медленное вязкопластическое течение тела, при котором структура разрушается и не успевает восстановиться;
- б) внутреннее трение между слоями жидкости или газа, движущимися относительно друг друга;
- в) относительное смещение точек системы, при котором не нарушается ее сплошность;
- г) потеря агрегативной устойчивости дисперсной системы в результате слипания и слияния частиц.

71. Какая схема отвечает поведению идеально пластического тела Сен-Венана-Кулона?



72. От каких характеристик зависит постоянная капиллярного вискозиметра?

- а) от радиуса и длины капилляра;
- б) от концентрации раствора полимера;
- в) от разницы давлений на концах капилляра;
- г) от объема жидкости, протекающей через капилляр.

73. Что такое предел текучести?

- а) внешнее напряжение, вызывающее деформацию тела;
- б) напряжение, при котором происходит полный распад структуры до отдельных коллоидных частиц или макромолекул;
- в) напряжение, при котором структура раскалывается на отдельные участки и наблюдается деформация сдвига;
- г) внешнее напряжение (усилие), необходимое для разрушения структуры, одна из составляющих уравнения Бингама.

74. Как рассчитать объемную долю дисперсной фазы?

- а) по отношению объема дисперсной системы к объему дисперсной фазы;
- б) по отношению объема дисперсной фазы к объему дисперсионной системы;
- в) по отношению массы дисперсной фазы к плотности дисперсионной среды;
- г) по отношению массы дисперсной фазы к её плотности.

75. Как изменяется объем исследуемой жидкости, протекающей через капилляр вискозиметра?

- а) остается постоянным;
- б) увеличивается с ростом концентрации;
- в) по-разному изменяется от опыта к опыту;
- г) уменьшается с ростом концентрации.

76. Какие данные необходимы для расчета объемной доли дисперсной фазы?

- а) концентрация раствора полимера и плотность чистого растворителя;
- б) концентрация раствора полимера и время истечения растворителя;
- в) концентрация раствора полимера и плотность дисперсной фазы;
- с) концентрация раствора полимера и его время истечения.

77. Какую структуру имеют системы с пластическими свойствами, в которых частицы дисперсной фазы связаны силами Ван-дер-Ваальса?

- а) кристаллическую структуру;
- б) структуру смешанного типа;
- в) коагуляционную структуру;
- в) конденсационно-кристаллизационную структуру.

78. По какому уравнению определяется величина кинематической вязкости?

- а) $\nu = 1/\eta$;
- б) $\nu = \eta/p$;
- в) $\nu = P/\gamma$;
- г) $\nu = \frac{P}{d\gamma/d\tau}$.

79. За счет чего может изменяться вязкость жидкости в капиллярных вискозиметрах?

- а) внешнего давления;
- б) градиента концентрации;
- в) изменения объема исследуемой жидкости;
- г) гидростатического давления исследуемой жидкости.

80. По какому уравнению рассчитывается объемная доля дисперсной фазы для неводных растворов?

- а) $\varphi = \frac{100\rho_{\text{дф}}}{c_i}$;
- б) $\varphi = \frac{c_i}{100\rho_{\text{дф}}}$;
- в) $\varphi = \frac{c_i V_{\text{дс}} \rho_{\text{дс}}}{100\rho_{\text{дф}}}$;
- г) $\varphi = \frac{c_i \rho_{\text{дс}}}{100\rho_{\text{дф}}}$;

81. Какое явление называется тиксотропией?

- а) возрастание прочности структуры со временем при действии напряжения сдвига;
- б) способность системы к восстановлению структуры после ее механического разрушения
- в) постепенное упрочнение структуры в процессе старения, сопровождающееся ее сжатием и высвобождением части жидкости из структурной сетки;
- г) потеря агрегативной устойчивости дисперсной системы в результате слипания и слияния частиц.

82. Что такое статистическое предельное напряжение сдвига?

- а) это напряжение сдвига, при котором остатки структуры полностью распадаются до отдельных коллоидных частиц или макромолекул;
- б) это напряжение сдвига, при котором происходит медленное вязкопластическое течение (ползучесть), вязкость в системе практически не изменяется и имеет высокие значения;
- в) это напряжение сдвига, при котором структура разрушается и не успевает восстановиться;

г) это напряжение сдвига, при котором структура начинает раскалываться на отдельные участки и наблюдается деформация сдвига, но структура при этом успевает обратно восстановиться.

83. Какие системы называют студнями?

- а) любую систему, имеющую коагуляционную структуру;
- б) любую систему, имеющую структуру смешанного типа;
- в) гели, образованные из растворов высокомолекулярных соединений;
- г) образованный из золя осадок, который имеет тиксотропную структуру.

84. В чем проявляется явление синерезиса?

- а) в потере агрегативной устойчивости дисперсной системы в результате слипания и слияния частиц;
- б) в способности системы к восстановлению структуры после ее механического разрушения;
- в) в возрастании прочности структуры со временем при действии напряжения сдвига;
- г) в постепенном упрочнении структуры, сопровождающемся ее сжатием и высвобождением части жидкости из структурной сетки, в результате чего система разделяется на две фазы.

85. Чем отличается вискозиметр Убеллоде от капиллярного вискозиметра ВПЖ?

- а) жидкость в вискозиметре Убеллоде течет через капилляр только за счет внешнего давления;
- б) жидкость в вискозиметре Убеллоде течет через капилляр за счет внешнего и гидростатического давления;
- в) жидкость в вискозиметре Убеллоде течет через капилляр только за счет гидростатического давления;
- г) жидкость в вискозиметре Убеллоде течет только за счет своего собственного веса.

86. Какие данные свидетельствуют о герметичности системы при исследовании зависимости вязкости от давления?

- а) показания манометра с течением времени не изменяются;
- б) показания манометра с течением времени незначительно возрастают;
- в) показания манометра с течением времени незначительно уменьшаются;
- г) без привлечения дополнительных данных нельзя ответить на вопрос.

87. Как называется способность системы к восстановлению структуры после ее механического разрушения?

- а) структурообразованием;
- б) реопексией;
- в) синерезисом;
- г) тиксотропией.

88. Какие вискозиметры используются для определения вязкости высоковязких жидкостей и дисперсных систем?

- а) ротационные;
- б) капиллярные;
- в) шариковые;
- г) ультразвуковые.

89. Как изменяется время истечения растворов дисперсных систем с ростом температуры?

- а) время истечения от температуры не зависит;
- б) время истечения возрастает с ростом температуры;
- в) время истечения уменьшается с ростом температуры;
- г) на этот вопрос нельзя ответить без проведения исследований.

90. С чем может быть связано падение скорости вращения ротора при определении вязкости в ротационном вискозиметре?

- а) с изменением величины внешнего поля;

- б) действием сил трения исследуемой жидкости о ротор;
- в) с понижением температуры;
- г) с увеличением интенсивности взаимодействия исследуемой и стандартной жидкостей.

91. Как называется явление возрастания прочности структуры со временем при действии на систему напряжения сдвига?

- а) старением системы;
- б) синерезисом;
- в) реопексией;
- г) коагуляцией.

92. Каким образом определяется вязкость полимеров с применением шариковых вискозиметров?

- а) вязкость определяется по времени подъема шарика к поверхности стандартной жидкости;
- б) вязкость определяется по степени деформации стандартной жидкости;
- в) вязкость определяется по скорости прохождения шарика или по скорости деформации;
- г) вязкость определяется соотношением времени движения шарика в стандартном и исследуемом растворе.

93. Какое соотношение отвечает уравнению Пуазейля?

- а) $U = \frac{\pi r^4}{8\eta L}$;
- б) $U = \frac{8\pi L^4}{\eta r} \Delta P$;
- в) $\Delta P = \frac{\pi r^4}{8\eta L} U$;
- г) $U = \frac{8\eta L}{\pi r^4} \Delta P$.

94. В чем проявляется старение коагуляционных систем во времени?

- а) в постепенном упрочнении структуры, ее сжатии и высвобождении части жидкости из структурной сетки;

- б) в постепенном ослаблении структуры за счет проникновения в нее части молекул растворителя;
- в) в потере агрегативной устойчивости дисперсной системы в результате слипания и слияния частиц;
- г) в образовании пространственной сетки за счет взаимодействия частиц дисперсной фазы в процессе коагуляции.

95. Можно утверждать, что при остаточной деформации:

- а) изменения в системе остаются и после снятия нагрузки;
- б) структура тела полностью восстанавливается после снятия нагрузки;
- в) изменения в системе обратимы;
- г) наблюдается относительное смещение точек системы, при котором не нарушается ее сплошность.

96. Что такое постоянная капиллярного вискозиметра?

- а) величина, характеризующая свойства материала, из которого изготовлен вискозиметр;
- б) величина, определяемая экспериментально по опыту с чистым растворителем, вязкость которого известна;
- в) величина, определяемая по опыту с раствором полимера, вязкость которого максимальна;
- г) величина, характеризующая объем раствора, протекающего по капилляру вискозиметра.

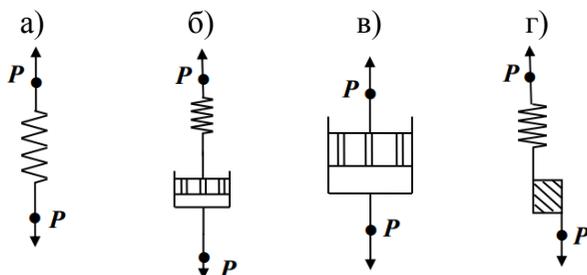
97. Согласно первой аксиоме реологии:

- а) при всестороннем равномерном сжатии все материальные системы ведут себя как идеальные упругие тела;
- б) любая материальная система обладает всеми реологическими свойствами, которые проявляются при сдвиговой деформации;
- в) изотропное сжатие позволяет выявить различия в структуре тел;
- г) все положения верны.

98. Какие изменения происходят в структурированной системе при нагрузке, равной динамическому предельному напряжению сдвига?

- а) происходит медленное вязкопластическое течение (ползучесть), вязкость в системе практически не изменяется и имеет высокие значения;
- б) структура начинает раскалываться на отдельные участки, и наблюдается деформация сдвига, но структура при этом успевает обратимо восстановиться;
- в) структура разрушается и не успевает восстановиться;
- г) остатки структуры полностью распадаются до отдельных коллоидных частиц или макромолекул.

99. Какая схема отвечает поведению вязкопластического тела Бингама?



100. С какой целью при вискозиметрическом определении вязкости проводится опыт с чистым растворителем?

- а) для определения постоянной вискозиметра;
- б) для дополнительной промывки вискозиметра;
- в) для удаления пузырьков воздуха из капилляра вискозиметра;
- г) для определения вязкости чистого растворителя.

101. Чем отличается капиллярный вискозиметр ВПЖ от вискозиметра Убеллоде?

- а) жидкость в вискозиметре ВПЖ течет через капилляр только за счет внешнего давления;
- б) жидкость в вискозиметре ВПЖ течет через капилляр как за счет внешнего, так и гидростатического давления;
- в) жидкость в вискозиметре ВПЖ течет через капилляр только за счет гидростатического давления;
- г) жидкость в вискозиметре ВПЖ течет только за счет своего собственного веса.

102. Почему значения вязкости, определенные при разных температурах в ходе нагрева системы, не совпадают с таковыми, полученными при охлаждении системы?

- а) за счет ослабления межмолекулярного взаимодействия вследствие теплового расширения жидкостей и увеличения энергии теплового движения при нагревании;
- б) за счет возникновения силы внутреннего трения, вследствие межмолекулярного взаимодействия близко расположенных молекул;
- в) поскольку при охлаждении системы образуется плотный осадок, и структурирование системы не происходит;
- г) поскольку скорость разрушения структуры при нагревании и скорость ее формирования при охлаждении системы различаются.

103. Какие изменения наблюдаются при упругой деформации?

- а) наблюдается относительное смещение точек системы, при котором не нарушается ее сплошность;
- б) структура тела полностью восстанавливается после снятия нагрузки;
- в) эта деформация обратима;
- г) изменения в системе остаются и после снятия нагрузки.

104. Что такое структурная вязкость?

- а) это вязкость, которая характеризует добавочное сопротивление течению структурированной жидкости со стороны сеткообразных структур и зависит от напряжения сдвига;
- б) это величина, определяемая по соотношению η/ρ , которая обычно используется при расчетах гидродинамических критериев течения жидкообразных систем;
- в) это не зависящая от напряжения сдвига минимальная вязкость структурированной жидкости при предельном разрушении структуры;
- г) это максимальная вязкость, не зависящая от напряжения сдвига, которой обладает структурированная жидкость при отсутствии разрушения структуры.

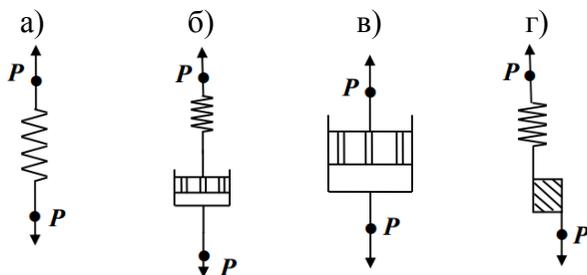
105. Можно ли при определении вязкости с помощью капиллярного вискозиметра исключить из эксперимента опыт с чистым растворителем?

- а) нет, так как вязкость растворителя неизвестна;
- б) да, если известен объем жидкости, протекающей через капилляр;
- в) да, если известна величина постоянной вискозиметра;
- г) нет, так как для определения постоянной вискозиметра необходима вязкость чистого растворителя.

106. Согласно второй аксиоме реологии:

- а) при всестороннем равномерном сжатии все материальные системы ведут себя как идеальные упругие тела;
- б) любая материальная система обладает всеми реологическими свойствами, которые проявляются при сдвиговой деформации;
- в) изотропное сжатие позволяет выявить различия в структуре тел;
- г) все положения верны.

107. Какая схема отвечает поведению идеального тела Гука?



108. От каких характеристик зависит постоянная капиллярного вискозиметра?

- а) от радиуса и длины капилляра;
- б) от концентрации раствора полимера;
- в) от разницы давлений на концах капилляра;
- г) от объема жидкости, протекающей через капилляр.

109. Как изменяется вязкость систем при увеличении температуры?

- а) вследствие теплового расширения жидкости ослабевает межмолекулярное взаимодействие, и вязкость дисперсной системы уменьшается;
- б) вследствие увеличения энергии теплового движения частиц снижается внутреннее трение, и вязкость дисперсной системы уменьшается;
- в) интенсификация теплового движения макромолекул с длинными неразветвленными цепями препятствует их ориентации в потоке, и вязкость растворов полимеров может возрастать;
- г) все варианты верны.

110. В чем принципиальное отличие шариковых вискозиметров от капиллярных вискозиметров типа ВПЖ?

- а) вязкость в шариковых вискозиметрах определяется по времени подъема шарика к поверхности эталонной жидкости;

- б) вязкость в шариковых вискозиметрах определяется по скорости прохождения шарика или по скорости деформации;
- в) вязкость в шариковых вискозиметрах определяется по времени истечения растворов;
- г) вязкость в шариковых вискозиметрах определяется по времени истечения эталонной жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1979. 384 с.
2. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов: справочник / под ред. А.В. Горбатого. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 296 с.
3. Рогов И.А., Горбатов А.В., Свинцов В.Я. Дисперсионные системы мясных и молочных продуктов. М.: Агропромиздат, 1990. 320 с.
4. Косой В.Д. Совершенствование процесса производства вареных колбас. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 272 с.
5. Реометрия пищевого сырья и продуктов: справочник / под ред. Ю.А. Мачихина. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.
6. Технологические трубопроводы мясокомбинатов / под ред. А.В. Горбатого. М.: Агропромиздат, 1989. 304 с.
7. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 216 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Практическая работа № 1: Определение предельного напряжения сдвига пластично-вязких продуктов на коническом пластометре КП-3	4
Практическая работа № 2: Определение сдвиговых свойств мясного фарша на ротационном вискозиметре РВ-8	14
Практическая работа № 3: Определение усилия среза для целых тканей мяса.....	26
Практическая работа № 4: Определение вязкости жидкообразных продуктов.....	33
Практическая работа № 5: Определение вязкости жидкости по методу Стокса	39
Практическая работа № 6: Изучение упругих свойств костной ткани	45
Практическая работа № 7: Определение вязкости жидкости вискозиметрами.....	52
Практическая работа № 8: Определение поверхностного натяжения жидкостей	59
Практическая работа № 9: Изучение механических моделей тканей	68
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ	77
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	106

Учебное издание

Никитин Виктор Васильевич

ПРАКТИКУМ ПО РЕОЛОГИИ

*Методическое пособие для студентов
института ветеринарной медицины
и биотехнологии направления подготовки:*

19.03.03 Продукты питания животного происхождения

Редактор Осипова Е.Н.

Компьютерный набор и верстка Никитина В.В.

Подписано в печать 14.03.2018 г. Формат 60 x 84 1/16.

Бумага печатная. Усл. п. л. 6,27. Тираж 100 экз. Изд. №5564

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино.