

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СЫРЬЯ И ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

Методические указания к лабораторному практикуму

Министерство образования и науки Российской Федерации

Ивановский государственный химико-технологический университет

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СЫРЬЯ И ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

Методические указания к лабораторному практикуму

Составители: Кокина Н.Р.
Сиденко Л.Н.

Иваново 2012

Составители: Н. Р. Кокина, Л. Н. Сиденко

УДК [621.1.016+536.2]

Физико-механические свойства сырья и готовой продукции: метод. указания/ сост. Н.Р. Кокина; Л.Н. Сиденко; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2012. – 48с.

В методических указаниях приведены стандартные методы исследования, принятые в РФ, а также международные стандартные методы, в т.ч. методы оценки свойств зерна, муки, хлеба, макаронных изделий, крупы и определения их состава, определения физико-механических характеристик пищевых материалов, методики получения реологических и адгезионных характеристик пищевых продуктов.

Лабораторные работы включают цель, общие положения, порядок проведения работы, включающий аппаратуру, материалы и реактивы, схемы устройства необходимых установок, порядок проведения анализа, порядок оформления отчета и вопросы для самопроверки.

Методические указания предназначены для студентов направления 151000 «Технологические машины и оборудование», профиль подготовки «Машины и аппараты пищевых производств».

Рецензент

доктор химических наук, профессор С.В. Макаров
(Ивановский государственный химико-технологический университет)

Подписано в печать 24.01.2012. Формат 60x84 1/16. Бумага писчая.

Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд.л. 3,10. Тираж 30экз. Заказ

ФГБОУ ВПО Ивановский государственный химико-технологический университет.

Отпечатано на полиграфическом оборудовании кафедры экономики и финансов

ФГБОУ ВПО " ИГХТУ "

15300, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса,7

ВВЕДЕНИЕ

Многие технологические процессы пищевой промышленности связаны с механическим воздействием на продукт, находящийся в вязкопластичном состоянии. В хлебопекарном производстве - это замес теста, тестоделение, формование тестовых заготовок. При производстве кондитерских изделий к таким процессам относятся смешивание, пластикация массы и формование отливкой, выпрессовыванием, резкой и т.д. Большое значение имеет также межоперационное транспортирование полуфабриката по трубам и на различных конвейерах.

Во всех перечисленных случаях выбор технологического оборудования, определение режима его работы обуславливается физико-механическими и, в первую очередь, реологическими свойствами перерабатываемых или транспортируемых пищевых масс, полуфабрикатов и готовых изделий. При создании совершенных технологических процессов, позволяющих получить готовый продукт высокого качества, необходимо практически в каждом конкретном случае изучать целый комплекс физико-механических свойств. Эти свойства характеризуют поведение пищевых масс под действием механических нагрузок со стороны рабочих органов машин.

Большое значение в пищевой промышленности имеет объективная оценка качества пищевых продуктов и полуфабрикатов. В связи с этим создание и применение методов и приборов для объективного контроля качества обеспечивает не только замену органолептического контроля, но и создает предпосылки для разработки автоматических систем управления технологическими процессами пищевых производств.

В настоящее время в пищевой промышленности имеется довольно большой и разнообразный арсенал технических средств для определения и исследования физико-механических свойств пищевых материалов на различной стадии приготовления: от сырья до готового продукта. Для изучения этих свойств служат методы физико-химической механики пищевых продуктов.

Правила и приемы безопасной работы в лаборатории

1. В помещении лаборатории необходимо работать только в халате и строго соблюдать порядок и чистоту.

2. Рабочее место, закрепленное за студентом, не должно содержать лишних предметов, мешающих работе.

3. До начала работы студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности в лаборатории теххимического контроля и расписаться в контрольном листе инструктажа.

4. Общие требования безопасности в лаборатории во время занятий со студентами:

- студенты при работе с химическими веществами должны иметь халаты;

- приступая к работе, студент должен уяснить методику работы, правила ее безопасного выполнения;
- проверить правильность сборки или установки;
- проверить соответствие взятых веществ с перечнем веществ, приведенным в описании работы.

5. Пролитые на пол или стол химические вещества учащиеся обезвреживают и удаляют под руководством лаборанта (преподавателя) в соответствии с имеющимися правилами.

6. Для предупреждения ожогов при работе с кислотами и щелочами необходимо пользоваться спецодеждой, очками и другими средствами индивидуальной защиты:

- наливать концентрированную азотную, серную и соляную кислоты нужно только при включенной вентиляции в вытяжном шкафу;
- для приготовления растворов соляной, серной и других кислот необходимо приливать в них воду тонкой струей при непрерывном перемешивании;
- растворять твердые щелочи следует путем медленного прибавления их небольшими кусочками к воде, кусочки брать только щипцами;
- на рабочем месте необходимо иметь нейтрализующие вещества.

7. При работе с электрооборудованием необходимо соблюдать следующие меры безопасности:

- все металлические части, которые могут оказаться под током (напряжением), доступные для прикосновения, должны быть надежно заземлены;
- не оставлять во время обслуживания подключенные приборы без надзора;
- у каждого пульта, агрегата, распределительного щита и т.д., находящегося под напряжением более 60В, должны быть резиновые коврики;
- **КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И МОКРЫХ ПРЕДМЕТОВ.**

Лабораторная работа №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВИСКОЗИМЕТРЕ

1. Цель работы

Научиться определять вязкость на различных видов вискозиметрах

2. Общие положения

Кривые течения пищевой массы, т.е. зависимости скорости сдвига от напряжения сдвига, могут быть получены не только на ротационном, но и капиллярном вискозиметре. Принцип действия капиллярного вискозиметра

основан на продавливании массы через трубку (капилляр) определённых размеров. При этом фиксируют расход массы (скорость течения) и перепад давления на длине капилляра.

В автоматическом капиллярном вискозиметре АКВ-2 с целью получения за один опыт зависимости вязкости от скорости сдвига и перепада давления применена тарированная пружина, создающая в процессе испытаний давление на массу и тем самым обеспечивающая переменную скорость истечения её из капилляра. По характеристике пружины, зная величину сжатия пружины, можно в любой момент времени определить давление, под действием которого исследуемая масса вытекает из капилляра.

При работе на капиллярных вискозиметрах критерий Рейнольдса не должен превышать 150, при движении шарика в жидкости ламинарный режим наблюдается при числовых значениях критерия Рейнольдса меньше 0,2; ориентировочно при работе на ротационных вискозиметрах: если вращается внутренний цилиндр, то комплекс Ω_r/ν не должен превышать $70 \cdot 10^4 \text{ м}^{-2}$; если вращается наружный цилиндр то комплекс Ω_b/ν не должен превышать значения $0,19/[R_n(R_n - R_b)]$.

Ротационные вискозиметры

Ротационные вискозиметры обладают рядом преимуществ по сравнению с другими. Наряду со многими преимуществами ротационных вискозиметров по сравнению с другими типами возникают затруднения, которые связаны с тепловыделением в слое испытуемой массы, находящейся в узком кольцевом зазоре. Поэтому необходимо работать в условиях, при которых выделение теплоты заведомо ничтожно, либо нужно пользоваться методами пересчета экспериментальных данных с учетом тепловыделений.

Принципиальные схемы ротационных вискозиметров показаны на рис.1. Они могут иметь одну геометрическую форму: коаксиальные цилиндры (рис. 1, а), сферы или полусферы (рис.1,б), два конуса (рис.1,б), две плоскопараллельные пластины (рис.1, г), два плоских кольца (рис.1, д) или два конических кольца (рис.1, к). Рабочий зазор или рабочий орган может быть комбинированным, т. е. состоять из двух различных поверхностей: цилиндр - диск (рис.1,е), цилиндр - полусфера (рис. 1, ж), конус - диск (рис. 1, з), цилиндр - конус (рис.1, и), цилиндр – конус - диск (рис.1, л) и др. Между рабочими поверхностями находится исследуемый продукт, сила сопротивления внутри которого при вращении одной из поверхностей измеряется. Момент сопротивления можно измерять двумя способами: на вращающейся поверхности, тогда вторая поверхность закрепляется жестко, и, вращая одну поверхность, тогда другая соединяется с динамометром.

Наибольшее распространение в пищевой промышленности получили коаксиально-цилиндрические комбинированные поверхности для измерения характеристик вязких и пластично-вязких продуктов (см. рис.1, е, ж, л).

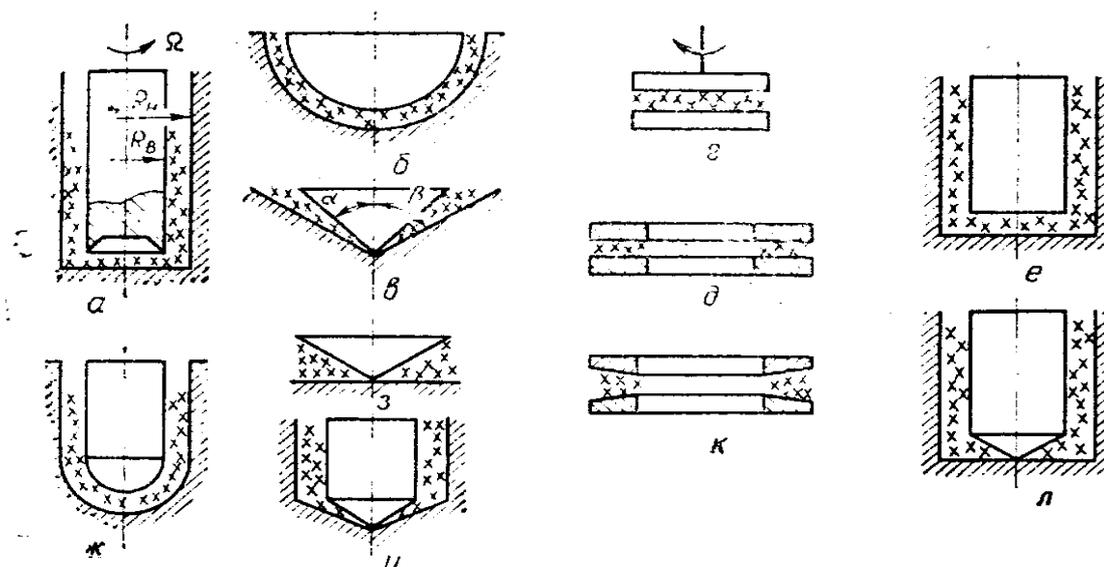


Рис. 1. Принципиальные схемы ротационных вискозиметров

Известны два основных варианта прибора с коаксиальными цилиндрами. В первом испытуемое вещество помещается в цилиндр, приводимый в равномерное вращательное движение. Подвешенный на упругой нити второй цилиндр находится коаксиально с первым. Вязкость вычисляется по величине скорости вращения первого цилиндра и по углу поворота второго цилиндра от его первоначального положения. Этот метод применяется для исследования жидкостей и газов.

Второй вариант: внешний цилиндр неподвижен, внутренний крепится на оси, вмонтированной для уменьшения трения в шариковых подшипниках, и приводится во вращение с помощью падающего груза. На ротационных приборах экспериментально получают зависимости крутящих моментов от угловой скорости вращения измерительной поверхности.

При исследовании пищевых масс часто применяют ротационные вискозиметры РВ-4, РВ-7, РВ-8, разработанные М. П. Воларовичем (рис.2).

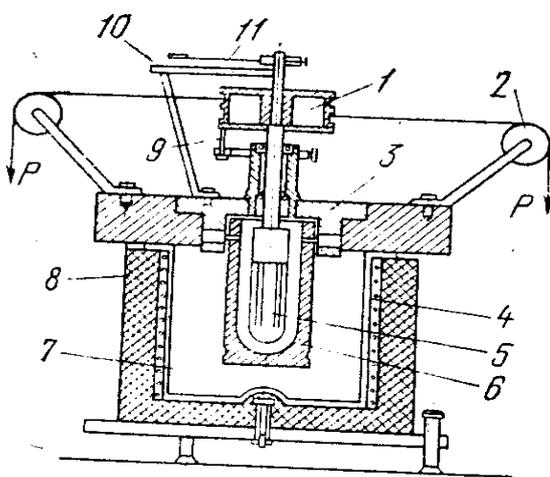


Рис. 2. Вискозиметр РВ-8 системы М. П. Воларовича:

- 1 - шкив; 2 - блоки;
- 3 - установочная гайка;
- 4 - стакан для термостатирующей жидкости; 5 - ротор; 6 - стакан;
- 7 - спираль электронагрева;
- 8 - изоляция; 9 - стопор;
- 10 - шкала; 11 - стрелка.

Для случая, когда сдвиг распространяется на всю толщину исследуемой массы, заключенной между двумя цилиндрами, М.П. Воларовичем предложены формулы для определения квазиньютоновской (эффективной) вязкости $\eta_{эф}$ (в Па·с) и предельного напряжения сдвига θ_0 (в Па) по модели Шведова - Бингама (1-25):

$$\eta_{эф} = KM/N, \theta_0 = K_0M_0, \quad (1)$$

где K и K_0 - константы прибора, зависящие от его геометрических размеров и высоты, на которую загружается исследуемый продукт, $m^{-1}c^{-2}$, $m^{-1}c^{-2}$; M - масса вращающихся ротор грузов, кг (за вычетом величины, компенсирующей трение в подшипниках); N - частота вращения ротора, об/с, M_0 - масса грузов, при которой начинается сдвиг, кг.

Постоянные в приведенных формулах определяют по зависимостям, в которые входит поправка на сферический торец ротора:

$$K = \frac{gR_{шк}}{8\pi^2 \left(\frac{R_n^2 R_г^2}{R_n^2 - R_г^2} h + \frac{R_n^3 R_г^3}{R_n^3 - R_г^3} \right)}; \quad (2)$$

$$K_0 = \frac{gR_{шк}}{2\pi R_г^2 (h + \pi R_г / 4)}, \quad (2a)$$

где $R_{шк}$ радиус шкива, м ($R_{шк}=0,02235$ м); R_n —внутренний радиус стакана, м ($R_n=0,019$ м); $R_г$ - радиус ротора, м ($R_г=0,01605$ м); h - глубина погружения ротора в продукт, м; g - ускорение свободного падения, m/c^2 .

В скобках даны размеры деталей РВ-8; для различных выпусков прибора возможны некоторые изменения размеров.

Для комбинированных измерительных поверхностей, например для полусферо-цилиндрической, вязкостную константу R можно считать по цилиндрической поверхности:

$$K = \frac{gR_{шк}}{8\pi^2 \frac{R_n^2 R_г^2}{R_n^2 - R_г^2} h_{np}}, \quad (3)$$

$$\text{где } h_{np} = h + h_{экр}; h_{экр} = (R_г + R_n)/3. \quad (3a)$$

При соотношении радиусов 0,7 и более общая ошибка при определении константы по приближенному значению эквивалентной длины не превышает 0,5%.

Для исследования структурно-механических свойств при повышенных давлениях в МТИММПе на базе вискозиметра РВ-4 (рис. 3, 1, 2, 3) сконструирован новый измерительный узел (4 - 10). Размеры вискозиметра: диаметр ротора 32мм, внутренний диаметр стакана 38мм.

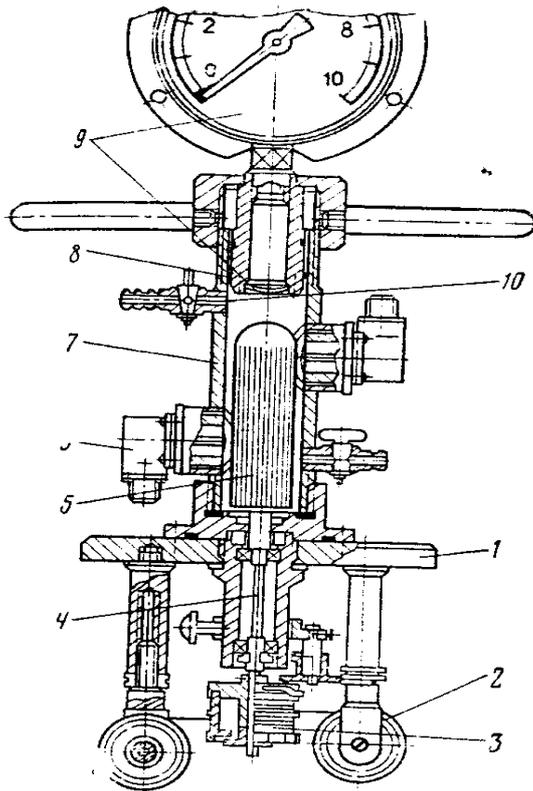


Рис. 3. Ротационный вискозиметр МТИММПа для измерения реологических свойств при повышенном давлении:

- 1 - станина;
- 2 - шкивы;
- 3 - барабан;
- 4 - хвостовик ротора;
- 5 - ротор;
- 6 - тензодатчики давления;
- 7 - неподвижный стакан;
- 8 - поршень;
- 9 - мембрана с манометром;
- 10 - контрольный краник

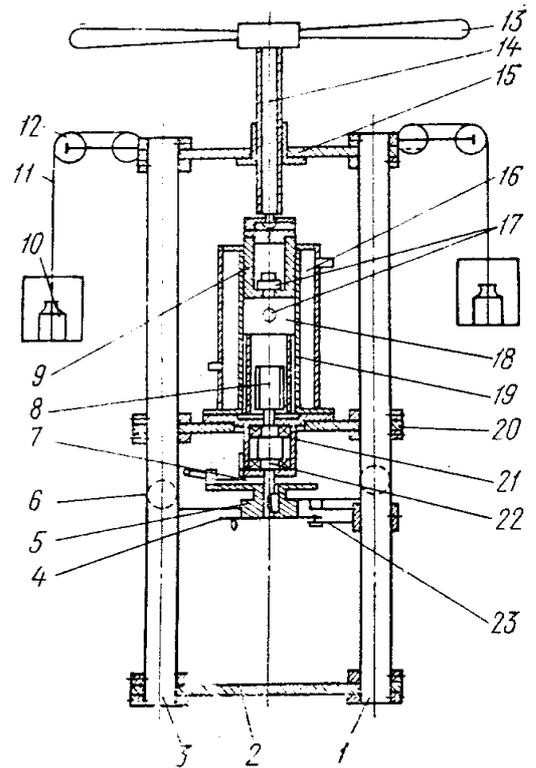


Рис. 4. Вискозиметр МТИПП РМ-1:
 1 - стойка; 2 - плита; 3 - стойка;
 4 - перфорированный диск;
 5 - шкив; 6 - блок; 7 - фиксатор;
 8 - ротор; 9 - поршень; 10 - груз;
 11 - нить; 12 - блок; 13 - рукоятка;
 14 - винт; 15 - плита;
 16 - термостатирующая рубашка;
 17 - тензометрические датчики
 давления;
 18 - рабочая камера;
 19 - рифленая втулка;
 20 - основание; 21 - опорный узел;
 22 - приводной валик;
 23 - кронштейн

Новый измерительный узел отличается от РВ-4 следующим. Стакан (статор) неподвижен, вращается рифленый ротор, который выточен вместе с хвостовиком из одной заготовки.

Давление в стакане создается за счет ввинчивания поршня, который снабжен упругой мембраной и манометром для измерения давления. В рабочем зазоре давление измеряется тензометрическими датчиками. Для измерения при высокой частоте вращения прибор может подключаться к гидроприводу.

В МТИППе создан ротационный вискозиметр РМ-1 (рис. 4) На основании установлены рабочая камера и опорный узел. Внутри камеры запрессована рифленая втулка 19 ($R_n = 22 \cdot 10^{-3} \text{ м}$), наличие которой устраняет возможность проскальзывания продукта. Сменный ротор 8 [$R_g = (10; 12,5; 15; 18) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $h = 0,05 \text{ м}$] установлен на приводном валике. Давление в исследуемой массе создается посредством поршня с уплотнительными кольцами. Регистрация избыточного давления осуществляется тензометрическими датчиками. Угол поворота ротора измеряется при помощи фотоэлектрического датчика.

Угловая скорость ротора регистрируется самопишущим прибором. Обработка экспериментальных данных проводится по описанной выше методике (поправка вводится на дисковый торец).

Техническая характеристика: пределы измерения - эффективная вязкость $10^2 - 10^7 \text{ Па}\cdot\text{с}$; напряжение сдвига $10 - 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$; скорость сдвига $0 - 100 \text{ с}^{-1}$, избыточное давление $0 - 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$, габаритные размеры, м: $0,53 \times 0,255 \times 0,69$.

Для исследования реологических свойств маловязких пищевых материалов под давлением или вакуумом в МТИППе создан ротационный вискозиметр РМ-2 (рис. 5), который состоит из наружного неподвижного цилиндра ($R_n = 0,03 \text{ м}$) с рубашкой для поддержания необходимой температуры и внутреннего цилиндра (ротора) ($R_g = 0,025 \text{ м}$, $h = 0,09 \text{ м}$), связанного с валом измерительного сельсина.

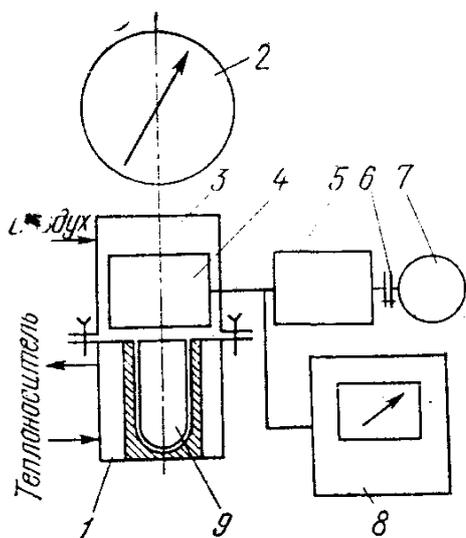


Рис. 5. Вискозиметр МТИППа РМ-2:

- 1 - наружный цилиндр;
- 2 - манометр;
- 3 - герметичный кожух;
- 4 - измерительный сельсин;
- 5 - силовой сельсин;
- 6 - муфта;
- 7 - двигатель;
- 8 - измерительный блок;
- 9 - внутренний цилиндр

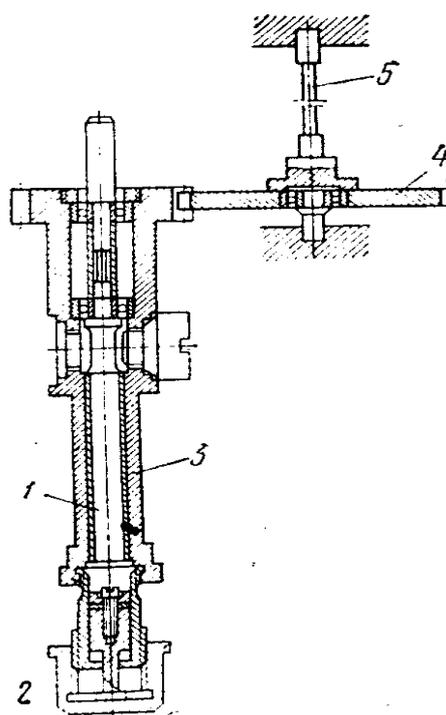


Рис. 6. Рабочая головка вискозиметра В. П Павлова:

- 1 - внутренний ротор;
- 2 - ручной пресс;
- 3 - внешний цилиндр;
- 4 - шестерня;
- 5 - торсионный подвес

Вращение измерительного сельсина происходит благодаря электромагнитной связи с силовым сельсином, жестко через муфту связанным с двигателем. Напряжение, возникающее при торможении измерительного сельсина, пропорционально углу рассогласования сельсинов, т.е. пропорционально моменту сопротивления, приложенному к внутреннему цилиндру от исследуемого материала, находящегося в зазоре между цилиндрами 1 и 9. Сигнал рассогласования поступает в измерительный блок 8. Измерительный сельсин крепится в кожухе, который герметично соединен с наружным цилиндром. В герметическую камеру поступает сжатый воздух или газ под давлением, которое контролируется манометром. Если подключить камеру к вакуум-насосу, то можно создавать в ней разрежение.

Техническая характеристика: пределы измерения — эффективная вязкость $10 - 2 \cdot 10^2 \text{ Па} \cdot \text{с}$; напряжение сдвига $5 - 50 \text{ Па}$; скорость сдвига $0 - 100 \text{ с}^{-1}$; габаритные размеры, м: $0,25 \times 0,4 \times 0,6$.

На рис. 6 представлена схема вискозиметра системы В.П. Павлова. Вискозиметр имеет постоянную скорость вращения, ступенчато изменяемую при помощи коробки передач. Вращение от синхронного электродвигателя передается внутреннему ротору вискозиметра. В зазор шириной $0,25 \text{ мм}$, образованный ротором и внешним цилиндром, подается при помощи ручного пресса исследуемая масса. Цилиндр 3 посредством шестерни 4 связан с торсионным проволочным подвесом 5; напряжение, создаваемое крутящим моментом, уравнивает напряжение, возникающее в деформируемом материале. Скорость сдвига может изменяться от $0,4$ до 3000 с^{-1} .

Кроме отечественных приборов в пищевой промышленности для исследовательских целей все более широко применяют ротационные вискозиметры производства Германии. Одной из моделей является «Реотест КУ», выпускавшийся фирмой «Прюфгеретевеке». Схема этого ротационного прибора представлена на рис. 7.

Внутри станины прибора установлен синхронный электродвигатель, соединенный с двенадцатиступенчатой коробкой передач, которая позволяет изменять частоту вращения внутреннего цилиндра от 0 до 1500 об/мин . Крутящий момент от коробки передач передается ведущему валу 6 и далее через спиральную пружину - ведомому валу 4, соединенному с внутренним цилиндром 2 муфтой. Отсчет величины крутящего момента производится по шкале прибора 8, скорости вращения - по указателю 9.

Показания прибора 8 прямо пропорциональны измеряемому моменту, а также напряжению сдвига и вязкости исследуемого материала. Частота вращения синхронного электродвигателя зависит от напряжения тока в сети и ее нагрузки.

Техническая характеристика: пределы измерения - вязкость $10^{-2} - 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}$; скорость деформации $(0,1667 - 1,458) \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$; напряжение сдвига $12 - 3 \cdot 10^3 \text{ Па}$; температура $-30 - +150^\circ \text{C}$; погрешность измерений $\pm 3\%$ (для ньютоновских жидкостей).

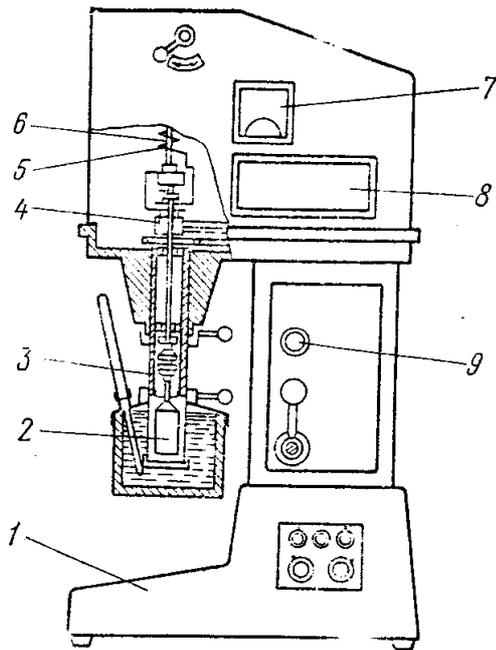


Рис. 7. Вискозиметр «Реотест КУ»:
 1 - станина; 2 - внутренний цилиндр;
 3 - наружный цилиндр;
 4 - ведомый вал;
 5 - спиральная пружина;
 6 - ведущий вал;
 7 - измеритель частоты;
 8 - измеритель крутящего момента;
 9 - указатель скорости вращения

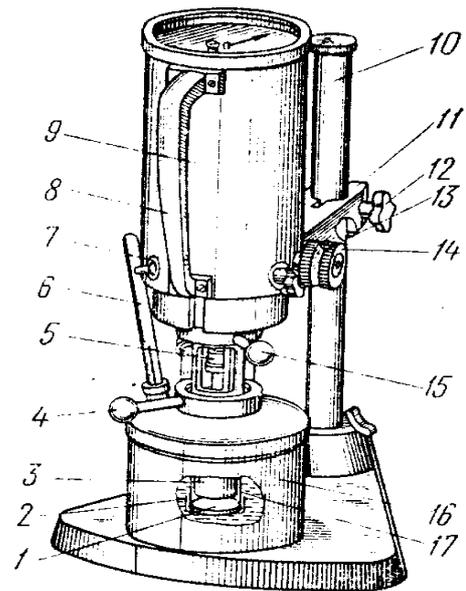


Рис. 8. Вискозиметр типа КХ:
 1 - крышка; 2 - запорная гайка;
 3 - вращающийся ротор; 4 – рычаг;
 5 – муфта; 6 - термометр;
 7 - выключатель; 8 - рукоятка;
 9 - измерительный прибор;
 10 – штатив; 11 - кронштейн;
 12 - зажимной винт; 13 - упор;
 14 - рукоятка изменения скорости вращения;
 15 - зажимной рычаг;
 16 - термостатирующий сосуд;
 17 - неподвижный цилиндр

Эффективную вязкость определяют как отношение напряжения к скорости деформации.

Для использования принятой в отечественной литературе методики обобщения данных ротационной вискозиметрии прибор следует градуировать по крутящему моменту, который легко может быть приложен к ротору с помощью падающих грузов.

Эта же фирма выпускает ротационный вискозиметр типа КХ (рис. 8). Вискозиметр состоит из измерительного прибора, измерительной головки с вращающимся ротором и термостатирующего сосуда. Рукоятка 14 служит для установки требуемой частоты вращения ротора. Изменение скорости может производиться как при остановке, так и во время работы вискозиметра. Температура контролируется по термометру.

Для расширения диапазона измерения вязкости для вискозиметра КХ фирма поставляет три измерительные системы, состоящие из двух

измерительных цилиндров, отличающихся размерами радиусов и длин цилиндров. Кроме измерения с взятием пробы, вискозиметр КХ может применяться без термостатирующего сосуда, крышки и запорной гайки, т.е. для измерения вязкости погружением. Описанный вискозиметр может применяться и при свободном погружении ротора непосредственно в сосуд с измеряемым веществом без неподвижного цилиндра.

Вычисление результатов измерений производится по методике, аналогичной описанной выше для вискозиметра «Реотест».

Техническая характеристика: пределы измерения - вязкость от 10^{-2} до 420 Па·с (включая применение свободно вращающегося ротора); напряжение 5,0 - 1500 Па; скорость сдвига 5 - 492с^{-1} ; частота вращения ротора 16, 40, 80 и 160 об/мин; температура от -30 до +120°C, погрешность (для ньютоновской жидкости) - измерительные устройства N и M: $\pm 3\%$; H: $\pm 5\%$; габаритные размеры со штативом, м: 0,25x0,28x0,44.

Вискозиметры капиллярные и с падающим шариком

Принципиальные схемы капиллярных вискозиметров для ньютоновских и неньютоновских продуктов показаны на рис. 9. Общим для всех приборов этого типа является наличие капилляра, устройства для измерения расхода или объема жидкости и системы, обеспечивающей создание гидростатического давления. В качестве капилляра может быть использована трубка диаметром от долей миллиметра до 2 - 3 мм для измерения вязкости ньютоновских и маловязких неньютоновских жидкостей. Получаемые результаты, как правило, инвариантны, т.е. не зависят от диаметра трубки. Для неньютоновских жидкостей с более высокой вязкостью и пластично-вязких систем диаметр капилляра может достигать нескольких десятков миллиметров, а результаты измерений часто зависят от диаметра, т.е. неинвариантны. Диаметр капилляра входит в теоретически полученные формулы для соответствующих моделей тел.

Наиболее простые, традиционные и вместе с тем универсальные капиллярные вискозиметры Оствальда (рис. 9, а) и Уббелодде (рис. 9, б) имеют капилляр и два полых шарика для жидкости. Движущая сила процесса истечения - перепад давлений - в вискозиметре Оствальда обусловлена разностью высот жидкости, в вискозиметре Уббелодде — вакуумом или давлением в одном колене трубки. При измерениях приборы помещают в водяную баню.

Вискозиметр А. В. Горбатова, С. И. Сухановой и др. (рис. 9, в) встраивается в технологический трубопровод для пластично-вязких продуктов. При прохождении продукта через капилляр под действием сил внутреннего трения — напряжения на стенке трубы — происходит его осевое смещение, которое регистрируется датчиком перемещений и записывается прибором. Внутренняя сила, вызывающая перемещение, компенсируется пружинами или сильфонами, которые могут иметь разную жесткость.

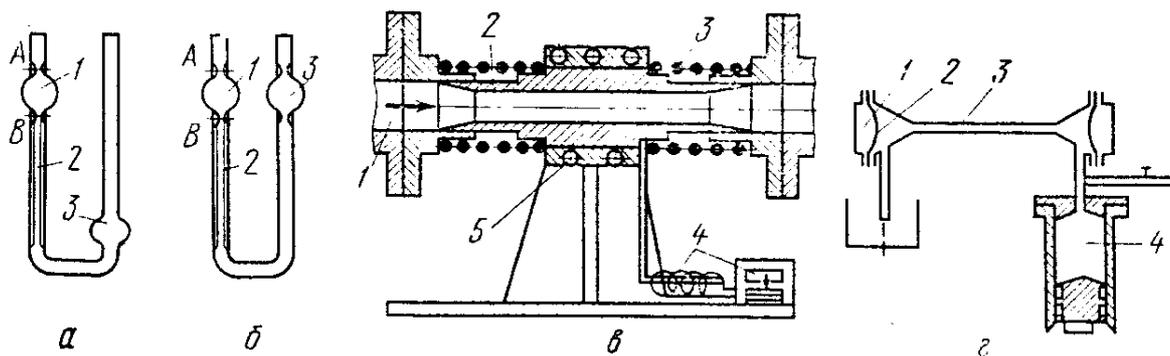


Рис. 9. Принципиальная схема капиллярных вискозиметров для вязких жидкообразных продуктов

а - Оствальда; *б* - Уббелоде: 1 - шарик для измерения объема протекающей через капилляр жидкости; 2 - капилляр; 3 - шарик для сбора жидкости для пластично-вязких (неньютоновских) продуктов; *в* - вискозиметр Горбатова, Сухановой и др.: 1 - магистральный трубопровод; 2 - подвижный капилляр; 3 - упругие элементы (сильфоны, пружины); 4 - индукционный датчик перемещения капилляра с регистрирующим прибором; 5 - импульсный подогреватель для удаления жировой пленки; *г* - вискозиметр постоянного расхода Г.В. Виноградова и др.: 1 - буферная жидкость для измерения перепада давления; 2 - мембрана; 3 - капилляр; 4 - цилиндр с поршнем для продукта.

Вискозиметр постоянного давления Г.В. Виноградова и др. (рис. 9, *г*) обеспечивает протекание жидкости по капилляру при постоянном давлении, которое обеспечивает буферная жидкость, отделенная от исследуемого продукта упругой мембраной. Продукт в капилляр подается из цилиндра с поршнем.

Методы капиллярной вискозиметрии нашли широкое применение и при исследовании реологических свойств высоковязких веществ (различные пластмассы, конфетные массы и т. п.). Теоретические основы капиллярной вискозиметрии для ньютоновских и неньютоновских жидкостей даны в работах Г. Барра, Б. Рабиновича, М. Муни, А. Метцнера и У. Рида.

Методики измерения и расчета сдвиговых свойств для большинства приборов этого типа подобны.

Измерительный стенд (рис. 10, *а*) состоит из вискозиметра, помещенного в открытый или герметический сосуд, и ультратермостата. Термостатирование исследуемой жидкости в приборе занимает 10 – 30 мин, что определяется ее объемом. За это время ее температура достигает температуры жидкости в термостате и, одновременно, восстанавливается структура. При кратковременном термостатировании температурные ошибки дают существенные отклонения вязкости от истинных ее значений.

Методы капиллярной вискозиметрии нашли широкое применение и при исследовании реологических свойств высоковязких веществ (различные пластмассы, конфетные массы и т. п.). Теоретические основы капиллярной

вискозиметрии для ньютоновских и неньютоновских жидкостей даны в работах Г. Барра, Б. Рабиновича, М. Муни, А. Метцнера и У. Рида.

Методики измерения и расчета сдвиговых свойств для большинства приборов этого типа подобны.

Измерительный стенд (рис. 10, а) состоит из вискозиметра, помещенного в открытый или герметический сосуд, и ультратермостата. Термостатирование исследуемой жидкости в приборе занимает 10 – 30 мин, что определяется ее объемом. За это время ее температура достигает температуры жидкости в термостате и одновременно восстанавливается структура. При кратковременном термостатировании температурные ошибки дают существенные отклонения вязкости от истинных ее значений.

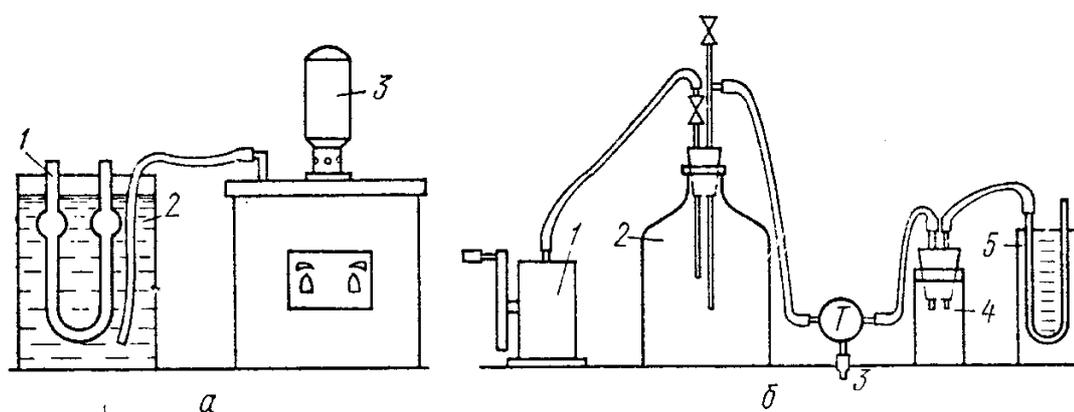


Рис. 10. Стенды для измерения вязкости:

а - при различных температурах: 1 - вискозиметр; 2 - сосуд для термостатирующей жидкости; 3 - ультратермостат; б - при различных напряжениях сдвига: 1 - воздушный насос, 2 - бутыль-моностат, 3 - трубка к вискозиметру; 4 - ловушка для жидкости; 5 - жидкостный манометр

При измерениях вискозиметрами Уббелодде необходимо с одной стороны капилляра создавать давление или вакуум. Для этого используют установку (рис. 10, б), состоящую из воздушного насоса, который может работать как компрессор или вакуум-насос; бутыли-моностата объемом 8 - 10л с пробкой; U-образного жидкостного манометра или микроманометра; сосуда, который является ловушкой жидкости, выбрасываемой из манометра, и трехходового крана для регулирования подачи воздуха. Перед началом измерения давление во всех емкостях должно быть выравнено. Использование избыточного давления при течении жидкости по капилляру создает возможность турбулизации потока, поэтому необходимо проводить проверку на ламинарность по критерию Рейнольдса.

При вычислении констант прибора по уравнению Пуазейля

$$Pd / (4l) = \eta \cdot 8w / d, \quad (4)$$

где p - гидростатическое давление, Па; d - внутренний диаметр капилляра, м; l - длина капилляра, м; η - динамическая вязкость, Па·с; w - средняя скорость жидкости, м/с, следует иметь в виду, что геометрические измерения

необходимо проводить с чрезвычайно высокой точностью. Поэтому предпочтительнее капиллярные вискозиметры градуировать по эталонной жидкости.

Для определения полной относительной ошибки измерения вязкости жидкообразных продуктов в связи с размерами капилляра используют диаграмму Г. Барра. Она построена для оптимальной длины капилляра 0,1 м и среднего напора, т.е. разности высот жидкости в двух резервуарах 0,05 м.

Температурные изменения объема и плотности жидкости в вискозиметре сказываются на результатах измерения. Поэтому вискозиметр заполняют всегда одинаковым объемом жидкости при одной и той же температуре.

Вискозиметр Оствальда используют как относительный прибор. Расчетная формула имеет вид:

$$\eta = K_t \cdot \rho \cdot \tau, \quad (5)$$

где K_t - водная константа прибора при температуре измерения, $\text{м}^2 \text{с}^2$; ρ - плотность жидкости при температуре заливки, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ - время истечения, с.

Вискозиметр Уббелюде можно использовать как относительный и абсолютный. В первом случае его градуируют по эталонной жидкости; во втором - в соответствии с уравнением Пуазейля определяют константы; их можно определить комплексно, исходя из данных предварительной градуировки и непосредственных геометрических измерений. Для вычисления вязкости используют формулы (4) или

$$\eta = \eta_v \rho \tau / (\rho_v \tau_v), \quad (6)$$

где индекс v относится к данным, полученным при градуировке прибора по воде или какой-либо другой жидкости.

Меняя давление истечения p_v , можно построить градуировочные реограммы, которые позволяют вычислить константы для рабочих измерений. Аналогичные графики строят для результатов измерений исследуемой жидкости. Существенное значение имеют графики $p\tau=f(p)$, которые для каждой температуры в области действия закона Пуазейля дают горизонтальные линии. Когда начинается турбулизация и закон Пуазейля перестает объективно отражать процесс, линии отклоняются вверх. Если жидкость обладает аномалией вязкости, то прямые могут иметь частичное искривление или не выходить из начала координат, отсекая на оси абсцисс отрезок, пропорциональный предельному напряжению сдвига.

Горизонтальный вискозиметр ВК-4 в работе и градуировке подобен вискозиметру Уббелюде. Он предназначен для измерения вязкости крови и имеет две калиброванные трубки. Каждая трубка состоит из двух широких капилляров с миллиметровой шкалой, которые служат резервуарами для жидкости. Между ними помещен узкий измерительный капилляр. Для термостатирования исследуемой жидкости обе трубки помещают в широкую стеклянную трубу, закрытую с торцов пробками, через которые выходят трубки. В трубу подается термостатирующая жидкость. Преимущество такой конструкции: малое количество жидкости и поэтому небольшое время

термостатирования; отсутствие поправок на изменение гидростатического давления и объема; устойчивый ламинарный режим в широком диапазоне давлений; сравнительно большое время истечения жидкости. Так же как у вискозиметра Уббелоде, измерения можно проводить при прямом и обратном движении жидкости в капилляре. Это очень существенно для белковых структурированных жидкостей (кровь, молоко, бульон и др.), так как позволяет избежать разрушений структурных связей при холостом ходе.

Широкое распространение получили автоматические вискозиметры АКВ-3 и АКВ-5. Прибор (рис. 11) состоит из камеры, заполняемой исследуемой массой и заканчивающейся капилляром. В камеру входит шток, проталкивающий массу через капилляр; шток движется вниз под давлением пружины. В шток вставляется держатель карандаша, последний производит запись перемещения штока на барабане 9, который приводится в движение от синхронного двигателя. При записи получают кривые, по которым определяют пластично-вязкие характеристики исследуемой массы.

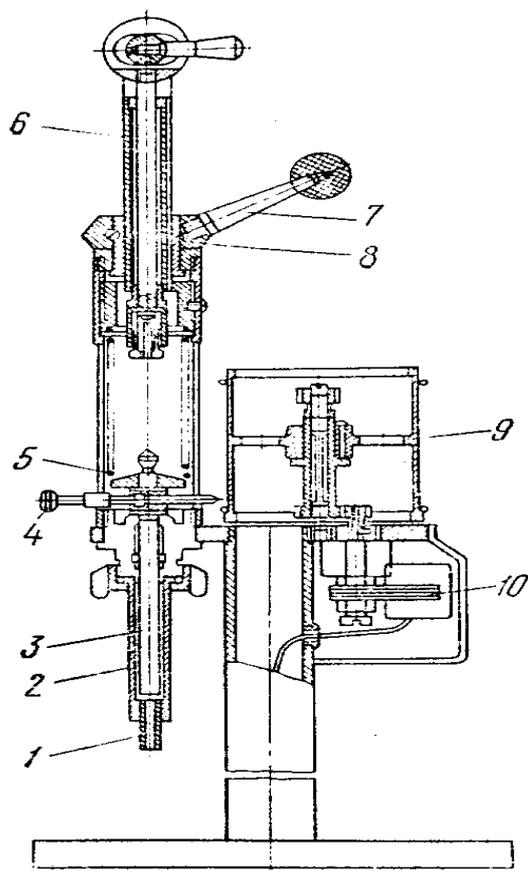


Рис. 11. Вискозиметр АКВ 5:
1 - капилляр; 2 - камера; 3 - шток;
4 - держатель карандаша;
5 - пружина; 6 - винт; 7 - ручка;
8 - втулка; 9 - барабан;
10 - синхронный электродвигатель

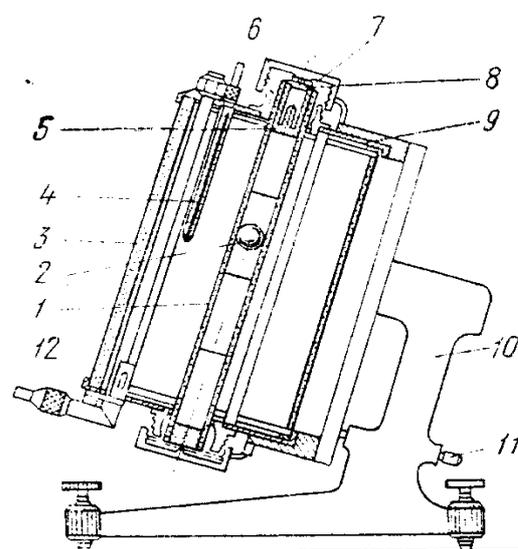


Рис.12. Шариковый вискозиметр Гепплера:

- 1 - стеклянная трубка; 2 - шарик;
- 3 - цилиндр для термостатирующей жидкости; 4 - термометр;
- 5 - резиновый колпачок для отвода избытка жидкости из трубки;
- 6 - прижимная гайка; 7 - полость для сбора излишней жидкости;
- 8 - уплотнительное кольцо;
- 9 - крышка; 10 - подставка;
- 11 - установочный винт; 12 - штуцер для подвода жидкости

Способ измерения вязкости с помощью падающего шарика в широкой трубке, реализующий закон Стокса, успешно используется для ньютоновских или слабоструктурированных жидкостей. Однако он неприменим для изучения свойств пластично-вязких, структурированных систем. Реализуя двухмерный метод, за один опыт можно измерить температурную зависимость вязкости. Для этого жидкость в цилиндре нагревают сверху, охлаждают снизу, по вертикали пускают шарик. Зная скорость его движения в каждом слое и распределение температур по слоям, можно построить график изменения вязкости в зависимости от температуры.

При измерении шариковыми вискозиметрами отсчеты производят в зоне равномерного движения шарика.

Из шариковых вискозиметров, выпускаемых промышленностью, наиболее распространены вискозиметры Гепплера (рис. 12). Хотя закон Стокса, которым описывается движение шарика, здесь соблюдается частично, они позволяют довольно точно измерять вязкость. Шарик движется в наклонной трубке, образуя узкую щель со стенкой. У структурированной жидкости при проходе через щель структурные связи разрушаются, поэтому точного воспроизведения результатов в двух последовательных замерах может и не быть. Прибор проградуирован для измерения вязкости ньютоновских или слабоструктурированных жидкостей в диапазоне от $3 \cdot 10^{-4}$ до 60 Па·с. Паспортная ошибка измерения не превышает 0,5% для лабораторной модели. Прибор неприменим для систем, имеющих предельное напряжение сдвига.

Расчетная формула для вычисления вязкости:

$$\eta = K(\rho_{ш} - \rho)\tau, \quad (7)$$

где K – константа прибора, $\text{м}^2/\text{с}^2$; $\rho_{ш}$ – плотность материала шарика, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ – плотность жидкости при температуре измерения, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ – время перемещения шарика на участке h , с.

Расчет проводят с учетом данных, приведенных в литературе.

Размеры шариков выбраны так, чтобы каждая область измерения перекрывалась соседней примерно на 30%. Время падения шарика должно составлять 30 – 300 с.

3. Порядок проведения работы

3.1. Аппаратура, материалы и реактивы

Вискозиметр ВЗ-246, штатив, стекло, уровень, сопло с диаметром 2,4,6мм, резервуар для приема жидкости, термометр, подсолнечное масло для анализа.

3.2. Подготовка к анализу

Вискозиметр устанавливают на штатив, закрывают стеклом, помещают на стекло уровень и проверяют горизонтальность установки. Рекомендуется при помощи регулировочных ножек штатива устанавливать прибор так, чтобы верхняя кромка воронки находилась в горизонтальном положении для исключения перелива испытуемой жидкости.

Далее необходимо надежно ввинтить сопло, с необходимым диаметром выходного отверстия 2 мм, 4мм, 6мм, в резервуар. Для обеспечения герметичности соединения сопла и резервуара рекомендуется после ввинчивания сопла затянуть его при помощи соответствующего ключа, для установки которого на сопле предусмотрены установочные плоскости.

3.3. Проведение анализа

Под сопло вискозиметра ставят приемный сосуд так, чтобы расстояние между выходным отверстием и приемным сосудом было не менее 100 мм. Отверстие сопла закрывают пальцем и наливают испытываемую жидкость с избытком, чтобы образовался выпуклый мениск над верхним краем вискозиметра. Жидкость непосредственно перед испытанием должна иметь температуру $20 \pm 0,2$ °С.

Наполняют вискозиметр медленно, чтобы предотвратить образование пузырьков воздуха. Избыток жидкости и образовавшиеся пузырьки удаляют с помощью стеклянной пластинки или алюминиевого диска, сдвигаемых по верхнему краю воронки в горизонтальном направлении таким образом, чтобы не образовалось воздушной прослойки (рис.13).



Рис. 13.
Вискозиметр ВЗ-246

Открывают отверстие сопла и с появлением жидкости из сопла включают секундомер. В момент первого прерывания струи жидкости секундомер останавливают и отсчитывают время истечения. Время истечения определяют с погрешностью не более 0,5 с. Рекомендуется использовать для испытаний секундомер с ценой деления 0,5 с и погрешностью не более 0,2%.

За результат испытания принимают среднее арифметическое из трех измерений времени истечения исследуемой жидкости.

Абсолютная погрешность измерения времени (с) истечения жидкости вычисляется по формуле:

$$\Delta = t_n - (0,185 \cdot v + 10) \quad (8)$$

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

v – кинематическая вязкость жидкости, определяемая по ГОСТ 33-2000 при температуре $(20 \pm 0,2)$ °С, мм²/с.

$$v = C \cdot t,$$

где C - калибровочная постоянная вискозиметра, мм²/с²;

t - среднее арифметическое значение времени истечения, с)

Отчет о проделанной работе оформляется в тетради с полным описанием и расчетами.

4. Обработка и оценка результатов

Оценку результатов делает сам студент при участии подгруппы и преподавателя, оценивая правильность и достоверность результатов.

Вопросы для самопроверки

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 вискозиметра ВЗ-246.
6. Дайте описание методике измерения вязкости.
7. Перечислите недостатки и достоинства капиллярных вискозиметров.

Лабораторная работа № 2

СТАНДАРТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

1. Цель работы

Изучить стандартные методы определения влажности сырья и продуктов питания растительного происхождения, освоить один из стандартных методов определения влажности, научиться оценивать достоверность полученных результатов.

2. Общие положения

Влажность имеет существенное значение при оценке качества зерна, муки, крупы пищевых продуктов. От ее содержания зависит их стойкость при хранении. Содержание влаги в зерне оказывает влияние на выбор технологических режимов его переработки, выход продукции из него и ее качество. Влажность необходимо знать еще и потому, что при научных исследованиях химический состав сырья и пищевых продуктов принято выражать в процентах на сухое вещество по формуле:

$$X_{с.в} = \frac{X \cdot 100}{100 - W}, \quad (9)$$

где $X_{с.в}$ - содержание определяемого вещества на сухое вещество, %;

X - содержание определяемого вещества в измеряемых единицах;

W - влажность исследуемого продукта, %.

3. Порядок выполнения работы

Учебная группа делится на подгруппы по 3-4 человека в подгруппе (по числу образцов). Каждый студент получает образец сырья или продукта, делает конспект методики и определяет его влажность по одному из предложенных

ниже методов, оформляет и делает вывод о достоверности полученных результатов.

Работа в подгруппах

Каждый студент в подгруппе делает краткий конспект стандартных методик определения влажности разных продуктов. Затем члены подгруппы сравнивают разные методики и обмениваются полученными знаниями, при этом отмечают совпадения и отличия в методиках и фиксируют это в своих протоколах.

Например: Общими моментами во всех методиках определения влажности является *Метод определения влажности макаронных изделий отличается от метода определения влажности муки ...* (тем то и тем то).

Отчет о проделанной работе

Каждый студент отчитывается в группе. Затем каждая группа делает один общий письменный отчет о проделанной работе, который фиксирует каждый студент в своем протоколе. В конце занятия группа докладывает свои выводы. (Докладывать может один член группы или каждый). Результаты определения влажности (с указанием повторностей записываются на доске и в тетради) в табл. 1.

Таблица 1

Форма записи на доске

Группа (номер или название)	Повторности	Влажность образцов, %			
		муки	хлеба	макаронных изделий	других
А	1. 2. Фактическое расхождение Допустимое расхождение Среднее значение Контрольное значение				
Б					

Оценка результатов и выводы

Оценку результатов делает преподаватель при участии аудитории по данным табл. 2,3,4,6:

- а) оценивая правильность и достоверность результатов;
- б) отмечая общие моменты в стандартных методиках определения влажности разных продуктов;
- в) отмечая различия в стандартных методах определения влажности разных продуктов.

4. Стандартный метод определения влажности муки и отрубей (ГОСТ 9404-88)

Сущность метода заключается в обезвоживании навески муки и отрубей в воздушно-тепловом шкафу при фиксированных параметрах температуры и продолжительности сушки.

Отбор проб - по ГОСТ 27668-88.

4.1. Аппаратура, материалы и реактивы

Для проведения анализа потребуются следующие аппаратура, материалы и реактивы:

- шкаф сушильный электрический с терморегулятором;
- термометр контактный по ГОСТ 9871 с измерением температуры до 150°C и погрешностью определения не более 2°C;
- весы лабораторные с допускаемой погрешностью взвешивания $\pm 0,01$ г;
- бюксы металлические с крышками с диаметром 48 мм и высотой 20 мм;
- эксикатор по ГОСТ 25336-82;
- щипцы тигельные;
- вазелин технический;
- совок для проб;
- часы сигнальные;
- кальций хлористый технический по ГОСТ 450-77 (не менее одного раза в месяц хлористый кальций прокаливают в фарфоровой чашке до превращения его в аморфную массу).

4.2. Подготовка к анализу

На дно вымытого и просушенного эксикатора поместить осушитель (хлористый кальций). Пришлифованные края эксикатора смазать тонким слоем вазелина.

Включить в сеть сушильный шкаф. Установить контактный термометр на температуру 130°C (без дополнительного подогрева).

Новые бюксы просушить в сушильном шкафу в течение 60 мин и охладить в эксикаторе 15-20 мин.

4.3. Проведение анализа

Влажность определяют в двух параллельных навесках.

Из эксикатора берут две чистые просушенные бюксы и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. Продукт, выделенный из средней пробы, тщательно перемешивают в емкости, отбирают совком из разных мест и помещают в каждую взвешенную бюксу навеску массой $(5,00 \pm 0,01)$ г, закрывают крышками и ставят в эксикатор.

По достижении в камере сушильного шкафа температуры 130°C отключают термометр и разогревают шкаф до 140°C или допускается не разогревать сушильный шкаф до 140°C если после полной загрузки сушильного шкафа температура 130°C восстанавливается в течение 5-10 мин

Затем помещают открытые бюксы с навесками продукта в шкаф, устанавливая бюксы на снятые с них крышки. Свободные гнезда заполняют пустыми бюксами. Продукт высушивают в течение 40 мин, считая с момента восстановления температуры 130°С.

По окончании высушивания бюксы с продуктом вынимают из шкафа тигельными щипцами, закрывают крышками и переносят в эксикатор для полного охлаждения, примерно на 20 мин (но не более 2-х часов). Охлажденные бюксы взвешивают с погрешностью не более 0,01 г и помещают в эксикатор до окончания обработки результатов.

4.4. Обработка результатов

Влажность продукта (W), в процентах, вычисляют по формуле:

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \cdot 100, \quad (10)$$

или

$$W = (m_1 - m_2) \cdot 20, \quad (11)$$

где m_1 - масса бюксы с навеской муки или отрубей до высушивания, г;

m_2 - масса бюксы с навеской муки или отрубей после высушивания, г;

m - масса навески (5 г).

Вычисления проводят с точностью до второго десятичного знака, затем результат определения влажности округляют до первого десятичного знака.

Допускаемое расхождение между результатами двух параллельных определений не должно превышать 0,2%.

За окончательный результат анализа принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений.

При контрольных определениях за окончательный результат анализа принимают результат первоначального определения, если расхождения между результатами контрольного и первоначального определения не превышает допустимого значения. Если расхождение превышает допустимое значение, за окончательный результат анализа принимают результат контрольного определения. Допускаемое расхождение между контрольным и первоначальным определением не должно превышать 0,5%.

Оформить результаты в виде табл. 2.

Таблица 2.

Результаты исследований

ДАТА	Номер опыта	Название образца и (или) партии (смены)	Номер бюксы	Масса бюксы с навеской, г		Масса испарившейся влаги, г	Влажность, %	Среднее арифметическое значение влажности	Подпись
				До высушивания	После высушивания				
	1								
	2								

Сделать вывод о достоверности полученных результатов, анализируя расхождения между параллельными результатами и сравнивая среднее арифметическое значение с контрольным определением, проведенным ранее лаборантами кафедры.

Вопросы для самопроверки

1. Как отбирают навески на высушивание?
2. Измельчают ли отруби перед определением влажности?
3. Назовите параметры (температура и время) высушивания навесок в сушильном шкафу.
4. С какого момента ведут отсчет времени высушивания навесок?
5. Как определяют окончательный результат, и с какой точностью его выражают?

5. Стандартный метод определения влажности хлеба и хлебобулочных изделий (ГОСТ 21094-75)

Сущность метода заключается в высушивании навески изделия при определенных параметрах и вычислении влажности.

Отбор проб - по ГОСТ 5667-65.

5.1. Аппаратура, материалы и реактивы

Для проведения анализа применяются следующие аппаратура и материалы:

- шкаф сушильный электрический;
- нож, терку или металлический измельчитель;
- бюксы металлические с крышками с внутренними размерами: диаметр - 45 мм; высота - 20 мм;
- весы лабораторные рычажные по ГОСТ 1949 1-74;
- эксикатор по ГОСТ 637 1-73;
- часы сигнальные;
- щипцы тигельные;
- совок для проб;
- вазелин технический;
- кальций хлористый технический по ГОСТ 450-77 (не менее одного раза в год его прокаливают в фарфоровой чашке до превращения в аморфную массу).

5.2. Подготовка к анализу

Заготовленные металлические чашечки (бюксы) с подложенными под дно крышками помещают в сушильный шкаф, предварительно нагретый до температуры 130° С, и выдерживают при этой температуре 20 мин, затем помещают в эксикатор, дают остыть, после чего тарируют с погрешностью не более 0,05 г.

5.3. Проведение анализа

5.3.1. Определение влажности хлеба и хлебобулочных изделий массой более 0,2 кг

Лабораторный образец разрезают поперек на две приблизительно равные части и от одной части отрезают ломоть толщиной 1-3 см, отделяют мякиш от корок на расстоянии около 1 см, удаляют все включения (изюм, повидло, орехи и др., кроме мака). Масса выделенной пробы не должна быть менее 20 г. Влажность определяют в 2-х повторностях.

Подготовленную пробу быстро и тщательно измельчают ножом, теркой или механическим измельчителем, перемешивают и тотчас же взвешивают в заранее просушенных и тарированных металлических чашечках с крышками две навески, по 5 г каждая, с погрешностью не более 0,05 г.

Навески в открытых бюксах с подложенными под дно крышками помещают в сушильный шкаф. В шкафах марок СЭШ-1 и СЭШ-3М навески высушивают при температуре 130°C в течение 45 мин с момента загрузки до момента выгрузки бюкса (или см. ниже*). Продолжительность понижения и повышения температуры до 130°C после загрузки сушильного шкафа не должна быть более 20 мин. Высушивание проводят при полной загрузке шкафа.

Температура 130°C с момента загрузки бюкса в сушильный шкаф должна быть достигнута в течение не более 10 мин.

В процессе сушки в сушильных шкафах всех марок допускается отклонение от установленной температуры не более $\pm 2^\circ \text{C}$.

*Допускается высушить навески в электрошкафах других марок. При этом навески в открытых бюксах с подложенными под дно крышками помещают в предварительно нагретый шкаф и сушат в течение 40 мин при температуре 130°C, считая с момента достижения температуры 130°C.

После высушивания бюксы вынимают, тотчас закрывают крышками и переносят в эксикатор для охлаждения. Время охлаждения не должно быть менее 20 мин и не более 2 ч. После охлаждения бюксы взвешивают.

5.3.2. Определение влажности хлебобулочных изделий массой 0,2 кг и менее

Из середины отобранного лабораторного образца вырезают ломти толщиной 3-5 см, отделяют мякиш от корок и удаляют все включения (изюм, повидло, орехи и др., кроме мака). Масса выделенной пробы не должна быть менее 20 г.

Изделия, влажность которых определяют вместе с корочкой (например, ржаные лепешки, майская лепешка и т.п.), разрезают на четыре примерно равные части (сектора), затем выделяют одну часть от каждого лабораторного образца и удаляют все включения (кроме мака).

Далее влажность определяют, как указано выше.

5.4 Обработка результатов

Содержание влаги (W), в процентах, вычисляют по формуле:

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \cdot 100,$$

или $W = (m_1 - m_2) \cdot 20$

где m_1 - масса бюксы с навеской до высушивания, г;

m_2 - масса бюксы с навеской после высушивания, г;

m - масса навески, г.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений.

Допускаемые расхождения между результатами параллельных определений влажности в одной лаборатории, а также между результатами одновременных определений влажности лабораторных образцов, отобранных из одной и той же пробы в разных лабораториях, не должны превышать 1 %.

Влажность вычисляют с точностью до 0,5%, причем доли до 0,25 включительно отбрасывают; доли свыше 0,25 и до 0,75 включительно приравнивают к 0,5; доли свыше 0,75 приравнивают к единице.

Оформить результаты в виде табл.3.

Таблица 3

Результаты исследований

ДАТА	Номер опы- та	Назва- ние образца и (или) партии (смены)	Номер бюк- сы	Масса бюксы с навеской, г		Масса испарив- шейся влаги, г	Влаж- ность, %	Среднее арифмети- ческое значение влажности	Под- пись
				до высу- шива- ния	после высу- шива- ния				
	1								
	2								

Сделать вывод о достоверности полученных результатов, анализируя расхождения между параллельными результатами и сравнивая среднее арифметическое значение с контрольным определением, проведенным ранее лаборантами кафедры.

Вопросы для самопроверки

1. Как отобрать от образца пробу для определения влажности хлеба и хлебобулочных изделий в зависимости от развеса?
2. Почему измельчение пробы и отбор навески мякиша в бюксы надо производить быстро?
3. Укажите допустимые расхождения между результатами параллельных определений влажности?
4. Как поступают, если заполнены не все ячейки СЭШ-3М?

6. Стандартный метод определения влажности макаронных изделий (ГОСТ 14849-89)

Сущность метода заключается в высушивании измельченных макаронных изделий в воздушно-тепловом шкафу при фиксированных параметрах температуры и продолжительности сушки.

Отбор проб - ГОСТ 14849-89.

6.1. Аппаратура, материалы и реактивы

Для проведения анализа потребуются следующие аппаратура, материалы и реактивы:

- шкаф сушильный электрический с терморегулятором;
- термометр электроконтактный по ГОСТ 9871 с измерением температуры до 150°C и погрешностью определения не более 2°C
- весы лабораторные с погрешностью взвешивания не более 0,01 г;
- бюксы металлические с крышками с диаметром 48 мм и высотой 20 мм;
- эксикатор по ГОСТ 25336-82;
- щипцы тигельные;
- вазелин технический;
- совок для проб;
- часы сигнальные;
- кальций хлористый технический по ГОСТ 450-77 (не менее одного раза в месяц хлористый кальций прокаливают в фарфоровой чашке до превращения его в аморфную массу);
- мельница лабораторная;
- ступка;
- пестик;
- сито с диаметром отверстий 1 мм.

6.2. Подготовка к анализу

На дно вымытого и просушенного эксикатора поместить осушитель (хлористый кальций). Пришлифованные края эксикатора смазать тонким слоем вазелина.

Включить в сеть сушильный шкаф. Установить контактный термометр на температуру 130°C (без дополнительного подогрева).

Новые бюксы просушить в сушильном шкафу в течение 60 мин и охладить в эксикаторе 15-20 мин.

Из средней пробы отбирают около 50 г макаронных изделий, измельчают в ступке и размалывают на лабораторной мельнице до прохода размолотого продукта через сито с круглыми отверстиями диаметром 1,0 мм.

6.3. Проведение анализа

Из подготовленной к анализу пробы макаронных изделий отбирают две навески массой $(5,0 \pm 0,1)$ г, в предварительно просушенные, охлажденные в эксикаторе и взвешенные металлические бюксы с крышками. Взвешенные навески в открытых чашечках с подложенными под дно крышками помещают в

сушильный шкаф и высушивают в течение 40 мин с момента установления заданной температуры (130 ± 2) °С. Высушивание проводят при полной загрузке шкафа (свободные гнезда заполняют пустыми бюксами).

После высушивания бюксы с продуктом вынимают из шкафа тигельными щипцами, закрывают и помещают в эксикатор для охлаждения в течение не менее 20 мин и не более 2 ч. Высушенные и охлажденные бюксы с навесками взвешивают с погрешностью не более 0,1 г.

6.4. Обработка результатов

Влажность макаронных изделий, в процентах, вычисляют по формуле:

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \cdot 100$$

или $W = (m_1 - m_2) \cdot 20$

где m_1 - масса бюксы с навеской до высушивания, г;

m_2 - масса бюксы с навеской после высушивания, г;

m - масса навески (5 г).

Допускаемое расхождение между параллельными определениями не более 0,2%.

За окончательный результат определения влажности принимают среднее арифметическое значение результатов двух параллельных определений.

Все вычисления округляют до первого десятичного знака. Окончательный результат выражают с точностью до 0,5%.

Пример: Результаты вычисления влажности – 12,8; 12,9; 13,0; 13,1; 13,2 выражают как 13,0.

Результаты вычисления влажности – 13,3; 13,4; 13,5; 13,6; 13,7 выражают как 13,5.

Допускаемое расхождение между результатами определения влажности в разных лабораториях - не более 0,5%.

Оформить результаты в виде табл. 4.

Таблица 4

Результаты исследований

ДАТА	Номер опыта	Название образца и (или) партии (смены)	Номер бюксы	Масса бюксы с навеской, г		Масса испарившейся влаги, г	Влажность, %	Среднее арифметическое значение влажности	Подпись
				до высушивания	после высушивания				
	1								
	2								

Сделать вывод о достоверности полученных результатов, анализируя расхождения между параллельными результатами и сравнивая среднее арифметическое значение с контрольным определением, проведенным ранее лаборантами кафедры.

Вопросы для самопроверки

1. Как осуществляют подготовку пробы макаронных изделий к анализу?
2. В чем заключается сущность стандартного метода определения влажности макаронных изделий?
3. Почему бюксы охлаждают в эксикаторе?
4. Назовите допускаемые расхождения между параллельными определениями влажности.
5. С какой точностью выражают окончательный результат?

7. Стандартный метод определения влажности зерна (ГОСТ 13586.5-93)

Сущность метода заключается в обезвоживании навески измельченного зерна в воздушно-тепловом шкафу при фиксированных параметрах температуры и продолжительности сушки.

7.1. Аппаратура, материалы и реактивы

Для проведения анализа потребуются:

- шкаф сушильный электрический с терморегулятором СЭШ-1 или СЭШ-3М;
- термометр контактный по ГОСТ 9871 с измерением температуры до 150°C и погрешностью определения не более 2°C
- весы лабораторные с допускаемой погрешностью взвешивания + 0,01 г;
- бюксы металлические с крышками с диаметром 48 мм и высотой 20 мм;
- эксикатор по ГОСТ 25336-82;
- щипцы тигельные;
- вазелин технический;
- совок для проб;
- часы сигнальные;
- кальций хлористый технический по ГОСТ 450-77;
- аппарат для ускоренного охлаждения проб зерна после предварительного подсушивания типа АУО;
- электровлагомеры;
- рассев лабораторный;
- мельница лабораторная;
- бюксы с сетчатым дном и крышкой, высотой 15 мм и диаметром 77 мм;
- сита №1 и 0,8 ТУ 14-4-1374.

7.2. Подготовка к анализу

Из средней пробы выделяют навеску массой 300±10 г и помещают в плотно закрывающийся сосуд, заполняя его на две трети объема. Зерно, имеющее температуру ниже 20±5 °С, выдерживают в закрытом сосуде до температуры окружающей среды.

В выделенном зерне определяют влажность с помощью электровлагомеров для выбора варианта и метода определения. Для зерна с влажностью свыше

17% определение проводят с предварительным подсушиванием до остаточной влажности в пределах 9-17%, для зерна овса и кукурузы предварительное подсушивание проводят при влажности свыше 15,5%.

7.3. Проведение анализа

Перед началом испытаний зерно тщательно перемешивают, встряхивая сосуд в разных направлениях и плоскостях.

Определение влажности с предварительным подсушиванием.

7.3.1. В просушенную и взвешенную сетчатую бюксу из разных мест отбирают навеску зерна массой 20 г, помещают в сушильный шкаф СЭШ-3М и сушат при температуре 105°C. Свободные гнезда шкафа закрывают заглушками. Продолжительность высушивания (считая с момента восстановления температуры 105°C) в зависимости от влажности, определенной с помощью электровлагомера, устанавливают по табл. 5.

Таблица 5

Наименование культуры	Режимы подсушивания		
	Продолжительность подсушивания (с момента восстановления температуры 105°C) мин при влажности, %		
	до 25	от 25 до 35	более 35
Пшеница, рожь, овес, просо, сорго, гречиха, ячмень, рис – зерно	7	12	30
Кукуруза, фасоль, горох, нут,	15	25	40
чечевица	15	25	25

По окончании предварительного подсушивания бюксы с зерном вынимают и охлаждают с помощью охладителя АУО в течение 5 мин, после чего взвешивают, находят массу пробы целого зерна после высушивания M_1 и измельчают.

7.3.2. Навеску зерна измельчают на лабораторной мельничке. Крупность помола контролируют просеиванием навесок на ситах № 1 и 0,8 без встряхивания на гладкой поверхности в течение 3 мин вручную или 5 мин на лабораторном рассеве. При этом остаток на сите №1 должен быть не более 5%, проход через сито №0,8 - не менее 50%.

Из эксикатора извлекают две просушенные бюксы, взвешивают их и помещают в каждую по 5,0 г измельченного зерна, закрывают и помещают в эксикатор.

Шкаф нагревают до температуры 130°C и быстро помещают в него открытые бюксы, причем сначала в гнездо ставят крышку, а на крышку бюксу и высушивают измельченное зерно всех культур, кроме кукурузы, в течение 40 мин, измельченное зерно кукурузы - в течение 60 мин.

Отчет времени ведется с момента установления температуры 130°C.

По окончании высушивания бюксы с продуктом вынимают из шкафа тигельными щипцами, закрывают крышками и переносят в эксикатор до полного охлаждения, примерно на 20 мин (но не более 2-х часов). Охлажденные бюксы с измельченным зерном взвешивают с точностью до второго десятичного знака.

7.4 Обработка результатов

7.4.1. Влажность зерна при определении с предварительным подсушиванием (X), в процентах, вычисляют по формуле:

$$X = 100 - M_1 \cdot M_2, \quad (13)$$

где M_1 - масса пробы целого зерна после предварительного подсушивания, г;

M_2 - масса навески размолотого зерна после высушивания, г.

7.4.2. Влажность зерна без предварительного подсушивания (X_1) в процентах вычисляют по формуле:

$$X_1 = 20 \cdot (m_1 - m_2), \quad (14)$$

где m_1 - масса навески с бюксой размолотого зерна до высушивания, г;

m_2 - масса навески размолотого зерна с бюксой после высушивания, г.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, которое округляют до первого десятичного знака.

Допускаемое расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать 0,2%.

При контрольных определениях влажности допускаемые расхождения (в процентах) между контрольным и первоначальными определениями не должны превышать:

0,5 - для зерновых культур (кроме кукурузы);

0,7 - для кукурузы и бобовых культур.

Если полученные результаты превышают пределы допускаемых расхождений, то за окончательный результат принимают результат контрольного определения.

Оформить результаты при определении без предварительного подсушивания в виде табл. 6.

Таблица 6.

Результаты исследований

ДАТА	Номер опыта	Название образца и (или) партии (смены)	Номер бюксы	Масса бюксы с навеской, г		Масса испарившейся влаги, г	Влажность, %	Среднее арифметическое значение влажности	Подпись
				до высушивания	после высушивания				
	1								
	2								

Вопросы для самопроверки

1. Влажность какого зерна определяют с предварительным подсушиванием?
2. До какой крупности измельчают зерно и как определяют крупность помола?
3. Как осуществляется определение влажности с предварительным подсушиванием?
4. Как узнать, что зерно нуждается в предварительном подсушивании?
5. От чего зависит продолжительность предварительного подсушивания?
6. Опишите сущность методики определения влажности без предварительного подсушивания.

8. Стандартный метод определения влажности крупы (ГОСТ 26312.7-88)

Сущность методики заключается в обезвоживании измельченной крупы в воздушно-тепловом шкафу при фиксированных параметрах температуры и продолжительности сушки.

8.1. Аппаратура, материалы и реактивы

Подробно описано в п. 6.1.

8.2. Подготовка к анализу

Крупку, отобранную из средней пробы по ГОСТ 26312.1-88, тщательно перемешивают, встряхивая емкость, отбирают навеску крупы массой 20 г и измельчают на мельничке (кроме манной). Крупность помола контролируют просеиванием навесок на ситах № 1,0 и 0,8 вручную на гладкой поверхности без встряхивания сит в течение 3 мин или на лабораторном рассеве в течение 5 мин. При этом в измельченной навеске крупы сход с сита № 1,0 должен быть не более 10, для всех видов круп, кроме перловой, не более 25% - для перловой; а проход через сито 0,8 должен быть не менее 70% - для всех видов круп, кроме гороха шелушенного и не менее 50% - для гороха шелушенного.

8.3. Проведение анализа

Анализ проводят также, как описано в п. 4.3.

8.4. Обработка результатов

Обработка и оформление результатов осуществляется в соответствии с п.4.4.

Вопросы для самопроверки

1. Чем отличается подготовка к анализу проб муки и крупы?
2. Отличаются ли параметры высушивания навесок проб хлеба и крупы? Назовите их.
3. Назовите допускаемые расхождения между параллельными определениями и между первоначальным и контрольным определением.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОПЫТА НА ПОЛЗУЧЕСТЬ

1. Цель работы

Научиться определять механические характеристики четырёхэлементной модели пряничного теста при комнатной температуре.

2. Общее положение

Реальные пищевые материалы обладают мгновенными упругими, запаздывающими упругими и остаточными деформациями. Поэтому простейшей моделью, с помощью которой можно описать поведение таких материалов, как тесто, конфетные массы и др., является модель, состоящая из последовательного соединения двух описанных выше двухэлементных моделей (рисунок 14). Развитие деформации во времени для реальных материалов при постоянном напряжении называется ползучестью, а графики зависимости деформации от времени - кривыми ползучести.

При мгновенном приложении напряжения τ при $t=0$ возникает мгновенная упругая деформация $\gamma_1 = \tau/G_1$ (рис. 1, отрезок OA), дальнейшее развитие деформации идёт по кривой AB . На этом участке одновременно развиваются

запаздывающая упругая деформация $\gamma_2 = \frac{\tau}{G_2} \left(1 - e^{-\frac{G_2}{\mu_2} t} \right)$ и деформация вязкого

течения $\gamma_3 = \frac{\tau}{\mu_1} t$. Через определённое время устанавливается прямолинейная

зависимость (рис.14 участок BC), отвечающая установившемуся стационарному процессу необратимого вязкого течения при постоянном значении упругой деформации. На участке BC деформация нарастает с постоянной скоростью, которая характеризуется тангенсом угла наклона прямой BC к оси абсцисс. Скорость течения пропорциональна напряжению τ и обратно пропорциональна вязкости μ . При $t=t_H$ напряжение снимают, при этом исчезает мгновенная упругая деформация γ_1 (отрезок $CD=OA$), а затем монотонно убывает запаздывающая упругая деформация γ_2 . С увеличением t кривая DE асимптотически приближается к конечному значению деформации, которая равна остаточной деформации вязкого течения γ_3 .

Таким образом, в период действия постоянного напряжения τ при $0 < t < t_H$ общая деформация определяется следующим выражением:

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = \frac{\tau}{G_1} + \frac{\tau}{G_2} \left(1 - e^{-\frac{G_2}{\mu_2} t} \right) + \frac{\tau}{\mu_1} t, \quad (15)$$

в которое входят четыре физико-механические характеристики:

G_1 - модуль мгновенной упругой деформации;

G_2 - модуль запаздывающей упругой деформации;
 μ_1 вязкость материала;
 μ_2 - вязкость упругого последействия.

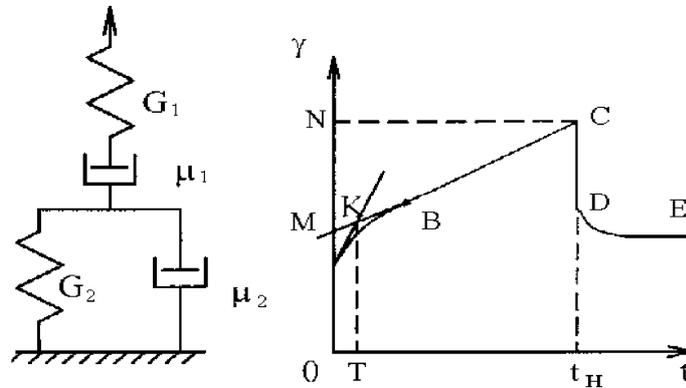


Рис.14. Механическая модель и кривая ползучести пищевого материала

За период нагружения $t-t_H$ общая деформация γ согласно рис. 14, соответствует отрезку ON , упругая деформация - отрезку OA , деформация вязкого течения G_3 - MN , где точка M получается при пересечении отрезка BC с осью γ , деформация - отрезку AM . Характеристики G_1 и μ_1 определяются с учётом равенства (15) по следующим формулам:

$$G_1 = \frac{\tau}{\gamma_1}, \quad (16)$$

$$\mu_1 = \frac{\tau \cdot \tau_H}{\gamma_3}. \quad (17)$$

Учитывая, что запаздывающая упругая деформация γ_2 практически полностью завершается в точке B , модуль G_2 можно определить:

$$G_2 = \frac{\tau}{\gamma_2}. \quad (18)$$

Вязкость упругого последействия μ_2 определяют следующим образом. Отношение μ_2/G_2 имеет физический смысл времени, в течение которого деформация γ_2 достигает 63 % от максимального значения и носит название времени релаксации T . Величина T определяется абсциссой точки пересечения касательной к кривой ползучести в точке A с прямой MBC . Объясняется это следующим.

Уравнение касательной в точке A имеет вид:

$$\gamma = \gamma_1 + \left(\frac{\tau}{G_2 T} + \frac{\tau}{\mu_2} \right) t, \quad (19)$$

а уравнение прямой MBC определяется выражением:

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \frac{\tau}{\mu_1} t. \quad (20)$$

Приравнивая выражения (19) и (20), получим абсциссу точки пересечения $t=T$. Тогда

$$\mu_1 = G_2 T. \quad (21)$$

С целью повышения точности определения физико-механических характеристик получают несколько кривых ползучести при различных напряжениях. Это даёт возможность, во-первых, проверить линейность зависимостей мгновенной упругой деформации, запаздывающей упругой деформации и скорости деформации вязкого течения от напряжения сдвига и, во-вторых, графически определить характеристики материала по результатам нескольких параллельных испытаний.

Примером использования характеристик материала является расчёт процесса нанесения рисунка на тестовую заготовку. Очевидно, что для сохранения рисунка необходимо, чтобы материал тестовой заготовки обладал остаточными деформациями, существенно превышающими упругие. Зная напряжение, действующее в материале при внедрении штампа, а также его физико-механические характеристики, можно вычислить продолжительность силового воздействия на тестовую заготовку.

Простейшим видом испытания материала на ползучесть является сдвиг между двумя параллельными пластинами. Схема нагружения показана на рис.15. Образец материала заполняет пространство между горизонтальными пластинами (прибор Толстого).

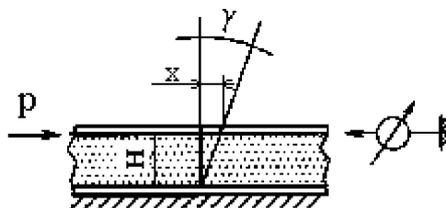


Рис. 15.Схема устройства для получения кривой ползучести пищевых материалов

Поверхность пластин должна быть рифлёной для предотвращения проскальзывания материала по пластине. Площадь пластины - F , зазор между пластинами — H . Нижняя пластина неподвижна, а верхняя - связана с индикатором часового типа. Если к верхней пластине приложить нагрузку P в горизонтальном направлении, то на поверхности пластины возникнут касательные напряжения τ , уравновешивающие приложенную нагрузку, то есть $\tau = P/F$. Под действием напряжения материал деформируется, и верхняя пластина получает смещение X , которое регистрируется индикатором часового типа. Деформация сдвига определяется отношением смещения к зазору: $\gamma = X/H$. Наблюдая за развитием деформации во времени, получаем кривые ползучести исследуемого материала.

Для проведения исследований может быть использовано устройство в виде рифлёной пластины, помещённой в сосуд с параллельными стенками. К пластине прикладывается нагрузка, вытягивающая её из исследуемого

материала (прибор Вейлера-Ребиндера). При этом в слое массы, находящейся между пластиной и стенками сосуда, возникают напряжения сдвига.

3. Порядок выполнения работы

Схема лабораторной установки

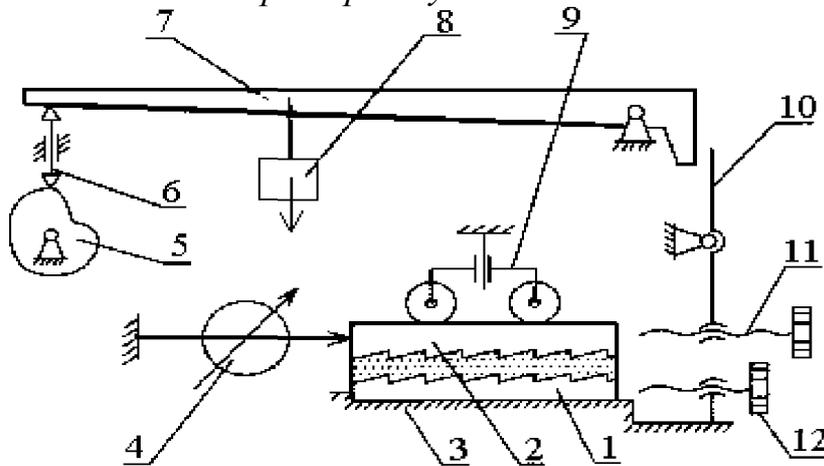


Рис. 16.
Кинематическая
схема прибора Д.М.
Толстого

Описание экспериментальной установки прибора Толстого

На рис. 16 показана кинематическая схема прибора Толстого, предназначенного для изучения ползучести при сдвиге. Прибор состоит из двух рифлёных пластин 1 и 2, между которыми помещается исследуемая масса, нагружающего устройства, состоящего из рычагов 7, 10 и груза 8, ограничителя 9 и индикатора часового типа 4. Для закрепления нижней пластины 1 в гнезде 3 служит винт 12. Ограничитель 9 необходим для обеспечения строго горизонтального перемещения верхней пластины в процессе испытаний. Кулачок 5 и упор 6 предназначены для безударного приложения нагрузки к верхней пластине. Для ликвидации люфтов в рычажном механизме служит винт 11 промежуточного рычага 10.

Описание экспериментальной установки прибора Вейлера-Ребиндера

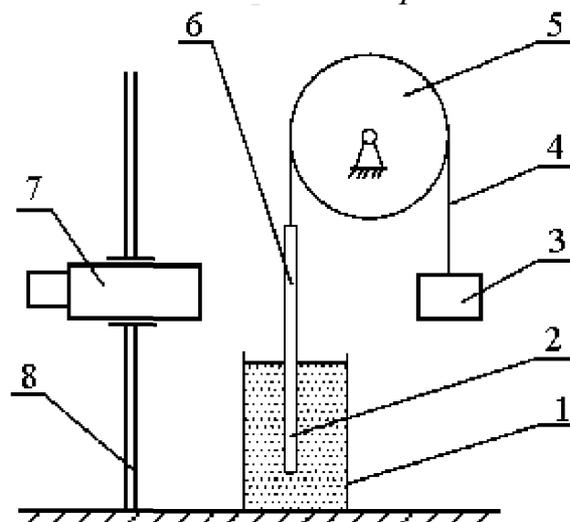


Рис.17. Кинематическая схема
прибора Вейлера-Ребиндера

На рис. 17 показана схема прибора Вейлера-Ребиндера.

Прибор состоит из сосуда с параллельными стенками 1, рифлёной пластины 2 с хвостовиком, нагружающего устройства, представляющего собой груз 3, подвешенный на нити 4, перекинутой через блок 5, измерительного микроскопа 7, укрепленного на штативе 8. Для измерения перемещений на хвостовике пластины нанесены риски, которые находятся в поле зрения измерительного микроскопа. Цена деления шкалы микроскопа — 0,1 мм.

4. Обработка результатов

Зарисовать установки и изучить принцип действия установки прибора Толстого и экспериментальной установки прибора Вейлера-Ребиндера. Определить ползучесть при сдвиге пряничного теста.

По результатам испытаний сделать выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Какие пищевые системы называются твердообразными?
2. Что такое предельное напряжение сдвига?
3. Напишите формулу П.А. Ребиндера определения предельного напряжения сдвига для расчета критической высоты формосохраняемости.
4. На каких приборах определяется предельное напряжение сдвига?
5. Расскажите принцип действия лабораторных приборов.
6. Какие факторы влияют на величину предельного напряжения сдвига?

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПИЩЕВЫХ МАСС

1. Цель работы

Научиться определять зависимость адгезионного напряжения от продолжительности контакта при различном напряжении контакта.

2. Общее положение

При проектировании и расчете механизмов и машин и технологических процессов, а также для выбора конструкционного материала и определения технологических режимов работы оборудования, необходимо знать силы взаимодействия между обрабатываемой пищевой массой и поверхностью рабочих органов. Адгезия (липкость), определяющая поверхностные свойства пищевых масс, проявляется на границе раздела между продуктом и твёрдой поверхностью. Адгезия имеет существенное значение в процессе производства пищевых масс, особенно в тех случаях, где возможен контакт между массой и поверхностью обрабатывающей машины. В настоящее время адгезии уделяют большое внимание, особенно при проектировании нового оборудования. Адгезия пищевых масс изучена сравнительно мало, т.к. на её величину влияют многие факторы, такие как температура и влажность массы, геометрические, кинематические и динамические условия, время контактирования массы с поверхностью машины.

Приборы, которые позволяют определить адгезионные свойства пищевых масс, называются адгезиометрами. В большинстве своём адгезиометры выполнены в единичных экземплярах и используются для исследований каких-то определённых масс: кондитерских, мясных и молочных, хлебопекарных и

др. По принципу действия адгезиометры делятся на две группы. Первая группа приборов характерна тем, что нарушение контакта происходит одновременно на всех участках площади (рис. 18). Во второй группе нарушение контакта происходит путём последовательного отрыва отдельных участков, т.е. расслоением, отдираньем (рис. 19).

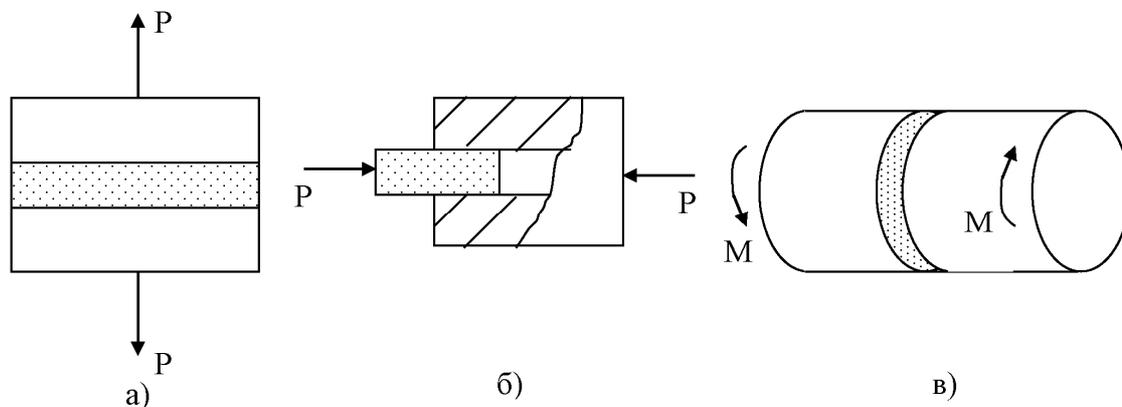


Рис.18. Адгезиометры с одновременным нарушением контакта на всех участках площади

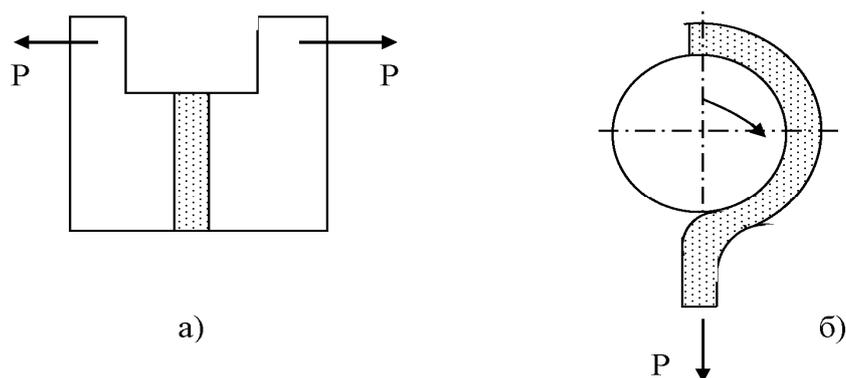


Рис. 19. Адгезиометры с последовательным отрывом отдельных участков

Оба метода определения адгезионной прочности нашли практическое применение.

При первом методе нагрузка может быть приложена в направлении как перпендикулярном к плоскости контакта поверхностей, так и параллельном ей. Нагрузку в данном случае относят к единице площади поверхности контакта. Во втором методе нагрузку, необходимую для расслоения склейки, относят к единице длины. Наибольшее распространение в адгезиометрах получила схема а, изображённая на рис. 18.

3. Порядок выполнения работы

3.1. Аппаратура, материалы и реактивы

Технические весы, стальной диск, груз, штанга, вода, мерные цилиндры, пищевое сырьё.

3.2. Проведение анализа

Для исследований адгезионных свойств пищевой массы необходимо не большое количество массы поместить ровным слоем в ёмкость 1 так, чтобы она немного выступала над уровнем её краёв. Далее аккуратно накрывают массу пластинкой (из органического стекла) и лёгким нажатием уплотняют массу до тех пор, пока поверхность её не станет ровной. После этого ёмкость с массой устанавливают на основание весов под диском 2. На площадку 3 помещают груз минимальной массы, например, 50 г, чему соответствует усилие контакта $R_{кон} = 0,5$ Н. Плавно поворачивают кулачок 10 и приводят прибор в рабочее положение, при этом диск 2 входит в контакт с массой. Через определённое время в чашу 7 весов наливают воду из мерного цилиндра, в который предварительно наливают 400 мл воды, до тех пор, пока не произойдёт отрыв диска 2 от массы.

3.3. Схема лабораторной установки

На рис. 20 показана кинематическая схема прибора, предназначенного для изучения адгезионных свойств пищевых масс. Работа прибора основана на принципе отрыва конструкционного материала (субстрата) от пищевой массы (адгезива). В основе конструкции прибора (адгезиометра) использованы технические весы. Исследуемая масса помещается в емкость 1, которая устанавливается на основание весов. Стальной диск 2 вводят в контакт с массой некоторым постоянным усилием, которое создаётся грузом 4, установленным на площадке 3. Усилие отрыва диска 2 от пищевой массы определяется массой груза 8, который помещается в чаше 7 весов. В нерабочем положении коромысло 5 весов лежит на двух опорах 6. Чтобы привести весы в рабочее положение, необходимо при помощи рукоятки повернуть кулачок 10 на 1/4 оборота, который поднимает штангу 9 вместе с коромыслом 5. Перед проведением эксперимента весы уравниваются.

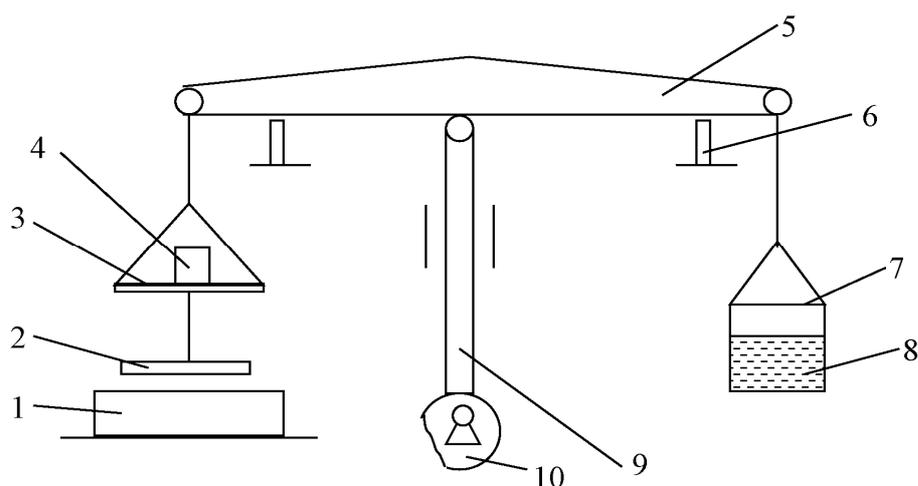


Рис.20. Схема экспериментальной установки

4. Обработка результатов

По количеству вылитой воды из цилиндра определяют усилие отрыва $R_{отр}$:

$$P_{\text{отр}} = \rho \cdot g \cdot V = 0,01 \cdot V, \quad (22)$$

где ρ - плотность воды, 1000 кг/м³;

g - ускорение силы тяжести, ~10 м/с²

V - объём воды, вылитой из цилиндра, мл.

После окончания эксперимента воду из чашки наливают обратно в мерный цилиндр и повторяют эксперимент с той же массой и тем же грузом, но при другом времени контактирования (20, 30, 60, 90, 120 и 180 с). По окончании этой серии экспериментов проводят эксперименты с грузами массой 100, 150 и 200 г.

Полученные результаты записывают и делают вывод об адгезионных свойствах пищевых масс.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое адгезия?
2. Приведите классификацию адгезии пищевых масс в зависимости от их свойств.
3. Каковы особенности адгезии сыпучих пищевых масс?
4. Назовите основные причины адгезии
5. Как влияют изменения фазового состава сырья и пищевых продуктов на адгезию?
6. Назовите взаимосвязь адгезии с другими реологическими характеристиками.
7. Перечислите основные пути снижения адгезии.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. Цель работы

Определить касательные напряжения с помощью конусов с различным углом и проверка зависимости предельного напряжения сдвига от угла конуса, а также углубить знания по структурно-механическим свойствам пищевых продуктов, изучить конструкцию прибора КП-3 и методику измерения характеристик, определить предельное напряжение сдвига мясного фарша.

2. Общее положение

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. 21. В момент начала погружения конуса в продукт напряжение бесконечно велико (площадь касания равна нулю), его скорость равна нулю, а ускорение ($a = d^2h/d\tau^2$) 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.

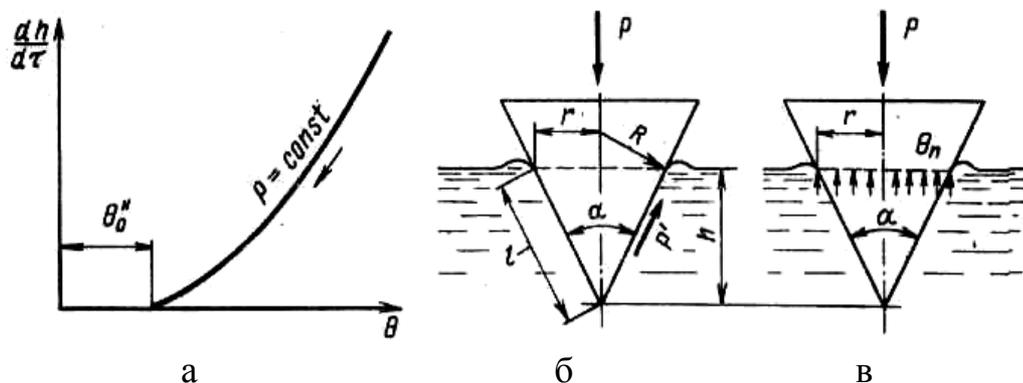


Рис.21. Реограмма и схемы для расчета:

- а - зависимость скорости движения конуса от напряжения сдвига;
- б - схема для расчета предельного напряжения сдвига, в - схема для расчета предельного давления.

При остановке конуса ($dh/d\tau = 0$) погружение будет предельным, и внешняя сила уравновешивается пластической прочностью структуры. Для этого случая отсчитывается предельное напряжение сдвига (отношение силы у «смоченной» части боковой поверхности конуса, рис.21, б) или предельное давление (отношение силы к горизонтальной площади сечения конуса, которое проходит по поверхности продукта, рис.21, в). Выталкивающей силой продукта (Архимедова сила) пренебрегают вследствие ее малости. Если снять полную кривую течения (рис. 21, 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. 21, б). Условия равновесия сил на поверхности конуса получим, проектируя на образующую конуса ℓ движущую силу P и приравнявая ее силе сопротивления P' :

$$P' = P \cos(\alpha/2). \quad (23)$$

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

$$\theta_0^H = P'/F = P \cos(\alpha/2) / \pi r l = K_\alpha m g / h^2, \quad (24)$$

где K_α - константа конуса, α - угол при вершине конуса, град; m - масса конуса, кг;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

h - глубина погружения конуса в продукт, м.

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.

Пенетрацией называется метод измерения структурно-механических характеристик полутвёрдых и твёрдых продуктов путём определения сопротивления продуктов проникновению в них за определенное время инденторов (конус, шар, игла, цилиндр), имеющих строго определённые размер, массу и материал. Исследование может проводиться:

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

На этой основе рассчитываются разные параметры, имеющие отношение к консистенции.

Предельное напряжение сдвига θ_0 как одна из важных реологических характеристик материала, служащая для оценки прочности его структуры, находится при помощи конического пластометра. Метод погружения конуса для характеристики структурно-механических свойств вязко-пластичных тел предложен П.А. Ребиндером и Н.А. Семененко. Идея конических пластометров заключается в том, что по величине глубины погружения конуса в материал под воздействием вертикальной силы можно определить предельное напряжение сдвига материала (рис. 22).

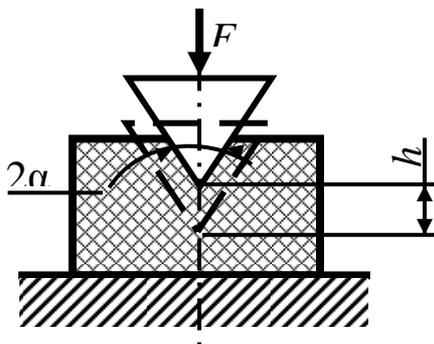


Рис. 22. Схема внедрения конуса

Формула П.А. Ребиндера для определения предельного напряжения сдвига имеет вид:

$$\theta_0 = K_\alpha \frac{F}{h^2}, \quad (25)$$

где K_α – геометрическая константа конуса, зависящая от угла α при его вершине;

F – величина вертикальной внедряющей силы, Н;

h – глубина погружения конуса, м.

Константа конуса рассчитывается по формуле, также предложенной П.А. Ребиндером:

$$K_\alpha = \frac{g}{\pi} \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (26)$$

Следует отметить, что расчет θ_0 с использованием коэффициента K_α из формулы (26) не всегда дает одинаковые результаты при применении конусов с различными углами 2α при их вершине, т.е. результаты измерений не инвариантны по отношению к геометрии конусов.

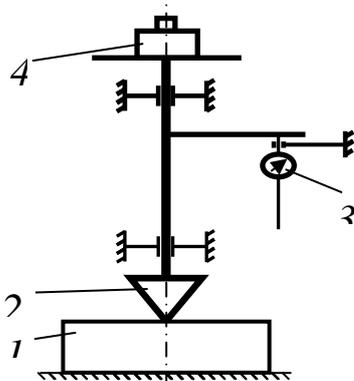


Рис.23. Конический пластометр КП-3

Рядом авторов предложены другие формулы для K_α и поправочные коэффициенты к ним, которые в определенной степени позволяют уменьшить влияние угла 2α при вершине конуса.

Одним из первых серийных приборов этой группы был конический пластометр М.П. Воляровича КП-3, схема которого представлена на рис. 23. Исследуемая масса помещается в сосуд 1 на подъемный столик, вершина конуса 2 приводится в соприкосновение с поверхностью массы. Конус нагружается гирями 4, и с

помощью индикатора 3 определяется глубина погружения конуса до полной его остановки.

У существующих конструкций пластометров имеется ряд общих недостатков, присущих, как всем приборам в общем, так и некоторым приборам в отдельности. К этим недостаткам можно отнести следующее: недостаточная точность измерений структурно-механических свойств продуктов, вследствие ручной подачи индентора к поверхности материала, нагружение с помощью гирь и погрешности в определении глубины погружения конуса. При дальнейшем усовершенствовании конструкций пластометров перешли к способу нагружения конуса механическим способом, что облегчило проведение исследований. Глубину погружения предложено было определять с помощью датчиков индуктивности, тензодатчиков и т.п. Это повысило точность определения структурно-механических характеристик, но при этом диапазон измерений у всех конструкций остается довольно-таки узким, что не отвечает современным требованиям для проведения полномасштабного контроля пищевых продуктов.

3. Порядок выполнения работы

3.1. Аппаратура, материалы и реактивы

Ручная мясорубка, конический пластометр КП-3, технические весы, термостат, металлические емкости, пряничное тесто, секундомер, школьный транспортер, инструменты (нож, разделочная доска), свинина нежирная - 0,25 кг или говядина - 0,25 кг, миллиметровая бумага 1 лист формата А4, карандаш, резинка.

3.2. Подготовка к анализу

Пряничное тесто помещают в специальные металлические ёмкости, слегка уплотняют и выравнивают поверхность так, чтобы края ёмкости находились на одном уровне с поверхностью теста. Ёмкости закрывают крышками, помещают в термостат и выдерживают при температуре опыта до его начала, но не менее 30 мин. Для проведения опыта необходимо приготовить 5 - 8 образцов в зависимости от количества измерений.

3.3. Подготовка прибора к работе

Конический пластометр устанавливают по уровню на столе так, чтобы исключить возможные толчки и колебания прибора во время работы и проверяют наличие всех составных и дополнительных частей и инструментов.

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.

Схема лабораторной установки

Опыты проводятся на коническом пластометре КП-3, схема которого приведена на рис.3.

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 отсчета 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 10⁴ Па; интервал температур - от 2 до 100 ° С; габаритные размеры - 350×350×700мм.

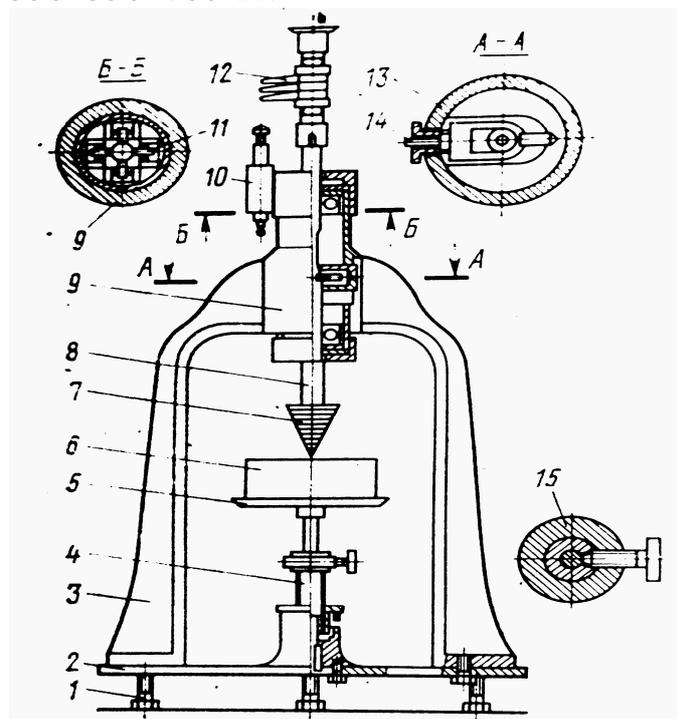


Рис. 24. Конический пластометр КП-3

Подготовьте прибор к измерениям.

Для правильной работы прибора необходимо провести его предварительную подготовку, которая включает: установку прибора по уровню; выбор конуса; массы дополнительных грузов (по необходимости), тарировку индикатора и проведение контрольного испытания (замера).

Установка прибора по уровню. На основание прибора (2) кладут уровнемер и, вращая установочные винты (3), выставляют прибор, совмещая шарик уровнемера с риской 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.

Проведение анализа

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 устанавливают 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.

Измерьте величину угла конуса, массу конуса и штанги, рассчитайте истинную массу грузов, определите константу прибора K_α и результат запишите в табл.7.

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

$$m_{ист} = (m_{конуса} + m_{штанги}) - m_{тр}, \quad (27)$$

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_α принимается по данным Н.Н. Аграната.

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.

4. Обработка и оценка результатов

Проведите испытания образцов и результаты измерения запишите в табл.7. Для точности получения результатов каждый образец подвергается трехкратному измерению.

Рассчитайте для каждого испытания предельное напряжение сдвига, его среднее значение для каждой серии и результаты впишите в табл. 7

Результаты испытаний

Образцы продукта	Константа прибора K_a	Истинная масса грузов $m_{ист}$	Номер испытания	Предельное напряжение сдвига θ_0 , Па	Среднее значение θ'_0 , Па
Однократное измельчение			1		
			2		
			3		
Трехкратное измельчение					
Пятикратное измельчение					

По результатам испытаний сделайте вывод.

Вопросы для самопроверки

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 методики подготовки образца для испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Арет, В.А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции: учеб. пособие / В.А. Арет, Б.Л. Николаев, Л.К. Николаев. – СПб.: ГИОРД, 2009. – 448с.
2. МакКенна, Б.М. Структура и текстура пищевых продуктов. Продукты эмульсионной природы / Б.М. МакКенна; пер.с англ. Ю.Г. Базарновой. – СПб.: Профессия, 2008. – 480с.
3. Калошин, Ю.А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции/ Ю.А.Калошин, Ю.М. Березовский, Л.В. Верняева. – М.: ДеЛи принт, 2011. – 176с.
4. Падохин, В.А. Физико-механические свойства сырья и пищевых продуктов: учеб. пособие/ В.А. Падохин, Н.Р. Кокина; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2007. – 128с.
5. Косой, В.Д. Инженерная реология: пособие для лабораторных и практических занятий / В.Д. Косой. – М.: ГИОРД, 2007. – 664 с.

6. Пищевые эмульгаторы и их применение / под ред. Дж. Хазенхюттля, Р. Гартела; пер.с англ. В.Д. Широковой, – СПб.: Профессия, 2008. – 228с.

7. Жиры и масла. Состав и свойства. Переработка. Применение / под ред. Ричард Д.О'Брайен; пер.с англ. – СПб.: Профессия, 2008. – 752с.

8. Косой, В.Д. Инженерная реология биотехнологических сред / В.Д. Косой, Я.И. Виноградов, А.Д. Малышев. – М.: ГИОРД, 2005. – 648 с.

9. Максимов, Д. С. Реология пищевых продуктов. Реология сырья, полуфабрикатов и готовых изделий хлебопекарной промышленности / Д.С. Максимов, В.Я. Черных. – М.: ГИОРД, 2006. – 178 с.

10. Малкин, А. Я. Реология. Концепции, методы, приложения / А.Я. Малкин, А. И. Исаев. – СПб.: Профессия, 2007. – 560 с.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
Правила и приемы безопасной работы в лаборатории	3
Лабораторная работа №1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВИСКОЗИМЕТРЕ	4
Лабораторная работа №2 СТАНДАРТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ.....	19
Лабораторная работа №3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОПЫТА НА ПОЛЗУЧЕСТЬ	32
Лабораторная работа № 4 ИЗУЧЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПИЩЕВЫХ МАСС	36
Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	39
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	47