

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»**

РЕОЛОГИЯ

Методические указания
для выполнения практических работ
для студентов 2 курса
направления подготовки
35.03.07 Технология производства
и переработки сельскохозяйственной продукции
профиль подготовки
Технологии пищевых производств в АПК

Реология: методические указания для выполнения практических работ для студентов 2 курса направления подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции /Под. ред. Моргуновой Н.Л. Сост. Моргунова Н.Л.// ФГБОУ ВО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2018.- 58с.

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины: "Реология" и предназначены для студентов 2 курса направления подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Направлены на формирование у студентов навыков использования методов и приборной техники измерения структурно-механических свойств пищевых масс и формирования практических рекомендаций по оптимизации, контролю и управлению качеством продукции.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Вязкость жидкости. Определение вязкости с помощью капиллярных вискозиметров.	5
2. Плотность. Определение плотности пикнометрическим методом.	
3,4 Математические и механические модели реологических тел	8
5,6. Напряжение сдвига и деформация. Построение реограмм реологических тел.	14
7 Сдвиговые структурно - механические свойства пищевых продуктов	
Особенности течения реальных пищевых масс	15
8. Компрессионные структурно - механические свойства пищевых продуктов.	20
9. Поверхностные структурно-механические свойства пищевых продуктов.	25
10.. Приборы для измерения сдвиговых характеристик. Вискозиметры.	29
11. Приборы для измерения предельного напряжения сдвига	
Пенетрометры, пластометры	33
12. Приборы для определения компрессионных характеристик	
13. Приборы для определения поверхностных характеристик	
14. Насосы, применяемые в пищевой промышленности.	40
15. Реологические расчеты	
16. Современные приборы и методы определения качества продуктов	
Список литературы	55
Приложение	56

ВВЕДЕНИЕ

Пищевая индустрия XXI века стремительно развивается, более чем втрое за последние годы возросла доходность пищевой промышленности, что позволило сделать её конкурентоспособной по мировым меркам. С возрастающей конкуренцией в этой области многие предприятия уделяют все большее внимание проблемам экономической эффективности и качеству производимой ими продукции. Как известно, различные пищевые продукты обладают не только разнообразным химическим составом, но и различными свойствами, что влияет на качество продукции. При проектировании машин и аппаратов для выпуска пищевых продуктов необходимо учитывать различные свойства тех или иных продуктов, что не всегда выполняется.

РЕОЛОГИЯ (от греч. rheos – течение, поток и logos – слово, учение) – наука о деформациях и текучести вещества. Рассматривает процессы, связанные с необратимыми остаточными деформациями и течением разнообразных вязких и пластичных материалов, явления релаксации напряжений и т.д.

Реология тесно связана с гидромеханикой, теориями упругости, пластичности и ползучести, в ней широко пользуются методами вискозиметрии и т.д. Для технологов мясной и молочной промышленности знание реологических характеристик пищевых продуктов необходимое условие успешной работы. Задача данного курса состоит в освоении реологических понятий, методов и навыков для применения полученных знаний в пищевой промышленности. Реологические явления проявляются во многих природных процессах и в большом числе технологических. Данное направление является актуальным и перспективным для молодых специалистов в изучении, для применения знаний на производстве и в научно-исследовательской деятельности.

В зависимости от поставленной задачи, исследованные реологические характеристики могут быть использованы для определения и контроля качества готового продукта, регулирования параметров технологического процесса производства, служить исходными данными при конструировании технологического оборудования и "конструирования" тех или иных видов пищевых продуктов и т.п.

Тема 1. Вязкость жидкости. Определение вязкости с помощью капиллярных вискозиметров

Цель занятия: Изучить методику определения вязкости с помощью капиллярных вискозиметров.

Основные понятия

Рассмотрим вязкость, как одну из важнейших характеристик сдвиговых свойств пищевых продуктов.

Вязкость – способность тела оказывать сопротивление относительно смещению его слоев. Вязкое течение реализуется в истинно-вязких, ньютоновских жидкостях при любых, сколь угодно малых напряжениях сдвига. Полная вязкость жидкости складывается из ламинарной (ньютоновской), турбулентной и объемной вязкостей.

Вязкость объясняется возникновением при движении внутреннего трения между частицами. Силы внутреннего трения направлены вдоль поверхности соприкасающихся слоев и зависят от их относительных скоростей.

Вязкость представляет собой свойство жидкости сопротивляться сдвигу (скольжению) ее слоев. Это свойство проявляется в том, что в жидкости при определенных условиях возникают касательные напряжения. Вязкость есть свойство, противоположное текучести.

При течении вязкой жидкости вдоль твердой стенки происходит торможение потока, обусловлено вязкостью. Скорость v уменьшается по мере уменьшения расстояния y от стенки вплоть до $v=0$ при $y=0$, а между слоями происходит проскальзывание, сопровождающееся возникновением касательных напряжений (напряжений трения).

Согласно гипотезе Ньютона, касательное напряжение в жидкости зависит от ее рода и характера течения и при слоистом течении изменяется прямо пропорционально так называемому поперечному градиенту скорости. Таким образом напряжение сдвига имеет вид

$\tau = -\mu (dv/dy)$ – это уравнение выражает закон внутреннего трения Ньютона.

где μ – коэффициент пропорциональности, получивший название динамической вязкости жидкости;

dv – приращение скорости, соответствующее приращению координаты dy (см. рис).

Знак «минус» указывает на то, что напряжение сдвига тормозит слой, движущийся с относительно большей скоростью.

Для ньютоновских сред динамическая вязкость характеризует сопротивление ламинарному течению. Если изменение скорости течения при удалении от поверхности слоя на расстояние 1 м по нормали равно 1 м/с, то напряжение сдвига составляет 1 Па.

Динамическая вязкость η (μ) (в Па·с) может быть выражена формулой:

$$\mu = (F/S) \cdot (dy/dv) = H \cdot m \cdot c / (m^2 \cdot m) = \text{Па} \cdot \text{с} \quad (1)$$

где P – сила, приложенная из вне, Н; F – площадь действия силы, m^2 ; y – расстояние между слоями, м; v – скорость сдвига, м/с.

В системе СГС за единицу вязкости принимается пуаз, $1\text{П} = 1 \text{ дин} \cdot \text{с} / \text{см}^2$. Так как $1 \text{ дин} = 10^{-5} \text{ Н} = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ кгс}$, а $1 \text{ м}^2 = 10^4 \text{ см}^2$, то $1\text{П} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 0,0102 \text{ кгс} \cdot \text{с} / \text{м}^2$. Учитывая, что ньютон измеряется в $\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$, размерность μ можно представить и так $\mu = \text{Па} \cdot \text{с} = \text{Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2 = \text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с} / \text{м}^2 \cdot \text{с}^2 = \text{кг} / \text{м} \cdot \text{с}$.

Наряду с динамической вязкостью применяют **кинематическую**, которая определяется по формуле

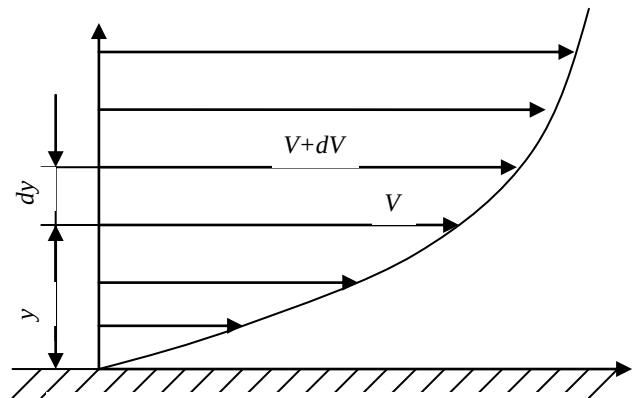


Рис.1 Профиль скоростей при течении вязкой жидкости вдоль стенки.

$$\nu = \mu / \rho = \mu g / \gamma \quad (2)$$

Единицей измерения кинематической вязкости является стокс. $1 \text{ Ст} = 1 \text{ см}^2/\text{с}$,
 $\nu = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{кг}} = 1 \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = 10^4 \text{ см}^2/\text{с} = 10^4 \text{ Ст}$. Сотая доля стокса называется сантистоксом (сСт).

Вязкость капельных жидкостей зависит от температуры и уменьшается с увеличением последней. Вязкость газов, наоборот, с увеличением температуры возрастает.

Вязкость жидкости в значительной степени зависит от температуры и давления. При увеличении температуры капельной жидкости коэффициенты её вязкости (как динамический, так и кинематический) резко снижается в десятки и сотни раз, что обусловлено увеличением внутренней энергии молекул жидкости по сравнению с энергией межмолекулярной связи в жидкости.

Газы обладают несравнимо более низкими коэффициентами вязкости от 0,0000084 до 0,0000192 $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$, и в отличие от капельных жидкостей вязкость газов увеличивается при увеличении температуры, т.к. с увеличением температуры газа возрастают скорости теплового движения молекул и, соответственно, увеличивается число соударений молекул газа, что делает газ более вязким. Зависимость вязкости газа от давления ничем не отличается от аналогичной зависимости для капельных жидкостей.

Измерение вязкости жидкостей осуществляется с помощью вискозиметров, работающих на принципе истечения жидкости через малое калиброванное отверстие; вязкость вычисляется по скорости истечения.

Кроме деформации сдвига внутреннее сопротивление в жидкости возникает и при объёмном сжатии жидкости, т.е. сжимаемая жидкость стремится восстановить состояние первоначального равновесия. Этот процесс, в некоторой степени, аналогичен проявлению сил сопротивления при деформации сдвига, хотя сам процесс и отличается по своей сути. По этой причине говорят, что в жидкости проявляется так называемая вторая вязкость ξ , обусловленная деформацией объёмного сжатия жидкости.

Стенд для измерения вязкости состоит из вискозиметра, помещенного в открытый или герметичный сосуд, и ультратермостата. Термостатирование исследуемой жидкости в приборе занимает 10-30 мин, что определяется ее объемом. За это время температура достигает температуры жидкости из термостата и восстанавливается структура. При кратковременном термостатировании температурные ошибки дают существенные отклонения вязкости от истинных ее значений рис 1.



Рис. 2 Стенды для измерения вязкости жидкости

а) при различных температурах 1. капиллярный вискозиметр, 2. сосуд для термостатирующей жидкости, 3. ультратермостат.

б) при различных перепадах давлений. 1. воздушный насос, 2. бутылка моностат, 3. жидкостный манометр, 4. ловушка для жидкости, 5. трубка для вискозиметра

При измерении вискозиметрами типа Уббелодде (рис. 2б) необходимо с одной стороны капилляра создавать давление или вакуум. Для этого используют специальную установку (рис. 1б). Эта установка состоит из воздушного насоса, который может работать как компрессор или вакуум-насос, бутылки-моностата объемом 8-10 л 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 измерений давление во всех емкостях

должно быть выровнено. Избыточное давление при течении жидкости по капилляру создает возможность турбулизации потока, поэтому проверку на ламинарность по критерию Рейнольдса следует провести особенно тщательно.

Установлено, что переходу от ламинарного к турбулентному режиму соответствует критическое число Рейнольдса $Re_{кр}$, которое в общем виде принимается как $Re_{кр}=2300$. Турбулентное движение наблюдается при $Re > 2300$, ламинарное при $Re < 2300$.

$$Re = \frac{\rho \omega l}{\eta} \text{ или } Re = \frac{\omega l}{\nu}, \quad (3)$$

где ρ – плотность;

η – коэффициент динамической вязкости жидкости или газа, Па·с;

ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

ω – характерная скорость потока;

l – характерный линейный размер.

Так, при течении в круглых цилиндрических трубах обычно принимают $l = d_e$, где d_e – внутренний диаметр трубы.

Общими условиями в методике работы на всех приборах является компоновка стенда и строгая горизонтальная или вертикальная установка прибора, заполнение сухого тщательно промытого прибора исследуемым продуктом и его термостатирование при выбранной температуре, измерение времени истечения определенного объема, которое обусловлено вязкостью и разностью высот или гидростатических давлений. Перед рабочими измерениями приборы тарируют по эталонной жидкости – дистиллированной воде, сахарному раствору или касторовому маслу. У абсолютных приборов, не требующих градуировки, константы определяют по размерам рабочих органов в соответствии с уравнением Пуазейля.

Для определения вязкости на приборе Уббеллоде сначала записывают экспериментально полученные время истечения воды и вязкость воды. Затем, исходя из уравнения Пуазейля (4) находят вязкость по формуле (5):

$$\theta_c = \eta \frac{4V_c}{\pi R^3} = \eta \frac{32V_c}{\pi d^3} \quad (4)$$

где θ_c – напряжение сдвига;

R – радиус трубы;

V_c – расход жидкости, м³/с;

d – внутренний диаметр;

η – коэффициент динамической вязкости жидкости или газа, Па·с.

Тогда применительно к капиллярной вискозиметрии это уравнение примет вид:

$$\eta = \eta_v \frac{\rho \tau}{\rho_v \tau_v} \quad (5)$$

где ρ_v и ρ – плотность воды и исследуемой жидкости;

τ_v, τ – время истечения воды и исследуемой жидкости.

Меняя давление ρ_v истечения можно построить градуировочные реограммы, которые позволяют вычислить константы для рабочих измерений. Вискозиметр Уббеллоде можно использовать как относительный и абсолютный.

При вычислении констант прибора по данному уравнению следует иметь в виду, что геометрические измерения необходимо проводить с чрезвычайно высокой точностью. Если капилляр имеет диаметр 0,001 м (1 мм) и измерен с точностью до 0,0001 м (0,1 мм), то относительная ошибка при измерениях достигает 40%. Поэтому капиллярные вискозиметры предпочтительнее тарировать по эталонной жидкости.

Вискозиметр Оствальда (рис. 2а) используют как относительный прибор. Расчетная формула примет вид:

$$\eta = K\rho\tau, \quad (6)$$

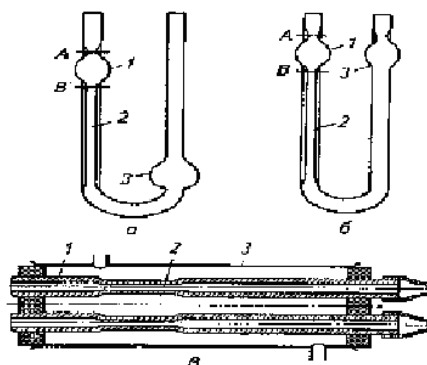


Рис. 3 Принципиальные схемы капиллярных вискозиметров для определения вязкости ньютоновских жидкостей и жидкообразных систем.

а – Оствальда; б- Убеллоде: 1-шарик для измерения объема протекающей жидкости через капилляр жидкости, 2- капилляр, 3 – шарик для сбора жидкости; **в – с двумя параллельно работающими капиллярами:** 1-широкая трубка, 2 – капилляр, 3 – водяная рубашка.

где K – вводная 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.

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему, делают краткий конспект, изучают устройство и принцип действия капиллярных вискозиметров с помощью виртуальной лабораторной работы. В конце занятия устный опрос.

Оборудование

Компьютер с выходом в Интернет

Список литературы

<http://fcior.edu.ru/> Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов.

Тема 2. Плотность. Определение плотности пикнометрическим методом

Цель занятия: Изучить метод определения плотности пикнометрическим способом.

Основные понятия

Одной из характеристик, описывающих физические свойства вещества, является его плотность, равная массе вещества, заключенной в единице объема:

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

В Международной системе единиц (СИ) плотность измеряется в $\text{кг}/\text{м}^3$.

Удельным весом тела называется физическая величина численно равная весу единицы объема:

$$\gamma = \frac{P}{V}, \text{ Н/м}^3 \quad (2)$$

Плотность и удельный вес связаны между собой соотношением

$$\gamma = \rho \cdot g, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения.

Пикнометр представляет собой стеклянный сосуд определенного объема. Наиболее распространенный тип пикнометра имеет вид колбочки с узким горлышком, на котором нанесена метка (рис. 4). Жидкость наливается пипеткой до указанной метки. Это контролирует постоянство объема наливаемой жидкости. Из формулы (1) следует, что для вычисления плотности необходимо определить массу и объем исследуемого тела. Массу тела можно измерить взвешиванием, которое проводится с помощью рычажных весов. На них масса тела непосредственно сравнивается с массой гирь, весы уравниваются при равенстве масс.

Методика определения плотности жидкости с помощью пикнометра сводится к определению массы пустого пикнометра m_0 , массы пикнометра с дистиллированной водой m_1 и массы пикнометра с исследуемой жидкостью m_2 .

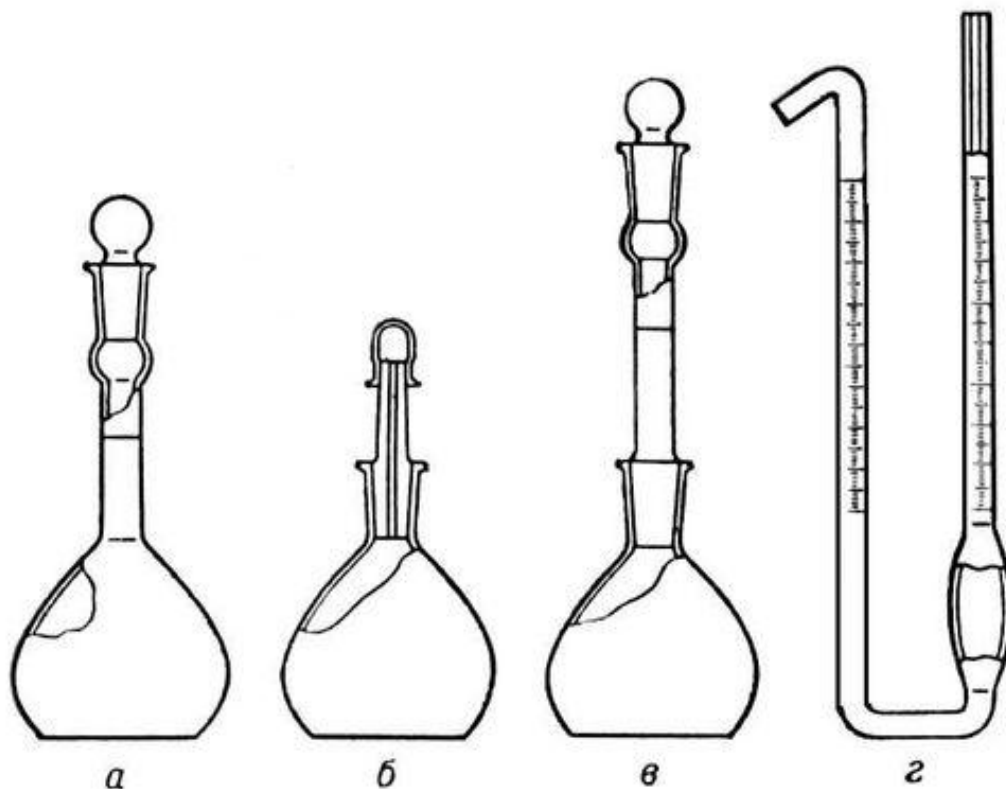


Рис. 4. Пикнометры

а — колбообразный с меткой и глухой притёртой пробкой (для жидкостей); б — колбообразный с капиллярным отверстием в пробке (для жидкостей); в — колбообразный со съёмной горловиной (для твёрдых веществ); г — U-образный капиллярный (для летучих жидкостей).

Объем пикнометра (до метки) будет равен:

$$V = \frac{m_{\text{воды}}}{\rho_0}, \quad (4)$$

ρ_0 - плотность дистиллированной воды.

Тогда плотность исследуемой жидкости будет равна

$$\rho_{\text{жс}} = \frac{m_{\text{жс}}}{V} = \rho_0 \cdot \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}, \quad (5)$$

Определение плотности твердого тела

Пикнометром можно определить плотность твердого тела, если его размеры позволяют поместить тело в пикнометр. Обычно исследуемое тело берется в виде дробинки, песчинки, небольших кусочков, легко проходящих через горлышко пикнометра.

Определяя плотность твердого тела, исходят из следующих соображений. Пусть общая масса дробинки m , масса пикнометра, заполненного до метки дистиллированной водой, m_1 . При погружении в пикнометр с водой исследуемого твердого тела (дробинки) оно вытеснит объем воды, равный объему тела. Удалим вытесненную воду, доведя уровень оставшейся воды до метки пикнометра. Массу пикнометра с водой и опущенным в него твердым телом обозначим m_3 .

Масса вытесненной воды будет равна $(m_1 + m - m_3)$, а ее объем, равный объему твердого тела, определится как:

$$V = \frac{m_1 + m - m_3}{\rho_0}, \quad (6)$$

Искомая плотность твердого тела вычисляется по формуле:

$$\rho_{\text{тв.т}} = \frac{m}{V} = \frac{m}{m_1 + m - m_3} \cdot \rho_0, \quad (7)$$

Формулы (6) и (7) описывают приближенные значения плотности, так как не учитывают потери веса тел при взвешивании в воздухе (архимедову силу воздуха).

Для нахождения исправленных значений плотности жидкости и твердого тела необходимо вычислить поправки на выталкивающую силу воздуха. Для жидкости эта поправка определяется по формуле:

$$\lambda \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{жс}}}{\rho_0} \right), \quad (8)$$

а для твердого тела по формуле:

$$\lambda \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{тв.т}}}{\rho_0} \right), \quad (9)$$

где $\lambda = 1,2 \text{ кг/м}^3$ - плотность воздуха. В результате значения плотности определяются как

$$\rho_{\text{жс.испр}} = \rho_{\text{жс}} + \lambda \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{жс}}}{\rho_0} \right), \quad (10)$$

$$\rho_{\text{тв.т.испр}} = \rho_{\text{тв.т}} + \lambda \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{тв.т}}}{\rho_0} \right). \quad (11)$$

Контрольные вопросы:

1. Что называется плотностью вещества? В каких единицах измеряется плотность?
2. Дайте определение удельного веса вещества. Назовите единицы измерения удельного веса. Выведите соотношение между удельным весом и плотностью.
3. Что такое непоправленная плотность?
4. Дайте формулировку закона Архимеда.
5. Какая разница существует между массой и весом тела?

6. Чем отличаются сила тяжести и вес тела?
7. От чего зависит ускорение свободного падения тела?
8. Что такое пикнометр? Почему метка находится на узкой части пикнометра?

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему, делают краткий конспект, изучают устройство и принцип действия пикнометров с помощью виртуальной лабораторной работы. В конце занятия устный опрос.

Оборудование

Компьютер с выходом в Интернет

Список литературы

<http://fcior.edu.ru/> Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов.

Тема 3,4. Математические и механические модели реологических тел

Цель занятия: Изучить механические модели реологических тел; знать основные математические модели (уравнения), применяемые к реологическим телам.

Основные понятия

Математическая модель механических свойств какой-либо среды задается уравнением, связывающим напряжения, имеющиеся в окрестности некоторой точки среды, и деформации, возникающие вследствие этого, причем в это уравнение могут входить и скорости напряжений и деформаций, т.е. их производные по времени, и интегралы по времени от напряжений или деформаций. Это уравнение называется **реологическим уравнением** состояния среды или ее определяющим соотношением, и играет роль, аналогичную роли уравнения состояния идеального газа, нужно только иметь в виду, что уравнение состояния газа гораздо точнее отражает свойства конкретного газа, чем реологическое уравнение – свойства некоторой вязко-упруго-текучей среды, что объясняется очевидной причиной – очень высокой сложностью тех сред, которые изучает реология.

Реология, как наука о деформации и течении реальных тел исходит из феноменологического поведения тел при механическом нагружении. Она исследует соотношение между действующим на тело напряжением и его деформацией. Простой и наглядный способ построения реологического уравнения состоит в том, что каждое основное свойство среды можно смоделировать подходящим элементом, то есть **упругость** – пружиной, **вязкость** – поршнем в цилиндре с вязкой жидкостью, **пластичность** – элементом с сухим трением. Соединив тем или иным образом эти элементы, получают модель образца для механических испытаний, свойства которого в общих чертах можно определить теоретически.

Механическая модель **упругого** тела (**рис.а**) представляет собой пружину. Эту механическую модель реологического тела называют **Гуковым** телом, которая описывается законом Гука:

$$\begin{aligned}\sigma &= \varepsilon E \\ \theta &= \varepsilon G,\end{aligned}\quad (1)$$

где, σ – напряжение при сжатии;

θ – напряжение при растяжении и сдвиге;

ε – относительная деформация;

E, G – модули упругости соответственно первого и второго рода.

Механическая модель **вязкого** реологического тела (представлена на **рис.б.**), называется **Ньютоновым** телом, представляющим собой цилиндр и поршень с отверстиями. Это течение описывается уравнением Ньютона:

$$\theta = \eta \dot{\varepsilon} \text{ или } F = \eta S \frac{du}{dx} \quad (2)$$

где η – коэффициент динамической или абсолютной вязкости,

который характеризует величину усилий, возникающих между двумя элементарными слоями жидкости при их относительном

смещении, Па·с;

F – сила сопротивления между двумя элементарными слоями, Н;

S – площадь поверхности сопротивления этих слоев, м²;

$\frac{du}{dx}$ – градиент скорости, т.е. интенсивность изменения скорости по нормали к

ее вектору, с⁻¹.

На следующем рисунке (**рис. в**) показана модель **Сен-Венанова** тела, представляющего собой пару трения скольжения. Это механическая модель **пластичного** реологического тела.

Комбинируя названные ранее три основных модели, можно вывести уравнения напряжений и деформаций для различных реальных тел. Модель, составленную из пружинок и поршеньков, можно только растягивать и сжимать, но растяжению в модели могут соответствовать и сжатие, и сдвиг, и объемная деформация.

Рассмотрим механическую модель **упруго вязкого** тела (**рис.г**) с **релаксацией напряжений**, так называемая модель **Максвелла**, представленная упругой и вязкой составляющими в виде пружины и поршня с цилиндром. Воспользовавшись законом Гука (упругое тело) и уравнением Ньютона (вязкое тело) Максвелл вывел уравнение для упруго вязкого тела:

$$\frac{d\varepsilon}{d\tau} = \frac{1}{G} \frac{d\theta}{d\tau} + \frac{\theta}{\eta} \quad \text{или} \quad \dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\theta}}{G} + \frac{\theta}{\eta} \quad (3)$$

Рассмотрим вывод уравнения Максвелла (3). Под действием напряжения в теле возникает деформация ε , имеющая во времени определенную скорость $\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{d\tau}$, которая складывается из упругой $\varepsilon_{упр}$ и вязкой составляющей $\varepsilon_{вяз}$.

Упругую составляющую находят, **дифференцируя закон Гука** (см. форм. 1) по времени:

$$\theta = G\varepsilon \rightarrow \frac{d\theta}{d\tau} = G \frac{d\varepsilon}{d\tau}, \quad \text{откуда} \quad \left(\frac{d\varepsilon}{d\tau} \right)_{упр} = \frac{1}{G} \frac{d\theta}{d\tau} = \frac{1}{G} \dot{\theta}$$

Вязкую составляющую определяют из **уравнения Ньютона** (см. форм. 2):

$$\theta = \eta \dot{\varepsilon} \quad \text{или} \quad \theta = \eta \frac{d\varepsilon}{d\tau} \rightarrow \left(\frac{d\varepsilon}{d\tau} \right)_{вяз} = \frac{\theta}{\eta}.$$

Суммируя две составляющие, получают уравнение Максвелла:

$$\frac{d\varepsilon}{d\tau} = \frac{1}{G} \frac{d\theta}{d\tau} + \frac{\theta}{\eta} \quad \text{или} \quad \dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\theta}}{G} + \frac{\theta}{\eta}$$

Пусть в начальный момент к образцу прикладывается усилие, вызывающее напряжение θ_1 , при этом в образце возникает деформация. Если эту деформацию поддерживать постоянной, ($\varepsilon = \text{const}$, $\frac{d\varepsilon}{d\tau} = 0$), то напряжение, убывает со временем экспоненциально (релаксация напряжений), и за время τ_p уменьшается в e раз, ($e = 2,71828$ – основание натуральных логарифмов).

$$\theta = \theta_1 e^{-\frac{\tau}{\tau_p}}, \quad (3.1)$$

где τ – время, с;

τ_p – время (период) релаксации, с;

θ – напряжение, Па;

θ_1 – начальное значение напряжения, Па.

Таким образом, время релаксации τ_p характеризует скорость убывания напряжений в описанном процессе при $\varepsilon = \text{const}$, который называется процессом релаксации.

Реологическое уравнение Максвелла пригодно для качественного описания процессов. Для хорошего количественного описания используются более сложные модели.

Фойгт-Кельвин предложил схему, в которой упругий и вязкий элементы соединены параллельно, т.е. так, что их деформации одинаковы (**рис.д**). Механическую модель Фойгта-Кельвина - **упруго вязкого тела с релаксацией деформаций**, можно описать следующим уравнением:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\max} e^{-\frac{\tau}{\tau_p}}, \quad (4)$$

где ε – деформация;

$\varepsilon_{\max}$ – максимальная деформация.

Это уравнение получено при снятии напряжений ($\theta=0$) и интегрировании в пределах от ε до $\varepsilon_{\max}$ и от 0 до τ .

Если напряжение не равно нулю, а будет величиной постоянной ($\theta_2 = \text{const}$) при $\tau > 0$, то в результате интегрирования можно получить следующую зависимость:

$$\varepsilon = \frac{\theta_2}{G} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_p}} \right), \quad (4.1)$$

где θ_2 – постоянное напряжение, Па;

τ_p – время релаксации, с;

G – модуль упругости второго рода, Па.

Механическая модель **упруго пластичного** тела (**рис. е**), представляет собой пару трения скольжения и пружину. Для вывода уравнения упруго - пластичной среды, можно воспользоваться уравнением Максвелла, где вместо вязкой составляющей вводят скорость деформации ползучести:

$$\left(\frac{d\varepsilon}{d\tau} \right)_{\text{полз.}} = B\theta^m, \quad (5)$$

где B и m – опытные величины для данного тела.

Затем складывают скорости деформаций упругой и ползучести:

$$\frac{d\varepsilon}{d\tau} = \frac{1}{G} \frac{d\theta}{d\tau} + B\theta^m, \quad (6)$$

Если в уравнении $m=1$, то получается уравнение Максвелла. При этом $B=1/\eta$.

Механическая модель **пластично-вязкого** тела состоит из вязкой и пластичной составляющих. При сложении соответствующих напряжений, получают уравнение **Шведова-Бенгама**:

$$\theta = \theta_0 + \eta \frac{d\varepsilon}{d\tau}, \quad (7)$$

где θ_0 – предельное напряжение, Па;

η – коэффициент вязкости, Па·с.

Это уравнение используют для описания деформационного поведения многих (молочных, мясных) пищевых продуктов.

Механическую модель **упругопластично-вязкого** тела описал **Ф.Н. Шведов**, предполагая, что наряду с обратимой, упругой деформаций в теле появляется и остаточная деформация:

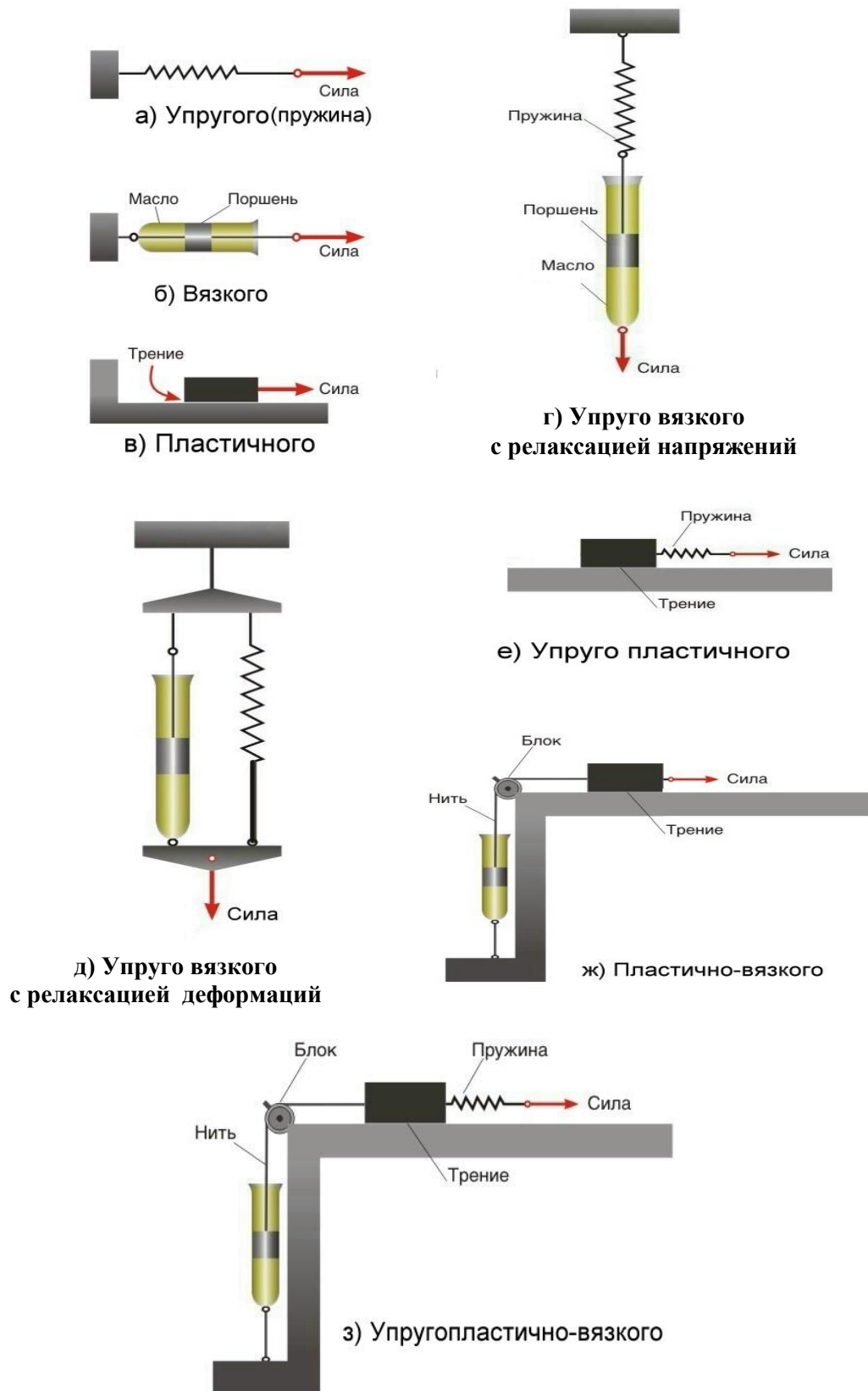


Рис. 5 Механические модели реологических тел

$$\theta = G\varepsilon_{y\max} + \left(\varepsilon_{y\max} - \varepsilon_{y\max} \right) e^{-\frac{\tau}{\tau_p}}, \quad (8)$$

где $\varepsilon_{y\max}$ - максимальная упругая деформация;

$\varepsilon_{y\max}$ - остаточная деформация.

Для описания деформирования сложных тел пользуются и другими уравнениями, но данные уравнения реологических тел являются основными.

Реологические модели, получаемые путем комбинирования основных элементов (упругость, вязкость, трение) качественно описывают поведение под нагрузкой реальных сред, наблюдаются при этом значительные количественные отклонения.

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему, делают краткий конспект, моделируют математические модели для разных реологических тел. В конце занятия тестирование.

Оборудование

Компьютер

Список литературы

1. Арет, В.А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции : учебное пособие [Текст] / В. А. Арет, Б. Л. Николаев, Л. К. Николаев. - СПб.: ГИОРД, 2009. - 448 с.: ил - ISBN 978-5-98879-066-2

Тема 5,6 . Напряжение сдвига и деформация. Построение реограмм реологических тел.

Цель занятия: изучить принципы построения реологических кривых.

Основные понятия

Рассмотрим реологические кривые для твердообразных систем (рис. 6). С увеличением напряжения сдвига до точки 1 происходит только упругая деформация, слои друг относительно друга не перемещаются, материал ведет себя как твердое тело, вязкость системы бесконечно велика.

Величина $\theta_{ст}$ (статическое предельное напряжение сдвига) характеризует переход системы из состояния покоя в состояние медленного перемещения одного слоя относительно другого (ползучесть) без заметного разрушения структуры. Деформация становится высокоэластичной, вязкость принимает максимальное значение ($\eta_{\max}$) и называется пластической или шведовской.

Величина $\theta_{ст}$, или более распространенное на практике обозначение θ_0 — предельное напряжение сдвига неразрушенной структуры, является одной из основных реологических характеристик пластично-вязких материалов. Под предельным напряжением сдвига понимают напряжение, по достижении которого материал начинает необратимо деформироваться (течь).

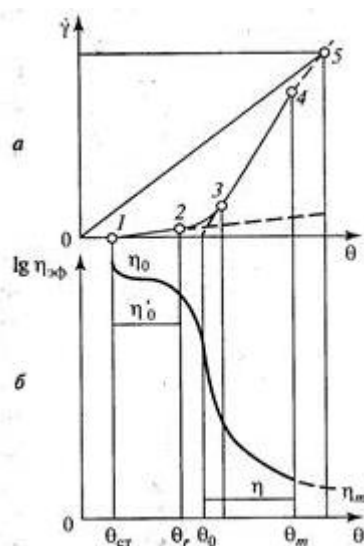


Рис. 6. Реологические кривые для твердообразных систем:

- а — зависимость градиента скорости от напряжения сдвига;
- б — зависимость логарифма эффективной вязкости от напряжения сдвига;
- 0—1 — зона упругих деформаций;
- 1—2 — зона начала течения с наибольшей эффективной и пластической вязкостью;
- 2—3 — начало зоны лавинного разрушения структуры;
- 3—4 — зона лавинного разрушения структуры (течение с наименьшей пластической вязкостью);
- 5 и выше — зона ньютоновского течения с постоянной вязкостью предельно разрушенной структуры

Для большей наглядности представим себе кубик (рис. 7), который нижним основанием приклеен к неподвижной плоскости, а к верхнему основанию приложено напряжение θ . В результате кубик превратится в ромбоэдр, так как его боковые стороны сдвинутся на угол ϵ . Этот угол называется углом сдвига. Он зависит от приложенного напряжения и свойств материала.

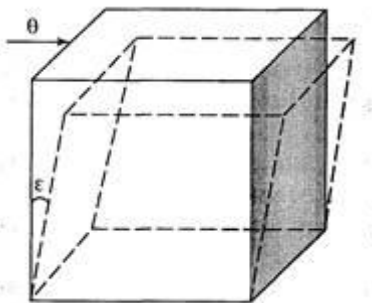


Рис. 7. Деформация сдвига

Если напряжения сдвига малы, то и углы невелики и исчезают после того, как будут сняты напряжения, в этом случае тело проявляет упругие свойства. Если приложены большие напряжения, получаются большие углы ϵ , после снятия напряжений углы сдвига могут частично уменьшаться, но не до нуля, т. е. появятся остающиеся углы сдвига ϵ' . Напряжения, при которых они появляются, называются пределом упругости и характеризуют предельное напряжение сдвига.

Участок 2—3 (см. рис. 6) соответствует интенсивному (лавинному) разрушению структуры в системе. Начало разрушения θ_t означает переход ползучести в течение с постоянно изменяющейся вязкостью, называемой эффективной вязкостью $\eta_{\text{эф}}$.

Эффективная вязкость — это итоговая характеристика для данного напряжения сдвига, характеризующая равновесное состояние между процессами восстановления и разрушения структуры, а также ориентации частиц в направлении установившегося ламинарного потока жидкости.

Участок 3—4 (прямая линия) отвечает течению системы с разрушенной структурой. Величина θ_0 , отсекаемая на оси абсцисс продолжением прямолинейного участка, называется динамическим или бингамовским предельным напряжением сдвига.

Величина θ_{max} соответствует практически полному разрушению структурных элементов. Вязкость системы принимает минимально возможное значение.

Предельное напряжение сдвига является одним из основных показателей, характеризующим консистенцию мучного теста, который зависит от технологии приготовления, влажности и температуры теста. Например, сырцовый способ приготовления пряничного теста обеспечивает наибольшее значение предельного напряжения сдвига, которое для пряничного теста варьирует в зависимости от рецептуры и влажности теста. Наиболее высокое значение предельного напряжения сдвига отмечено у пряничного теста, в рецептуру которого не входят естественные эмульгаторы.

Деформация

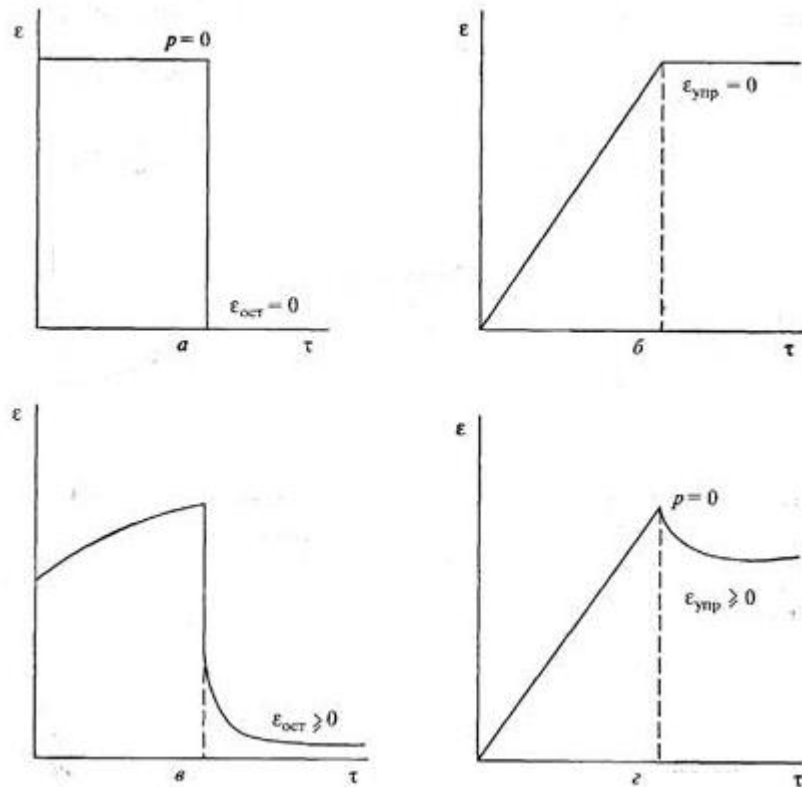


Рис. 8 Схема зависимости деформации ϵ от времени τ при постоянном напряжении

На рис. 8 приведены графики зависимости деформации ε от времени деформирования τ при постоянном напряжении для твердых, твердообразных, жидких и жидкообразных структур пищевых продуктов.

Для идеально твердых тел (рис. 8, а) основной характеристикой является модуль упругости, определяемый по величине упругой, исчезающей после снятия напряжений деформации $\varepsilon_{\text{упр}}$. Определить вязкость твердого тела не представляется возможным из-за отсутствия у него пластической остаточной деформации ($\varepsilon_{\text{ост}} = 0$).

Измерение величины упругих деформаций и модулей у некоторых твердых (кристаллических) структур также связано со значительными трудностями из-за малой величины этой деформации, хрупкости. Для таких тел определяют прочность или критическое напряжение разрушения структуры. При этом испытываемый образец нагружают постепенно, увеличивая напряжение до критического, соответствующего разрушению структуры. В структуре постепенно развиваются дефекты (например, трещины). Критическое напряжение, или прочность, бывает значительно меньше, чем модуль упругости, определенный по величине мгновенной упругой деформации, протекающей в доли секунды.

У идеальных, или истинных, жидкостей (рис. 8, б) представляется возможным определить только вязкость, так как вся получаемая деформация является остаточной ($\varepsilon_{\text{ост}} = 0$) и после снятия нагрузки не исчезает.

У идеально твердых тел и жидкостей по указанным выше причинам нельзя определить период релаксации напряжений.

У большинства продуктов можно определить как упругие, так и остаточные деформации и по ним рассчитать модули упругости, вязкость и период релаксации. На рис. 3, в представлен пример для твердообразных, а на рис. 8, г — для жидкообразных продуктов.

Таким образом, многочисленные реальные твердые тела обладают мгновенной обратимой упругостью и запаздывающей упругостью, а после превышения предела текучести возникает пластическое течение.

Пищевые продукты и полуфабрикаты, такие, как тесто, творожные массы, мясные и рыбные фарши, мясо, шпик, фруктовые и овощные пюре, джемы, повидло, сливочное масло и маргарины, кремы, относятся к пластично-вязким твердообразным структурами, и их деформационное поведение, или течение, отличается от поведения ньютоновских жидкостей или твердых тел.

Для неразрушенных структур существует два основных типа кривых кинетики деформации.

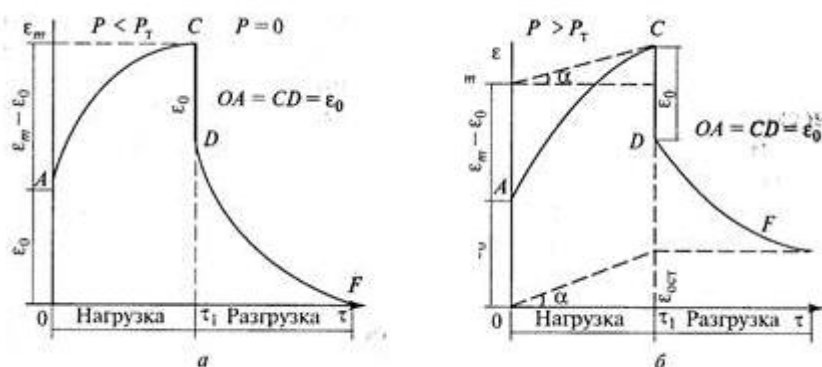


Рис. 9. Схема зависимости деформации ε от времени для неразрушенных структур

В первом случае (рис. 9, а) приложенное напряжение меньше предела текучести ($P < P_T$). Этот тип встречается очень редко, например, при действии малых напряжений на пищевые студни деформация может быть полностью обратимой.

При мгновенном действии напряжения возникает упругая деформация как мгновенная реакция тела на внешнее воздействие OA . Ее величина определяется силами

первичных химических связей. Вслед за мгновенной, упругой развивается уже во времени высокоэластичная деформация, также обратимая по величине A C . Ее величина характеризует силу связи между отдельными макромолекулами и их звеньями. Деформация достигает некоторого максимального значения $\epsilon_{\max}$ и далее не меняется, так как действующее напряжение уравнивается силами внутреннего сопротивления тела, конечный участок кривой является линейным. В точке C напряжение снимают ($P = 0$), деформация спадает до нуля по кривой CDF , система полностью восстанавливает свою форму.

В большинстве случаев для реальных пищевых систем приложенное напряжение превышает предел текучести ($P > P_T$) и получается кривая, изображенная на рис. 4, б.

При мгновенном действии напряжения возникает упругая деформация ϵ_0 как мгновенная реакция тела на внешнее воздействие.

После возникновения мгновенной упругой деформации обнаруживается непрерывное нарастание остаточной деформации, переходящее в пластическое течение. Остаточная деформация нарастает с постоянной скоростью, которую можно охарактеризовать $\tan \alpha$, а максимальная деформация $\epsilon_{\max}$ за время действия нагрузки τ определяется отрезком, отсекаемым на оси ординат касательной к конечному участку кривой.

В точке C напряжение снимают, происходит своеобразный «отдых» образца, при этом упругая деформация исчезает.

$\epsilon_0 = OA = CD$, и идет восстановление эластической деформации. С увеличением времени кривая DF будет приближаться к некоторому конечному значению остаточной деформации $\epsilon_{\text{ост}}$.

По кривой кинетики деформации кроме предела упругости можно найти модули мгновенной упругости сдвига, эластичности и другие характеристики.

Построение реологических кривых течения пищевых систем

Кривые течения – это графическая зависимость между напряжением сдвига Θ (Па) и скоростью сдвига (с^{-1}) при сдвиговом течении пищевых масс. Данные полученные в результате ротационной вискозиметрии не могут быть подвергнуты непосредственной обработке, поскольку представлены в виде угла отклонения стрелки регистрирующего прибора вискозиметра. Для получения значения напряжения сдвига необходимо пересчитать значения показаний вискозиметра по формулам, приведенным в инструкции к нему. После получения значений напряжения сдвига строят кривые течения в логарифмических координатах как зависимость напряжения сдвига Θ (Па) от скорости сдвига $\dot{\gamma}$ (с^{-1}): $\lg \Theta = \lg \Theta(\lg \dot{\gamma})$. На кривых течения масложировых начинок (рис. 10) можно выделить две области, разделенные точкой перегиба графика. В первой области кривизна графика кривой течения направлена к оси напряжения, во второй – к оси скоростей сдвига.

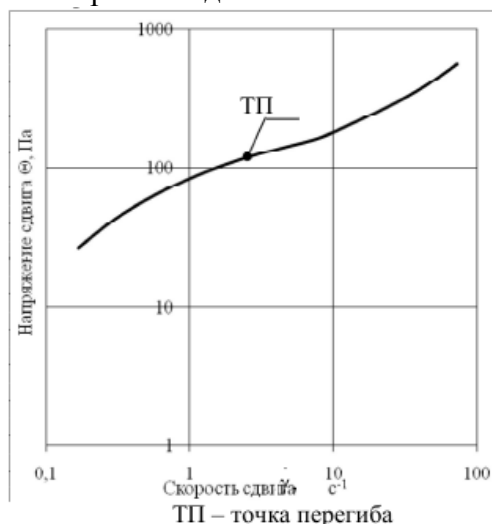


Рис. 10 Общий вид кривых течения неньютоновских пищевых масс в логарифмических координатах

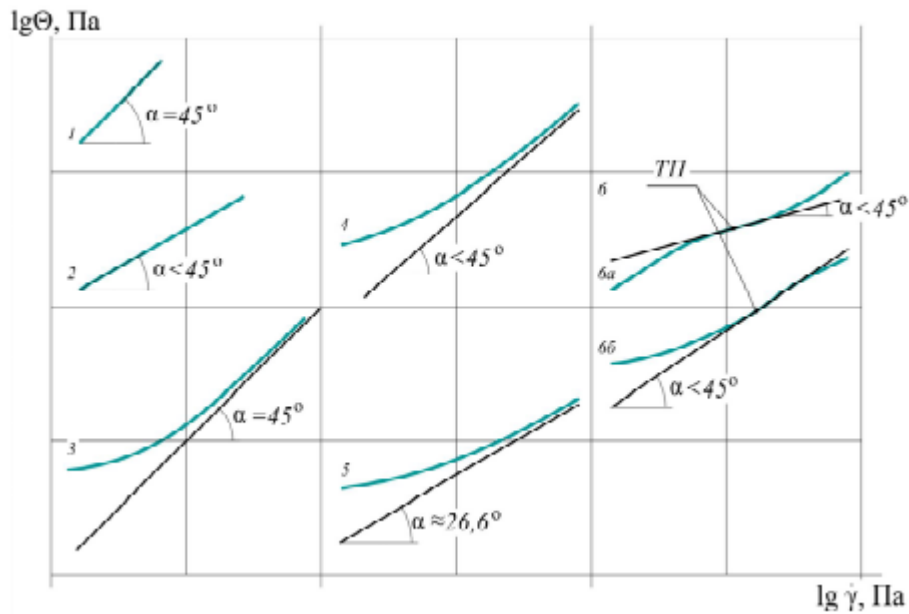


Рис. 11 Кривые течения материалов, описываемые различными реологическими уравнениями состояния (РУС)

1 – РУС Ньютон, 2 – РУС Оствальда-Де-Вилля, 3 – РУС Бингама,
4 – РУС Гершеля-Балкли, 5 – РУС Кэссона,
6 – РУС Корячкина

Вязкость по гипотезе Ньютона (η , Па·с) определяется как отношение напряжения сдвига (Θ , Па) к скорости сдвига. После расчета числовых значений вязкости строится график зависимости вязкости от скорости сдвига.

Для описания течения различных пищевых материалов чаще других применяется степенное уравнение Оствальда-Де-Вилля.

$$\Theta = k\dot{\gamma}^n,$$

где $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, с⁻¹,
 Θ – напряжение сдвига, Па,
 k – коэффициент консистенции, Па·сⁿ,
 n – индекс течения.

Индекс течения показывает степень отклонения кривой течения от кривой течения ньютоновской жидкости ($n=1$) и, соответственно, служит мерой отличия свойств и поведения исследуемого неньютоновского материала от свойств и поведения ньютоновской жидкости.

Так для псевдопластичных материалов, у которых индекс течения меньше 1 ($n<1$), из уравнения Оствальда видно, что вязкость уменьшается с повышением скорости сдвига. Это объясняется тем, что в неподвижной среде расположение частиц характеризуется значительной хаотичностью, а под действием возрастающей сдвигающих усилий происходит все большая ориентация частиц в направлении течения. Отмеченные явления происходят в материале так быстро, что их нельзя проследить во времени в обычных измерительных приборах. Уравнение Оствальда также применяется для описания поведения дилатантных материалов, у которых индекс течения больше 1 ($n>1$). В дилатантных материалах при повышении скорости сдвига непропорционально увеличивается вязкость, а при очень высоких значениях вязкость может стать бесконечно большой, что приведет к разрушению материала.

На основе анализа некоторых существующих моделей течения пищевых материалов можно дать следующую рекомендацию по выбору той или иной математической модели для описания течения исследуемого материала:

– применяемая модель должна быть хорошо согласована с теоретическими представлениями о внутренней структуре исследуемой среды, а также с изменениями, происходящими в этой структуре, как под действием приложенного напряжения сдвига, так и в процессе течения, начинающегося после проявления процесса текучести.

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему. В конце занятия тестирование.

Оборудование

Компьютер

Список литературы

1. Валентас, К.Дж. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов [Текст]/Валентас К.Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П.(ред.)/ пер. с англ. под общ. науч. ред. А.Л. Ишевского.- СПб: Профессия, 2004.-848с
2. В.П. Корячкин, Д.А. Гончаровский Реология пищевых продуктов. Методические указания по выполнению лабораторных работ, Орел, 2014. – 100с.
3. . Арет В.А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции [Текст] / В.А. Арет, Б.Л. Николаев, Л.К. Николаев. – СПб: ГИОРД, 2009. – 444 с.

Тема 7. Сдвиговые структурно-механические свойства пищевых продуктов.

Цель занятия: Изучить сдвиговые структурно-механические свойства и реологические характеристики основных мясных (молочных) продуктов.

Основные понятия

По виду приложения силы (напряжения) к продукту структурно механические свойства разделяют на три связанные между собой группы:

1. Сдвиговые;
2. Компрессионные;
3. Поверхностные.

Для повышения эффективности существующих и проектируемых технологий и оборудования пищевой промышленности, а также контроля качества пищевых продуктов, реологические характеристики перерабатываемых биологических систем относятся к ряду важнейших.

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

Важнейшими сдвиговыми характеристиками структурированных систем являются:

1. пластическая и эффективная вязкости $\eta_{эф}$ ;
2. период релаксации;
3. наибольшая вязкость η_0 не разрушенной структуры при скольжении мест контакта и вязкость предельно разрушенной структуры η_m ;
4. модули упругости сдвига (G);
5. пределы текучести условно-статический $\theta_{ост}$ и динамический – предельное напряжение сдвига θ_0 ;
6. прочность структуры при упруго-хрупком или эластичном разрыве θ_m и при пластично вязком разрушении θ_r ;

Вязкость различных мясных (жидкообразных) продуктов

Рассмотрим подробнее вязкость различных мясных (жидкообразных) продуктов на примере мясо-костного бульона, жира и крови (в данном разделе приводятся данные исследований А.В. Горбатова, С.А. Мачихина и др.).

Вязкость мясо-костного бульона

Жидкообразные продукты не имеют предельного напряжения сдвига, т.е. течение начинается при сколь угодно малых напряжениях сдвига. Обычно, за исключением истинно вязких жидкостей, эти продукты имеют слабую структурную сетку и обладают аномалией течения.

Клеевые и желатиновые бульоны при одной и той же концентрации имеют различную вязкость, что объясняется способом получения бульона и количественным соотношением в нем белков. Реологические свойства желатиновых растворов (золей, гелей) зависят от многих технологических факторов и молекулярного строения. Вязкость бульонов, гелей яичного альбумина, во время выдержки уменьшается, причем, тем больше, чем выше температура выдержки.

В таблице 1 приложения приведены величины вязкости мясо-костного бульона при различной концентрации и температуре.

Вязкость топленых животных жиров

В мясной промышленности широко используются различные животные жиры, поэтому необходимо знать их реологические свойства.

Зависимость вязкости от температуры можно представить уравнением вида:

$$\eta = a_1 t^{-a_2}, \quad (9)$$

где a_1 , a_2 – эмпирические коэффициенты, зависящие от концентрации продукта; t – температура.

Производственные композиции жира отличаются по вязкости от величин, вычисленных по этому уравнению в пределах $\pm 4\%$. Более точно описывает физическую сущность уравнение Френкеля-Эйринга:

$$\eta = A \exp\left(\frac{E}{RT}\right), \quad (10)$$

где E – энергия активации, кДж/кмоль;

R – универсальная газовая постоянная ($R=8,32$ кДж/кмоль·К);

T – абсолютная температура жидкости, К;

A – постоянная, Па·с.

Значения эмпирических коэффициентов вязкости, входящих в эти уравнения представлены в таблице 2 и в таблице 3 приложения.

Вязкость жира в диапазоне температур от 65 до 70 °С при нагревании и охлаждении не имеет одинаковых значений, что связано с аномалией (наличие дисперсной фазы в виде кристалликов жира при нагревании) в этой области температур. При переходе за верхний температурный предел аномалии вязкости исчезают, жир становится истинно вязкой жидкостью. При охлаждении ниже 27°С, если механическое воздействие отсутствует, в свином жире начинается образование сплошного кристаллизационного каркаса и он теряет текучесть.

Вязкость крови

Кровь представляет собой псевдопластичную (аномально-вязкую) систему. При увеличении концентрации сухих веществ вязкость крови возрастает и уменьшается при увеличении температуры. В крови размеры частиц меньше, а количество больше, по сравнению с частицами бульонов, в связи с этим, вязкость крови намного выше. Известно, что при уменьшении размера частиц вязкость резко увеличивается при условии постоянной концентрации. В таблице 4 приложения приведены экспериментальные данные определения вязкости крови.

2.1.2. Вязкость различных молочных (жидкообразных) продуктов

Вязкость – один из важнейших реологических (физико-химических) показателей молока, характеризующий его внутреннее трение. Вязкость цельного молока зависит в

большей мере от содержания казеина и жира, дисперсности жировых шариков и мицелл казеина, степени их гидратации и структурирования. В процесс хранения и технологической обработки меняются те или иные внутренние параметры молока, а с ними и его вязкость. Известно, что при хранении при пониженных температурах уменьшаются средние размеры мицелл казеина молока, а при повышенных – увеличиваются. Все это изменяет вязкость молока. Вместе с этим известно, что вязкость молока может быть представлена в виде суммы вязкости воды и приращений вязкости дисперсной фазы и внутренних структурных связей. Наибольший вклад в структурную составляющую вязкости молока вносят молочные жировые шарики, в то же время немаловажное значение имеет и структурная составляющая вязкости белков молока. Если в цельном молоке имеются элементы структурирования белковой фазы, то при дальнейшей технологической переработке, связанной с формированием молочного сгустка, эти элементы будут являться центрами образования новой непрерывной белковой фазы.

Рассмотрим подробнее вязкость различных молочных продуктов на примере сгущенного молока, кисломолочных продуктов, сливочного масла и сливок.

Вязкость сгущенного молока

При хранении сгущенного молока с сахаром его вязкость резко увеличивается, что обусловлено образованием структуры. Перемешивание или какое-либо другое механическое воздействие ведет к лавинному разрушению структуры и наибольшая вязкость резко уменьшается. При дальнейшем старении структура восстанавливается. При этом если температура восстановления равна температуре старения исходного продукта – восстановление полное, скорость восстановления структуры выше скорости образования структуры при старении исходного продукта, если температура ниже исходной (5-18°C) – восстановление частичное.

При восстановлении структуры возобновляется контакт между частицами дисперсной фазы. Вязкость сгущенных молочных продуктов с сахаром зависит также от способа внесения сахара в молоко.

Вязкость обезжиренного молока, сгущенного посредством ультрафильтрации может быть рассчитана по формуле:

$$\eta \cdot 10^3 = 660c^{2,24} + 1,71 \quad (11)$$

где c – концентрация белка, кг белка на кг продукта.

Эта формула действительна при концентрации меньше 0,15 и температуре 20°C.

В таблице 5 приложения приведены экспериментальные данные показателей вязкости обезжиренного сгущенного молока в зависимости от разной концентрации белка. В таблице 6 приложения – величины вязкости сгущенного молока с сахаром в зависимости от старения.

Вязкость кисломолочных продуктов

В процессе производства кефира реологические методы исследования можно применять как для контроля качества продукта в процессе его приготовления, так и для оценки качества готового продукта.

Установлено, что с изменением pH среды, накоплением продуктов брожения, характеризующих вкус кефира, изменяются структурно-механические свойства продукта. Для получения кефира хорошего вкуса и качества его необходимо перемешивать при pH 4,4-4,5, когда продукт имеет структуру высокой прочности, которая сохраняет свои свойства при последующем механическом воздействии и в процессе хранения.

Качество продукта во многом определяется своевременным прекращением процессов сквашивания и перемешивания. Вязкость хорошего кефира должна быть 2,9-3,2 Па·с при касательном напряжении 980 Па или 1,6-1,9 Па·с при касательном напряжении 1960 Па. В процессе хранения при пониженных температурах в кефире может происходить отделение сыворотки. Однако, если вязкость кефира выше 2,4 Па·с при касательном напряжении 980 Па, то сыворотка отделяться не будет.

Таким образом, контролируя в процессе производства кефира только pH и вязкость, можно получить продукт высокого качества.

Вязкость сливочного масла

Сливочное масло, как и другие животные жиры, содержит различные жирные кислоты, каждая из которых имеет свои конкретные значения температур фазовых переходов из жидкого в кристаллическое состояние и обратно из кристаллического в жидкое.

При производстве сливочного масла большое значение имеют правильно выбранные режимы охлаждения и кристаллизации жира в процессе его производства.

Сливочное масло в зависимости от температуры может представлять собой ньютоновскую жидкость, псевдопластичную и пластично-вязкую системы (чем выше температура, тем меньше вязкость). Например, вязкость расплавленного масла практически соответствует вязкости сливок при одинаковой температуре и таком же содержании жира.

Вязкость масла, полученная на вискозиметре «Реотест» при температуре ниже температуры фазовых переходов большинства фракций жира, может быть определена по формуле:

$$\eta_{эф} = K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (12)$$

где K - вводяная константа прибора, Па·сⁿ;

n - вводяная константа прибора.

Вязкость сливок

Вязкость сливок определяется в значительной мере содержанием жировой фазы. При жирности до 30% аномалия вязкости не значительна, при 30-60%-ной жирности сливки представляют собой структурированную (псевдопластичную) систему, при жирности более 60% переходят в категорию пластично-вязких тел. Увеличение температуры может способствовать переходу из одной группы тел в другую. Показатели вязкости сливок приведены в таблице 7 приложения.

Различие в результатах исследований вызвано структурой сливок, которая с увеличением жирности проявляется в большей степени.

Сливки после созревания перед сбиванием их в масло имеют большую вязкость, чем сливки, полученные из свежего молока и не подвергшиеся созреванию.

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему. В конце занятия тестирование.

Оборудование

Компьютер

Список литературы

2. Арет, В.А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции : учебное пособие [Текст] / В. А. Арет, Б. Л. Николаев, Л. К. Николаев. - СПб.: ГИОРД, 2009. - 448 с.: ил - ISBN 978-5-98879-066-2

3. Валентас, К.Дж. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов [Текст]/Валентас К.Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П.(ред.)/ пер. с англ. под общ. науч. ред. А.Л. Ишевского.- СПб: Профессия, 2004.-848с

Тема 8. Компрессионные структурно - механические свойства пищевых продуктов.

Цель занятия: Изучить компрессионные структурно-механические свойства и реологические характеристики основных мясных (молочных) продуктов.

Основные понятия

Компрессионные свойства характеризуют поведение объема продукта при воздействии на него нормальных напряжений в замкнутой форме, между двумя пластинами или при каком-либо другом способе растяжения-сжатия образца продукта. Эти свойства используются для расчета рабочих органов машин и аппаратов и для оценки качества продукта.

К компрессионным структурно-механическим характеристикам относятся:

1. коэффициент бокового давления;
2. коэффициент Пуассона;
3. модули упругости;
4. плотность.

Существенной характеристикой компрессионных свойств является плотность. Средняя плотность определяется по выражению:

$$\rho = \frac{M}{V}, \quad (13)$$

где M – масса продукта, кг;
 V – объем продукта, м^3 .

Истинная плотность равна пределу отношения массы к объему, когда последний стремится к нулю.

Наряду со сдвигом объемное или осевое сжатие, а также осевое растяжение являются основными типами механической деформации продуктов. В ряде машин (прессов, волчков, дозаторов, шприцев и т.д.) продукты находятся при повышенных давлениях, что изменяет их первоначальный объем и плотность. На выходе из машины объем и плотность также могут отличаться от начальных.

Компрессионные характеристики мясных продуктов

Рассмотрим компрессионные характеристики мясных продуктов при осевом и объемном сжатии на примере фарша.

Осевое сжатие

К приборам, измеряющим структурно-механические характеристики продуктов **при осевом сжатии и растяжении** можно отнести различные **дефометры**, которые позволяют регистрировать деформации и нагрузки во времени. Определение характеристик пищевых продуктов при осевом сжатии может производиться также на некоторых типах пенетрометров, при замене рабочего органа круглой пластиной.

Относительную деформацию сжатия для фарша вычисляют по формуле:

$$\varepsilon = \frac{h \overset{\sim}{\Delta} - \Delta}{H_0}, \quad (14)$$

где $h \overset{\sim}{\Delta} = \omega \tau$ – абсолютная деформация слоя продукта за время τ (с)

при скорости сжатия ω (м/с);

Δ – величина прогиба тензобалки в момент измерения, определяемая по тарировочным графикам, м;

H_0 – начальная высота слоя продукта.

Деформационному поведению фарша соответствует модель стандартного линейного тела.

$$\sigma + \tau_{\varepsilon} \dot{\varepsilon} = E_R \varepsilon + \tau_{\sigma} \dot{\sigma} \quad (15)$$

где E_R – релаксационный модуль упругости, Па;

τ_{ε} – период релаксации напряжения при постоянной деформации, с;

τ_{σ} – период релаксации деформации при постоянном напряжении, с;

$\dot{\varepsilon}$ – скорость деформации, 1/с.;

$\dot{\sigma}$ – скорость увеличения напряжения, Па/с.

Периоды релаксации для тонкоизмельченных видов фарша практически не зависят от его состава и влагосодержания.

Необходимо подчеркнуть, что компрессионные характеристики имеют незначительную зависимость от состава фарша, за исключением влагосодержания, поэтому они мало пригодны для оценки качества продуктов. В этом смысле сдвиговые характеристики обладают большей универсальностью. Компрессионные характеристики фарша могут быть использованы для расчетов в технологии колбас.

Объемное сжатие

При объемном сжатии общую деформацию фарша можно рассматривать состоящей из трех зон:

1. зона мгновенно-упругих деформаций;
2. зона упругого последействия или условно мгновенной пластичности;
3. зона пластических деформаций.

Для первой зоны **мгновенно-упругих деформаций** характерны напряжения меньше предела упругости (меньше 10^5 Па). Для такой зоны модуль упругости составляет $0,6 \cdot 10^7$ Па.

Вторая зона – **упругого последействия** - является переходной и лежит в пределах напряжений $(1..3,5) \cdot 10^5$ Па.

Третья зона – **пластических деформаций** – находится в области напряжений, превышающих $3,5 \cdot 10^5$ Па. При этом общая деформация зависит не только от напряжения, но и от длительности действия.

Коэффициенты бокового давления для фарша различных видов отличаются незначительно, среднее значение их лежит в области 0,8-0,85, причем, чем больше влажность фарша, тем выше значения коэффициентов.

Коэффициенты зависят от биологического и физического состояния фарша.

Комплексные исследования объемного сжатия фарша при термообработке в форме представляют интерес в связи с тенденцией развития аппаратостроения, направленной на создание автоматизированных линий изготовления колбасных изделий без оболочки.

Плотность

Существенной характеристикой компрессионных свойств является плотность. Истинная плотность равна пределу отношения массы к объему, когда последний стремится к нулю.

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

$$\rho_c = \rho_{ot} + ac, \quad (16)$$

где ρ_c - плотность при данной температуре и концентрации, кг сухих веществ на кг продукта, кг/м³;

ρ_{ot} - плотность при концентрации, равной нулю, и той же температуре, кг/м³;

a – эмпирический коэффициент, кг/м³;

c - концентрация, кг/кг.

Для определения плотности различных жиров (говяжий, свиной, бараний) необходимо воспользоваться уравнением:

$$\rho_t = \frac{\rho_c}{1 + \beta_t (-t_c)}, \quad (17)$$

где β_t - коэффициент температурного расширения;

ρ_c - плотность при температуре t_c и концентрации, кг сухих веществ на кг продукта, кг/м³;

ρ_t - плотность при более высокой температуре t , кг/м³.

Компрессионные характеристики молочных продуктов

Осевое сжатие

Рассмотрим компрессионные характеристики при осевом сжатии на примере плавленых сыров.

Для описания поведения плавленых сыров в условиях одноосного сжатия можно использовать обобщенное уравнение стандартного тела, которое позволяет определить такие важные характеристики, как модуль упругости и период релаксации:

$$\sigma + \tau_p \frac{d\sigma}{dt} = E\varepsilon + \tau_p E_1 \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (18)$$

где E и E_1 – условно-мгновенный и равновесный модули упругости, Па, остальные обозначения такие же, как в формуле 19.

Значительное влияние на упругопластичные свойства плавленных сыров оказывает их химический состав. С увеличением содержания влаги уменьшаются модуль упругости и период релаксации.

Компрессионные свойства сыров (не плавленных) оценивают также методом одноосного сжатия цилиндрической или прямоугольной пробы сыра с постоянной скоростью. При этом за показатель компрессии принимают выражаемое в процентах отношение высоты образца к его высоте до сжатия.

Плотность

Плотность молока, как и любой другой жидкости, есть отношение массы молока при температуре 20°C к массе воды при 4°C, взятых в равных объемах. Плотность молока зависит от содержания его составных частей. Так как состав молока непостоянен, то и плотность его колеблется в довольно широких пределах. Составные части молока влияют на плотность неодинаково. Белки, углеводы, минеральные вещества повышают, а жир понижает плотность молока, так как первые три компонента имеют плотность больше, а жир – меньше.

Плотность молока изменяется под действием многих факторов, из которых необходимо отметить следующее: лактационный период, условия содержания животных, порода коров и болезни. В первые дни после отела молоко (молозиво) отличается высоким содержанием белковых веществ, вследствие чего его плотность выше плотности обычного молока. Свежевыдоенное молоко имеет плотность ниже плотности остывшего, что обуславливается переходом молочного жира из жидкого состояния в твердое.

Плотность ряда белковых систем (например, молока) в зависимости от концентрации описывается эмпирическим уравнением:

$$\rho_c = \rho_{ot} + ac, \quad (19)$$

где ρ_c - плотность при данной температуре и концентрации, кг сухих веществ на кг продукта, кг/м³;

ρ_{ot} - плотность при концентрации, равной нулю, и той же температуре, кг/м³;

a – эмпирический коэффициент, кг/м³;

c - концентрация, кг/кг.

Плотность кисломолочных продуктов (кефира, простокваши) близка к плотности исходного молока. Плотность цельного и обезжиренного молока понижается с повышением температуры. Плотность сгущенных молочных продуктов понижается с повышением температуры и повышается с увеличением концентрации сухих веществ.

Объемная пористость

Компрессионное уплотнение продуктов сопровождается, как правило, изменением их фазового состояния. Фазовое состояние высокобелковых молочных продуктов (творог, сыр), являющихся пористыми дисперсными телами, можно охарактеризовать фазовыми объемами (объемной пористостью), которые определяют по формуле:

$$\nu = \frac{V_z + V_{ж}}{V}, \quad (20)$$

где ν - общая пористость продукта, м³/м³;

V , $V_{ж}$, V_z – соответственно объем всего продукта и объем пор (полостей), заполненных жидкой и газообразной фазой.

Можно определить пористость по газу по формуле (24), но в расчет не берется объем пор, заполненных жидкостью.

Пористость материалов часто характеризуется также коэффициентом пористости, который связан с общей объемной пористостью соотношением:

$$Y_n = \frac{\nu}{1 - \nu} \quad (21)$$

Пористость сырной массы по газу зависит от метода формования продукта.

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему. В конце занятия тестирование.

Оборудование:

Компьютер

Список литературы

1. Арет, В.А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции : учебное пособие [Текст] / В. А. Арет, Б. Л. Николаев, Л. К. Николаев. - СПб.: ГИОРД, 2009. - 448 с.: ил - ISBN 978-5-98879-066-2
2. Валентас, К.Дж. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов [Текст]/Валентас К.Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П.(ред.)/ пер. с англ. под общ. науч. ред. А.Л. Ишевского.- СПб: Профессия, 2004.-848с

Тема 9. Поверхностные структурно - механические свойства пищевых продуктов.

Цель занятия: Изучить поверхностные структурно-механические свойства и реологические характеристики основных мясных (молочных) продуктов.

Основные понятия

Поверхностные свойства характеризуют поведение поверхности продукта на границе раздела с другим твердым материалом или при воздействии нормальных (адгезия, липкость) и касательных (внешнее трение) напряжений.

К поверхностным характеристикам относятся:

1. адгезия (липкость);
2. внешнее трение.

Адгезия p_o ($Па$) – слипание разнородных твердых или жидких тел, соприкасающихся своими поверхностями. Аутогезия – самопроизвольное слипание однородных тел. Формально адгезия (липкость) определяется, как удельная сила нормального отрыва пластины от продукта:

$$p_o = \frac{F_o}{S_o}, \text{ где} \quad (22)$$

F_o – сила отрыва; S_o – геометрическая площадь пластины, $м^2$.

Отрыв может быть трех видов:

- по границе контакта – адгезионный;
- по слою продукта – когезионный;
- смешанный – адгезионнокогезионный.

Часто адгезионного отрыва не происходит, поэтому удельную силу при любом виде отрыва называют липкостью, адгезионным давлением или давлением прилипания.

Абсолютные деформации при измерении адгезии на специальных приборах можно разделить на две группы: первая вызвана массой самой системы и грузом для обеспечения предварительного контакта; вторая вызвана силой липкости.

Внешнее трение, по-видимому, нельзя отнести к физическим свойствам продукта, так как эта характеристика зависит от липкости и ряда других факторов. Трение может быть **статическим** – до начала смещения, и **динамическим** – при движении продукта по поверхности. Влияние различных факторов, таких как, давление контакта, скорость смещения, температура и т.п. на коэффициент внешнего трения не однозначно.

Поверхностные свойства пищевых продуктов – адгезия и внешнее трение – появляются на границе раздела между продуктом и твердой поверхностью. Приборы и методы измерения адгезии основаны на разрушении адгезионного шва путем приложения внешнего усилия. По способу приложения усилия различают методы отрыва (равномерного и неравномерного) и сдвига. Адгезиометрами измеряют показатели адгезии. Измеряют удельное усилие разделения двух тел, полученное значение называют давлением прилипания или липкостью. Внешнее трение измеряют трибометрами.

Мерой липкости является величина усилия, приходящаяся на единицу поверхности контакта. Липкость связана с другими явлениями и свойствами продуктов: адгезией, когезией, вязкостью и поверхностным трением. Адгезия проявляется в виде усилия,

действующего на границе двух соприкасающихся фаз, и зависит от величины притяжения, между частицами обеих фаз.

Качественно адгезию можно охарактеризовать двумя способами: нарушением контакта одновременно на всех участках площади (рис. 2 а, г, д) или же путем последовательного отрыва отдельных участков – расслаиванием, отдираанием (рис. 2 б, в).

Оба способа определения адгезионной прочности нашли практическое применение. При первом способе разрушающую нагрузку прилагают в направлении как перпендикулярном плоскости контакта поверхностей, так и параллельном ей и обычно относят к единице длины.

Очень часто адгезию, определяемую при расслаивании, характеризуют не силой а работой, которую необходимо затратить на разделение фаз.

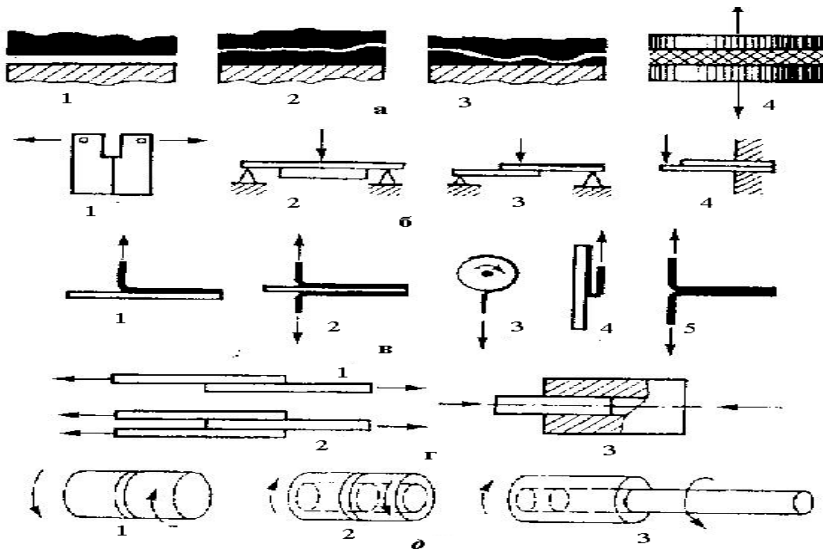


Рис 7. Принципиальные схемы приборов для измерения адгезионной прочности:

а – для нормального отрыва: 1 – адгезионный, 2 – когезионный, 3 – смешанный; 4 – схема устройства для осуществления отрыва; **б – для расслаивания жестких материалов:** 1 – внецентровое растяжение, 2 – изгиб для пластичного и листового материалов, 3 – центральный изгиб для листового материала; **в – для расслаивания гибких материалов:** 1-3 – от жесткой подложки под углом 90° , 4- от жесткой подложки под углом 180° , 5 – от гибкой подложки; **г – для сдвигового разрушения:** 1 – при растяжении одностороннего соединения, 2 – то же, двустороннего, 3 – при сжатии соединения цилиндра со стержнем; **д – для сдвигового разрушения при кручении:** 1 – по торцу цилиндров, 2 – по кольцевой поверхности торца полых цилиндров, 3 – по боковой поверхности цилиндра и стержня.

характеризовать качество продукта. Исследование липкости колбасного фарша позволяет определить оптимальное время куттерования.

Исследования ученых показали, что адгезия говядины вдоль и поперек волокон почти одинаковая (превышение в первом случае достигает 10%). Значительно уменьшается адгезия дефростированной говядины, что связано с необратимыми изменениями структуры ткани и сока при замораживании и размораживании. При куттеровании фарша на стенках и ножах куттера образуется довольно прочная макропленка мелкодисперсного вещества (частицы мяса, соединительной ткани, жира и воды). Такая же пленка образуется на всех поверхностях, вдоль которых проходит куттерованный колбасный фарш. Пленка является первой причиной удерживания фарша на поверхности, что для некоторых машин положительно, для других – отрицательно. Возникновение пленки фарша обусловлено проскальзыванием крупных частиц вдоль поверхности и сцеплением с ней мелких. С целью определения исходных параметров для расчета очищающих устройств могут быть использованы полученные данные о липкости этих пленок к поверхностям.

В технологии кулинарной обработки мясных продуктов для придания им большей «нежности» добавляют ферментные препараты (тандрин, кератиназа и т.п.), которые изменяют реологические характеристики фарша в лучшую сторону. Например, липкость и вязкость ферментативированного фарша меньше, деформируемость больше по сравнению с обычным фаршем. Понижение температуры фарша от 17-18 до 4-5°C ведет к уменьшению липкости на 30-40% за счет увеличения вязкости и прочности дисперсионной среды и, следовательно, системы в целом. Липкость имеет наибольшее значение при 23-27°C.

Для уменьшения липкости используют антиадгезионные покрытия, которые позволяют, например, при термообработке фарша в форме довести липкость практически до нуля. При малых скоростях реализуется внешнее трение, при критической скорости появляется ориентировочный граничный слой. Т.к. с повышением давления (или скорости) начинается интенсивное выделение мясного сока, при этом поверхности мяса и материала разъединяются пленкой, увеличивающей расстояние между трущимися поверхностями, силы молекулярного взаимодействия резко убывают с увеличением расстояния и количество точек истинного контакта двух тел уменьшается, что приводит к уменьшению коэффициента внешнего трения. Также необходимо заметить, что материал поверхности машин влияет на удельную силу трения и эффективный коэффициент трения.

Таким образом, изучение поверхностных характеристик мясных продуктов имеет практический интерес. Липкость влияет как на качество изделий, так и позволяет определить оптимальные процессы куттерования. При конструировании машин и транспортирующих устройств с целью стабильной их работы необходимо основываться на значениях коэффициентов трения для соответствующих пар трения.

Поверхностные характеристики молочных продуктов

Рассмотрим липкость (адгезию) сырково-творожной массы.

Сырково-творожная масса – это смесь творога, сливочного масла и сахара. Вопрос об измерении липкости при изменении состава представляет большой практический интерес. Рассмотрим исследования творожной массы при разном химическом составе. Данные исследований приведены в таблице 8 приложения.

Химический состав творожной массы не влияет существенно на липкость при постоянных условиях измерения. Липкость определяется главным образом природой и строением молекул и структурно-механическими особенностями объекта. С повышением влажности липкость увеличивается, при измерениях тонкого слоя. Для более толстого слоя (0,0015 м) увеличение влажности приводит к понижению липкости. Это явление имеет определенный физический смысл: при увеличении влажности до определенного предела поверхностная энергия продукта повышается, объемная прочность структуры (когезия) за счет утолщения водных прослоек и уменьшения сил сцепления понижается. Такой характер изменения величины липкости позволяет отнести ее к числу объективных характеристик творожно-сырковой массы.

При изучении различных видов плавленых сыров («Дружба», «Новый», «Янтарь») было установлено, что с увеличением давления и длительности предварительного контакта липкость увеличивается.

Липкость плавленых сыров вычисляется по формуле:

$$p_o = a_o \tau_k^b, \quad (23)$$

где τ_k - продолжительность контактирования сыра с материалом, с;

a_o – липкость при времени контакта 1 с, Па;

b - темп нарастания липкости при измерении от 3 до 420 с.

При измерении величины коэффициента внешнего трения, так же как и при измерении адгезионных характеристик, важную роль играют скорость приложения силы и другие геометрические, кинематические и динамические факторы. Материал поверхности машин влияет на удельную силу трения и эффективный коэффициент трения.

Для сыпучих продуктов (сухие смеси для детского питания) наряду с коэффициентом внешнего трения существенное значение имеет угол естественного откоса или коэффициент внутреннего трения. Эту характеристику учитывают при расчете дозаторов, транспортеров и т.д.

Таким образом, изучение поверхностных характеристик молочных продуктов (как и многих других) имеет практический интерес. Липкость влияет на качество изделий. При конструировании машин и транспортирующих устройств с целью стабильной их работы необходимо основываться на значениях коэффициентов трения для соответствующих пар трения.

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему. В конце занятия тестирование.

Оборудование:

Компьютер

Список литературы

1. Арет, В.А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции : учебное пособие [Текст] / В. А. Арет, Б. Л. Николаев, Л. К. Николаев. - СПб.: ГИОРД, 2009. - 448 с.: ил - ISBN 978-5-98879-066-2
2. Валентас, К.Дж. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов [Текст]/Валентас К.Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П.(ред.)/ пер. с англ. под общ. науч. ред. А.Л. Ишевского.- СПб: Профессия, 2004.-848с

Тема 10. Приборы для измерения сдвиговых характеристик. Вискозиметры

Цель занятия: Изучить приборы для измерения вязкости.

Основные понятия

Вискозиметр (от позднелат. *viscosus* - вязкий и ...метр), прибор для определения вязкости. Наиболее распространены капиллярные, ротационные, с падающим шариком, ультразвуковые вискозиметры.

Определение вязкости **капиллярными вискозиметрами** основано на законе Пуазейля и состоит в измерении времени протекания известного количества (объёма) жидкости или газа через узкие трубки круглого сечения (капилляры) при заданном перепаде давления. Капиллярными вискозиметрами измеряют вязкость от 10^{-5} н·сек/м² (газы) до 10^4 н·сек/м². Относительная погрешность образцовых капиллярных вискозиметров 0,1-0,3%, рабочих приборов 0,5-2,5%. На **рис. 10** показано устройство различных типов стеклянных вискозиметров. В капиллярных вискозиметрах указанных типов течение жидкости происходит под действием силы тяжести (в начальный момент уровень жидкости в одном колене вискозиметра выше, чем в другом). Время опорожнения измерительного резервуара определяют как промежуток между моментами прохождения уровня жидкости мимо меток на верхних и нижних концах резервуара. В капиллярных автоматических вискозиметрах (непрерывного действия) жидкость поступает в капилляр от насоса постоянной производительности. Перепад давления на капилляре, измеряемый манометром, пропорционален искомой вязкости.

В **ротационных вискозиметрах** (принципиальная схема рис. 11) исследуемая вязкая среда находится в зазоре между двумя соосными телами (цилиндры, конусы, сферы, их сочетание), причём одно из тел (ротор) вращается, а другое неподвижно. Вязкость определяется по крутящему моменту при заданной угловой скорости или по угловой скорости при заданном крутящем моменте. Ротационные вискозиметры применяют для измерения вязкости при температурах до -60 °С, и до 2000 °С. Относительная погрешность наиболее распространённых ротационных вискозиметров лежит в пределах 3-5%. На **рис. 12** показано устройство ротационного вискозиметра РВ-8 (пределы измерений -от 1 до 10^5 н·сек/м²). На **рис. 13** изображен ротационный вискозиметр «Реотест-2».

Действие вискозиметров с движущимся в исследуемой среде шариком основано на законе Стокса; вязкость определяется по скорости прохождения падающим шариком

промежутков между метками на трубке вискозиметра. К приборам этого типа относится широко распространённый универсальный **вискозиметр Гепплера** со "скользящим" шариком (*рис.14*). Пределы измерений вискозиметров этого типа $6 \cdot 10^{-4}$ - $250 \text{ н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$, погрешность 1-3%.

Действие **ультразвуковых вискозиметров** основано на измерении скорости затухания колебаний в пластинке из магнитострикционного материала, погруженной в исследуемую среду. Колебания возникают от коротких (длительность 10-30 мксек) импульсов тока в катушке, намотанной на пластинку. При колебаниях пластинки в этой же катушке наводится эдс, которая убывает со скоростью, зависящей от вязкости среды. При уменьшении эдс до некоторого порогового значения в катушку поступает новый возбуждающий импульс. Вязкость среды определяют по частоте следования импульсов. Ультразвуковыми вискозиметрами измеряют вязкость в диапазоне от 10^{-3} до $500 \text{ н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$ с относительной погрешностью 5%.

Помимо вискозиметров, позволяющих выразить результаты измерений в единицах динамической или кинематической вязкости, существуют вискозиметры для измерения вязкости жидкостей в условных единицах. Такой вискозиметр представляет собой сосуд с калиброванной сточной трубкой; вязкость оценивается по времени истечения определённого объёма жидкости. Например, с помощью вискозиметров типа ВЗ-1 и ВЗ-4, вязкость выражают в секундах, а с помощью вискозиметра типа ВУ – Энглера (*рис.15*) - в градусах Энглера. Перевод условных единиц в единицы вязкости Международной системы единиц ($\text{н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$ и $\text{м}^2/\text{сек}$) возможен, но неточен.

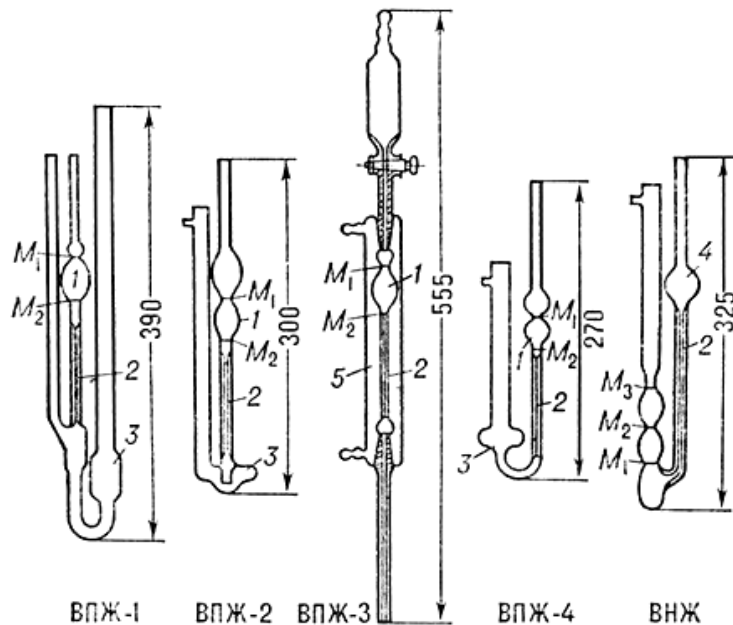


Рис 10. Капиллярные вискозиметры

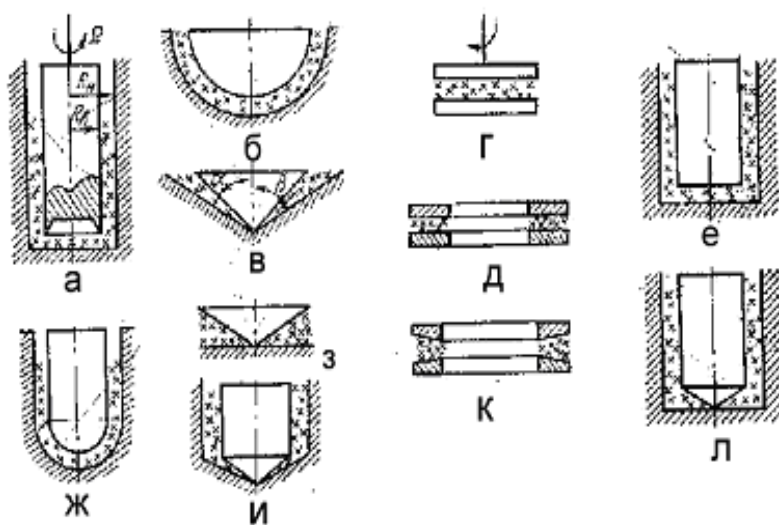


Рис 11. Принципиальные схемы ротационных вискозиметров

а — коаксиальные цилиндры; б — сферы или полусферы;
 в — два конуса; г — две плоскопараллельные пластины;
 д — два плоских кольца; к — два конических кольца;
 е — цилиндр-диск; ж — цилиндр-полусфера; з — конус-диск; и — цилиндр-конус; л — цилиндр-конус-диск.

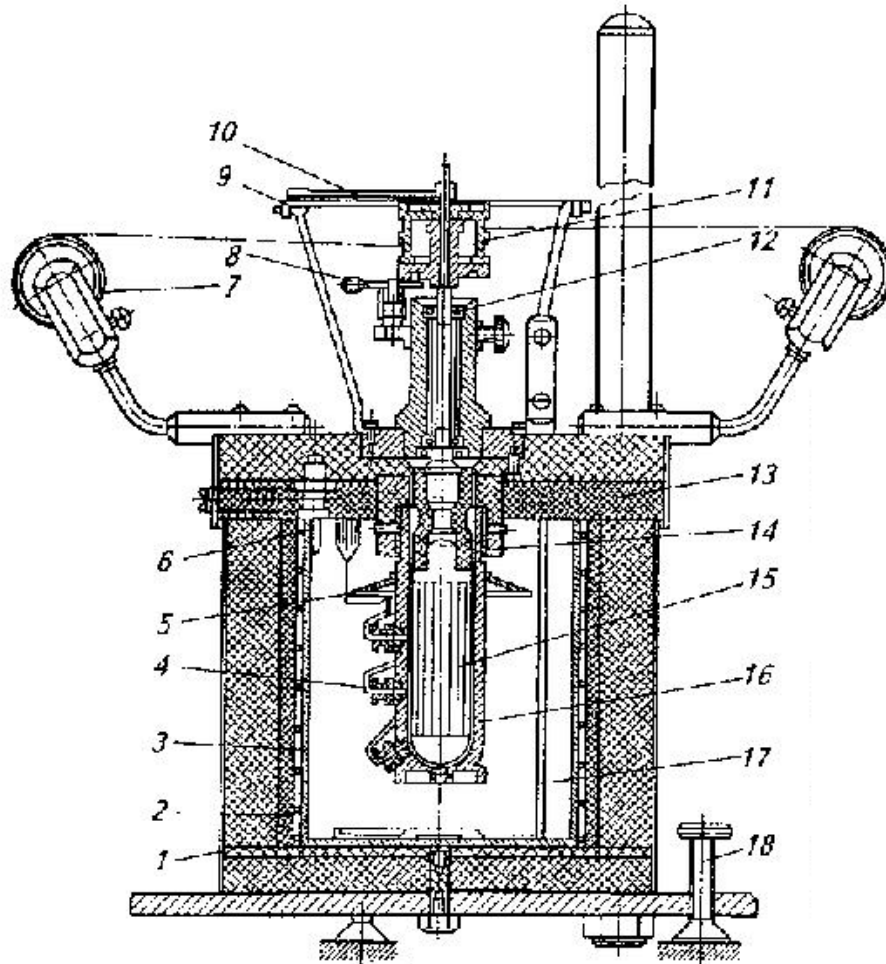


Рис.12 Ротационный вискозиметр РВ-8 системы Воляровича

1 – корпус со станиной; 2- асбестовый сосуд; 3-всасной сосуд для термостатирующей жидкости; 4- термопара; 5-отражательное кольцо; 6-электронагревательный элемент; 7 –шкиф; 8 – тормозное приспособление; 9 – шкала отсчета; 10 –стрелка; 11- барабан; 12 – подшипник; 13 – крышка прибора; 14 – обойма для стакана; 15 – ротор; 16 – стакан; 17 – мешалка; 18 – установочный винт

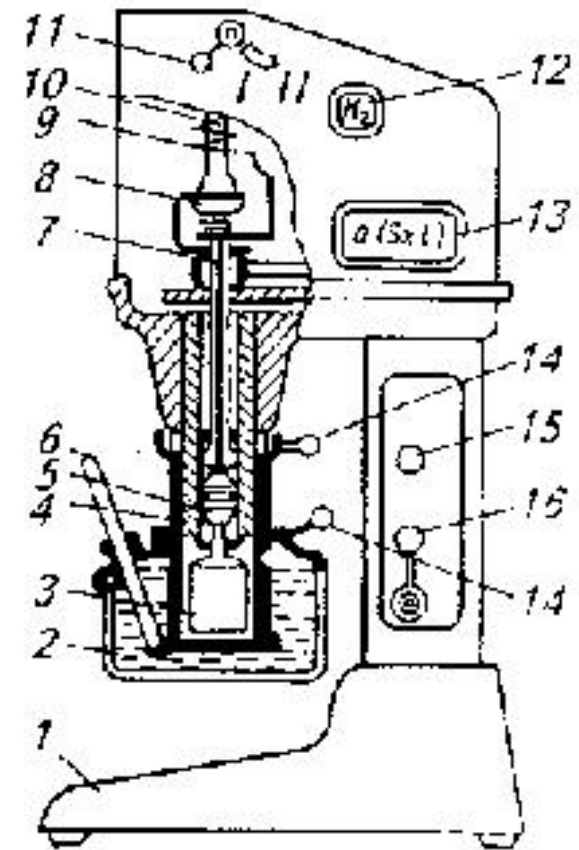


Рис. 13 Ротационный вискозиметр «Реотест-2»

1 – станина; 2 – термостатная емкость; 3 – ротор; 4 – стакан; 5 – соединение измерительного вала с валом привода; 6 – термометр; 7 – измерительный вал; 8 – потенциометр; 9 – пружинный динамометр; 10 – вал привода; 11 – ступенчатый регулятор динамометра; 12 – частотомер; 13 – шкала логомера; 14 – стопорные рукоятки фиксаторов; 15 – шкала ступени частоты вращения; 16 – рукоятка переключения ступени

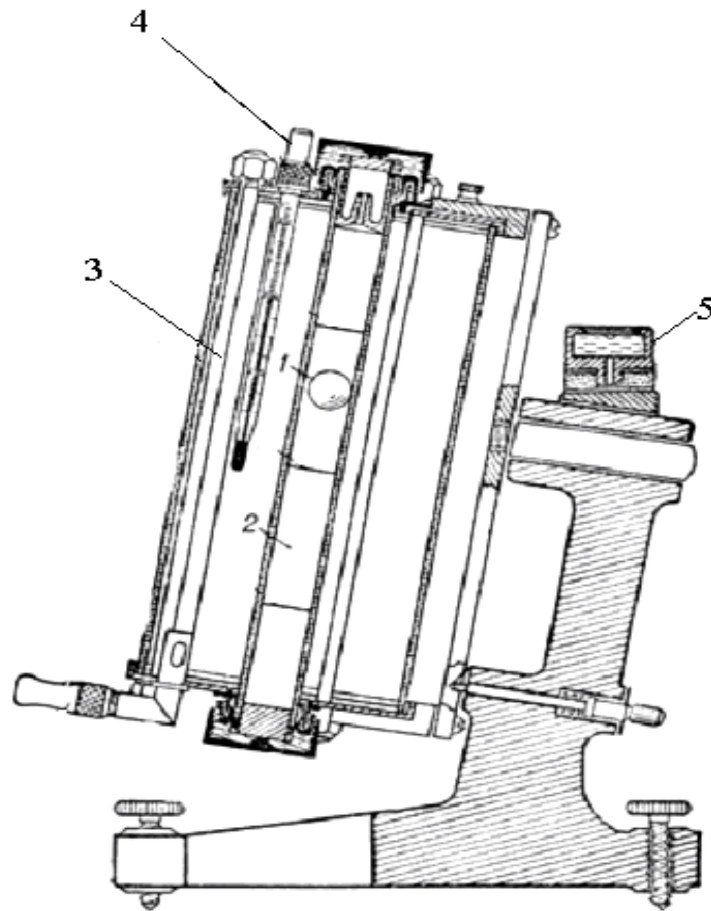


Рис. 14 Вискозиметр Гепплера

1 - шарик; 2- прецизионная стеклянная трубка; 3 - цилиндр для термостатирующей жидкости; 4 – термометр 5 - ватерпас

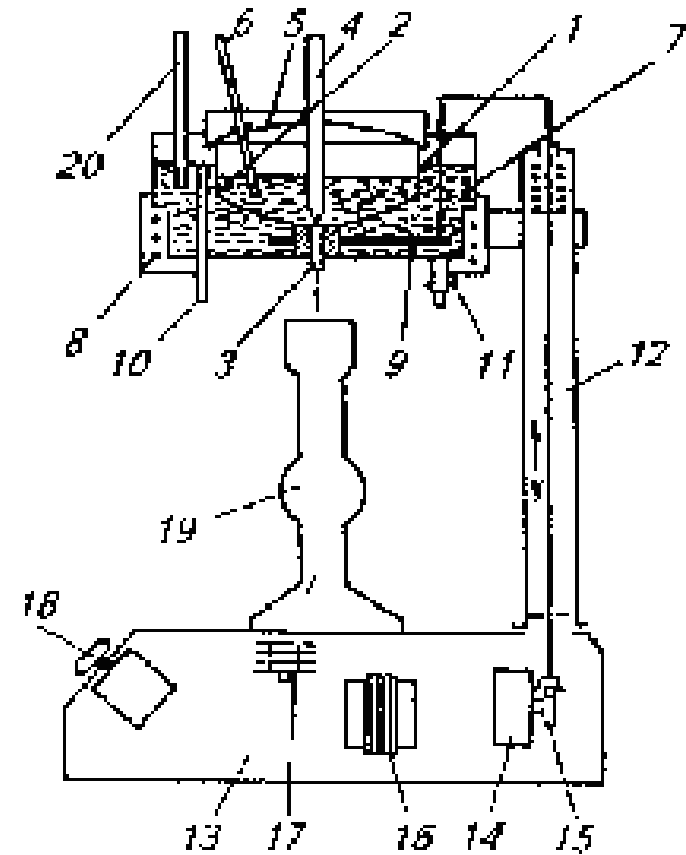


Рис. 15 Вискозиметр Энглера

1-латунная ванна, 2- крючки для контроля уровня исследуемой жидкости, 3-капиллярный насадок, 4-стержень, 5-крышка ванны, 6-термометр, 7-водяная баня, 8-электродвигатель, 9-мешалка, 10-перепускная трубка, 11-сливной кран, 12-стойка, 13-основание прибора, 14-электропривод мешалки, 15-кулачок-толкатель, 16-трансформатор, 17-выпрямитель переменного тока, 18- переключатель терморегулятора, 19-мерный приемник жидкости, 20 – термометр

Рассмотрим некоторые современные модификации вискозиметров.

Вискозиметры с падающим шариком (haake)

Вискозиметр Гепплера с падающим шариком



Предназначен для точного измерения вязкости прозрачных ньютоновских жидкостей и газов. В сочетании с циркуляционным термостатом обеспечивает точность, недостижимую ни на каком другом приборе. Диапазон вязкости: $0,5 - 10^5$ мПа·с. В комплекте – 1 набор шариков и термометр от -1°C до 26°C , цена деления $0,1^{\circ}\text{C}$. **Принадлежности:** Температурный датчик Pt100, управляющий циркуляционным термостатом DC 50; цифровой секундомер с жидко-кристаллическим дисплеем; шарик для газа;

термометры различных диапазонов.

Автоматизированный Микровискозиметр с падающим шариком MicroVisco 2

Позволяет быстро проводить точные автоматизированные измерения на пробах очень малого объема. Представляет собой автоматизированный вискозиметр Гепплера в миниатюре. В комплекте с таймером, системой термостатирования Пелтье, микропроцессором; включая 2 измерительных шприца, 40 измерительных шариков; диапазон измерения вязкости: $0,2-1000$ мПа·с, температурный диапазон $0-100^{\circ}\text{C}$, объем пробы $0,4$ мл. **Принадлежности:** Шприц объемом 400 мкл; шарики: в комплекте 5 позолоченных и 5 стальных разного диаметра

Ротационные вискозиметры

Ротационные вискозиметры Брукфильда.

Классические ротационные вискозиметры, измеряющий сопротивление тестируемой жидкости при вращении ротора с заданной скоростью. Стандартная геометрия роторов позволяет точно оценивать вязкость ньютоновских жидкостей.

«L» - данная модификация используется для тестирования маловязких жидкостей, измерительный диапазон $3-2000000$ мПа·с.

«R» - данная модификация используется для тестирования веществ со средней вязкостью, измерительный диапазон $20 - 13000000$ мПа·с.



Вискозиметр МТ-201 предназначен для экспрессного измерения вязкости жидких ньютоновских и неньютоновских сред, построения и регистрации реологических кривых. Прибор позволяет производить испытания в нестационарных условиях сдвига. Вискозиметр основан на ротационном принципе измерения, создает заданную скорость сдвига и регистрирует напряжение сдвига. В качестве чувствительных элементов используются коаксиальные цилиндры, конусы и параллельные пластинки. Измерение производится согласно ГОСТ 1532-81.

Вискозиметр МТ – 203, МТ-204, МТ-205

Компьютеризированный инструмент позволяющий производить измерение вязкости и абсолютной вязкости жидкости автоматически. Вискозиметр имеет преимущество компактной структуры и устойчивых рабочих свойств. Возможно использование для измерения вязкости жира, краски, пластмасс, фармацевтической продукции, пластыря, косметики и т.д.



Переносные ротационные вискозиметры

Небольшие вискозиметры с автономным питанием предназначены для срочных измерений на производстве и в лаборатории. Приборы не требуют вычислений – шкала вязкости откалибрована на ньютоновских жидкостях и отградуирована в мПа·с.



Синусоидальные вискозиметры серий SV и SV-A фирмы A&D (Япония)

Вискозиметры серии SV – вискозиметры нового поколения, разработанные на основе метода камертонной вибрации. Благодаря использованию этого метода вискозиметры серии SV приобрели ряд преимуществ, принципиально отличающих их от широко применяемых сегодня ротационных вискозиметров. Вискозиметры серии SV-A – новинка 2008 года, обладающая рядом отличительных особенностей. В частности, возможность работы с гораздо меньшими по объему образцами исследуемого материала.

Основные достоинства данных вискозиметров:

- Возможность непрерывно измерять вязкость (произведение динамической вязкости и плотности)
 - Широкий диапазон измерений без замены сенсорных пластин
 - Измерение вязкости неньютоновских жидкостей и жидкостей, содержащих пузырьки
 - Измерение вязкости взвесей и текучего образца
 - Стандартный сенсор температуры непосредственно в тестируемом образце
 - Специальное программное обеспечение WinCT-Viscosity (графическое отображение в реальном времени)
 - Выносной вакуум-флуоресцентный (VFD) дисплей
 - Возможность подключения к ПК через стандартный интерфейс RS-232 (SV), через USB кабель (SV-A)
 - Измерение образцов ультра малых объемов (от 2 мл!) (SV-1A)
 - Портативный футляр для переноски, возможность отсоединения сенсорного устройства, сенсорное устройство со специальной ручкой (SV-A)
 - В комплект поставки SV и SV-A входят кюветы
 - Осуществляется поставка дополнительных разно-образных аксессуаров и опций
- Диапазон измерения 0,3 – 10000 мПа·с



Вискозиметры серий SV и SV-A

Экспресс-анализаторы вязкости RVA фирмы Perten Instruments (Швеция)

Соответствие стандартам: AACC 22-08 «Определение активности альфаамилазы с помощью RVA», AACC 76-21 «Определение параметров клейстеризации пшеничной, ржаной муки или крахмала с использованием RVA», AACC 61-02 «Определение параметров клейстеризации риса с помощью RVA», ICC 161 «Определение „числа вращения“ с помощью RVA как меры амилалитической активности зерна или муки», ICC 162 «Экспресс метод определения параметров клейстеризации крахмала с помощью RVA».

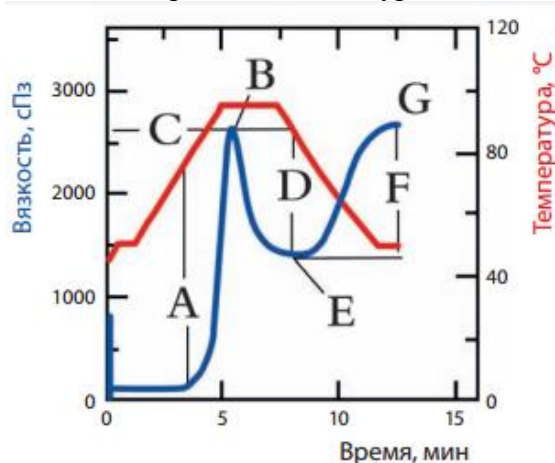


RVA- StarchMaster2

Экспресс-анализаторы вязкости RVA – это ротационные вискозиметры с возможностью регулирования температуры и скорости перемешивания, а также проведения анализа крахмалосодержащего сырья и пищевых продуктов в соответствии со стандартными тестовыми профилями. Данные приборы анализируют всего 2–3 г образца, используя международные методики или с помощью созданной пользователем собственной программы (профиля) выполнения теста. RVA является наиболее эффективным и доступным сегодня прибором, предназначенным получать вискозиметрические характеристики измельченного образца.

RVA – это:

- Анализ процесса клейстеризации нативного и модифицированного крахмала
- Определение активности амилаз
 - Определение степени повреждения крахмальных зерен
- Применение RVA:
 - Зерновые, корнеплоды – качество крахмала в пшенице, кукурузе, рисе, сорго, картофеле, тапиоке, сахарной свекле, маранте, саго и др.
 - Пивоварение – качество ячменя для солодоращения, сухого солода и пивоваренных компонентов
 - Экструдированные продукты и корма – степень готовности снежков, зерновых завтраков и кормов для животных
 - Гели, студни – желирующая способность и степень (скорость) загустевания гидроколлоидов
 - Молочные продукты – качество сыров (в т.ч. плавленых), молочных десертов, мороженого, йогуртов

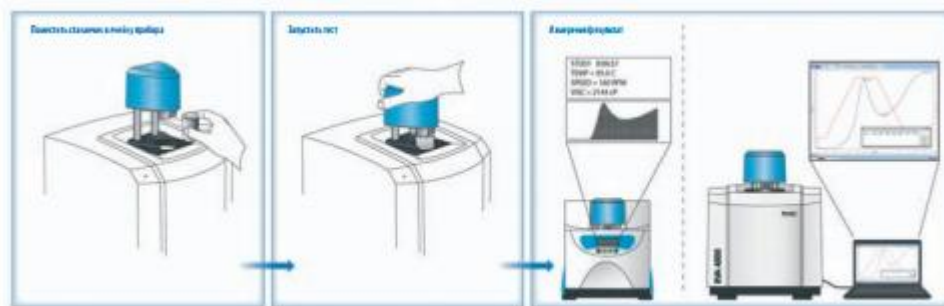


Кривая изменения вязкости крахмального клейстера

Принцип анализа основан на измерении вязкости исследуемой суспензии в процессе нагревания и последующего ее охлаждения. Конечным результатом измерения является перечень параметров кривой изменения вязкости суспензии, описывающей процесс клейстеризации крахмала, а именно: • Температура клейстеризации крахмала (A) • Максимальная вязкость крахмального клейстера (B) • Время образования крахмального клейстера максимальной вязкости (C) • Степень разрушения крахмального клейстера (D) • Прочность крахмального клейстера (E) • Степень увеличения вязкости клейстера вследствие его охлаждения (F) • Конечная величина вязкости (G)

Процедура анализа: 1. Выбрать программу выполнения теста (профиль). 2. Приготовить или взвесить пробу и растворитель. 3. Смешать пробу

и растворитель в специальном стаканчике с лопастной мешалкой. 4. Поместить стаканчик в ячейку прибора и запустить тест



Методика проведения занятия

Студенты изучают тему. Изучают устройство и принцип действия вискозиметров с помощью виртуальных работ на компьютере. В конце занятия устный опрос.

Оборудование:

Компьютер

Список литературы

1. <http://fcior.edu.ru/> Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов.
2. Валентас, К.Дж. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов [Текст]/Валентас К.Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П.(ред.)/ пер. с англ. под общ. науч. ред. А.Л. Ишевского.- СПб: Профессия, 2004.-848с

3. Косой В.Д. Инженерная реология: пособие для лабораторных и практических занятий [Текст]/ В. Д. Косой. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 664 с.: ил. - ISBN 978-5-98879-058-7

Тема 11. Приборы для измерения предельного напряжения сдвига. Пенетрометры, пластометры.

Цель занятия: Изучить приборы для измерения предельного напряжения сдвига.

Основные понятия

Пенетрометры и пластометры используют для определения сдвиговых характеристик пищевых продуктов. В частности для измерения предельного напряжения сдвига. Рассмотрим принципиальные схемы некоторых пластометров (рис. 16).

Принцип действия этих приборов основан на погружении индентора в исследуемую среду. Измерение предельного напряжения сдвига θ_o (Па) основано на определении глубины погружения индентора определенной массы в продукт. Тогда предельное напряжение сдвига можно определить по формуле Агранат – Воларовича:

$$\theta_o = K \frac{m}{h^2}, \quad (24)$$

где K – константа конуса, зависящая от угла 2α при его вершине, Н/кг;

m – масса подвижной части прибора, кг;

h – общая глубина погружения конуса, м.

При определении предельного напряжения сдвига предполагается, что продукт течет вдоль образующей поверхности конуса. В момент погружения индентора в продукт напряжение сдвига бесконечно велико (площадь касания равна нулю), скорость индентора равна нулю, а ускорение соответствует ускорению силы тяжести. Т.к. сила, действующая на конус (сила тяжести), за все время погружения остается постоянной, а площадь соприкосновения конуса с продуктом увеличивается, то напряжение сдвига в системе конус-продукт уменьшается.

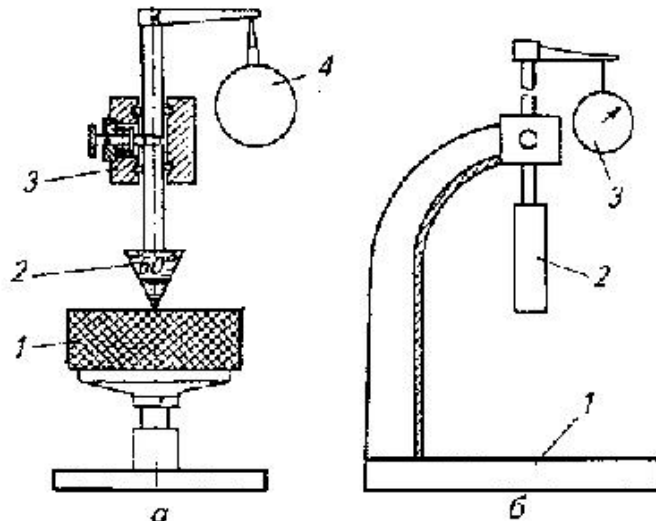


Рис. 16 Принципиальные схемы пластометров

а – конический пластометр Воларовича: 1 – кювета с исследуемым продуктом; 2 – конус со штангой и поперечиной; 3 – обойма для осевого перемещения штанги с фиксатором; 4 – индикатор часового типа для измерения перемещения штанги; **б – пластинчатый пластометр Жуховицкого и Гуткина:** 1 – подставка с кронштейном; 2 – плоский нож (200x25 мм) со штоком; 3 – индикатор или линейка для регистраций перемещения штока

Рассмотрим некоторые модернизированные приборы.

Полуавтоматический пенетромер Модель 17190-2



Прочный прецизионный прибор с массивным основанием. Время пенетрации программируется, считывание показаний производится по дисковому лимбу шкалы.

Вес: 9 кг. Время пенетрации: 5, 8, 10, 12, 30 и 60 сек.

Автоматический пенетромер Модель 17500-0-SETAMATIC

Компактный прибор, использующий новейшие технологии в электронике и программировании.

Имеет цифровую клавиатуру, микропроцессор, цифровой дисплей, интерактивное программное обеспечение. Время пенетрации: 1...9999 сек. Размеры: 59х30х33 см. Вес: 12 кг



Методика проведения занятия

Студенты изучают тему с помощью виртуальной работы на компьютере. В конце занятия тестирование.

Оборудование:

Компьютер

Список литературы

1. <http://fcior.edu.ru/> Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов.
2. Максимов А.С. Реология пищевых продуктов: лабораторный практикум [Текст]/ А. С. Максимов, В. Я. Черных. - СПб. : ГИОРД, 2006. - 171 с. : ил. - ISBN 5-98879-001-1

Тема. 12 Приборы для измерения компрессионных характеристик

Цель занятия: Изучить приборы для определения компрессионных характеристик.

Объемное и осевое сжатие, а также осевое растяжение являются основными типами механической деформации продуктов. В ряде машин (прессов, волчков, дозаторов, шприцев и пр.) продукты находятся при повышенных давлениях, что изменяет их первоначальный объем и плотность. На выходе из машины объем и плотность также могут отличаться от первоначальных. Эти изменения определяют, основываясь на компрессионных характеристиках.

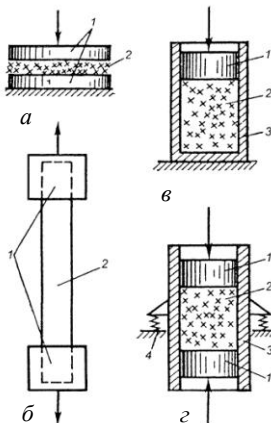


Рис. 17. Схемы измерения компрессионных характеристик:

- а) осевое сжатие: 1 – зажимы; 2 – продукт;
б) осевое растяжение: 1 – зажимы;
2 – продукт; в, г) одностороннее и объемное сжатие: 1 – поршень; 2 – продукт;
3 – цилиндр; 4 – пружинные подвесы

Основные методы измерения этих характеристик показаны на рис. 17.1. Сжатие продукта между пластинами (рис. 17.1,а) используют также для оценки консистенции продукта. При испытании на растяжение (рис. 17.1,б) для надежного крепления концов образца предложено замораживание их в жидком азоте. При сжатии продукта в цилиндре поршнем (рис. 17.1,в) появляются распорные усилия, в результате чего давление и плотность по высоте цилиндра изменяются. Двустороннее сжатие продукта (рис. 17.1,г) может происходить от двух подвижных

поршней или от одного неподвижного и одного подвижного, когда цилиндр свободно подвешен, например на пружинах.

Методика измерений практически одинакова для всех приборов. Конструктивные схемы различаются по способу привода пластины: снизу и сверху, от электродвигателя или непосредственно от груза.

Прибор для исследования материалов на растяжение (рис. 18) состоит из ванны 1, в которую наливается раствор 2. Концы плавающего по поверхности образца 4 закрепляют в зажимах 3, один из которых неподвижен. Измерительная часть представляет собой линейку 9, закрепленную на направляющей. Нагружающий механизм состоит из стержня 7, грузов 11, нити 10 роликов 5 и 8, кронштейнов 6. Концентрация солевого или сахарного раствора подбирается такой, чтобы образец (например, тесто) свободно плавал по поверхности. Прибор предназначен для научно-исследовательских целей.

Приборы для измерения деформации при сжатии применяются для определения упруго-пластичных свойств.

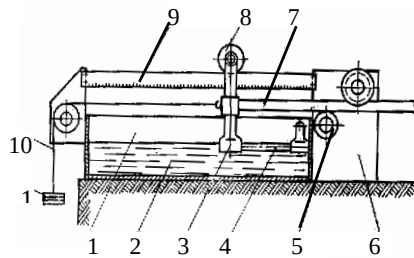


Рис. 18. Прибор для испытания образцов на растяжение:
1 – ванна; 2 – раствор; 3 – зажим;
4 – образец; 5 – ролик;
6 – кронштейн; 7 – стержень;
8 – ролик; 9 – измерительная шкала; 10 – нить; 11 – груз

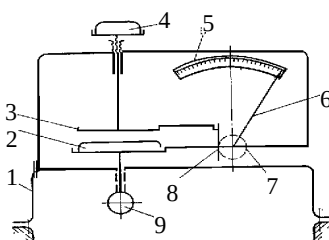


Рис. 19. Прибор для испытания на сжатие:
1 – станина; 2, 3 – диски;
4 – груз; 5 – шкала; 6 – стрелка;
7 – шестерня; 8 – рейка;
9 – эксцентрик

Прибор Б.А. Николаева и А.С. Шпигельгласа для измерения деформаций одноосного сжатия между параллельными плоскостями (рис. 19) состоит из станины 1, в которой перемещается опорная стойка столика. Испытуемый материал помещается между параллельными плоскостями дисков 2 и 3. Верхний из них может перемещаться под

действием груза 4, в то же время он связан с рейкой 8, входящей в зацепление с шестерней 7, на оси которой закреплена стрелка 6, показывающая деформации по шкале 5. Нижний диск 2 имеет возможность перемещаться в вертикальной плоскости при помощи эксцентрика 9. На описанном приборе можно определить мгновенную упругую деформацию, модуль упругого сжатия, а также вязкость и предельное напряжение сдвига.



Рис. 20 Альвеограф

Альвеограф предназначен для определения реологических свойств теста (упругая и общая деформация теста, работа деформации теста, эластичность). Альвеограф предполагает проведение эксперимента при постоянной влажности теста. С 2011 года этот прибор предлагается к поставке исключительно в составе прибора альвео-консистограф. **Альвео-консистограф** представляет собой альвеограф, месильная емкость которого оборудована датчиком давления для определения консистенции (вязкости) замешиваемого теста. По консистенции теста судят о водопоглощательной способности муки (ВПС) и исходя из этого значения дозируют на замес теста для последующего альвеографического определения такое количество воды, которое приводит к получению теста оптимальной консистенции (ей соответствует давление 2200 мбар). Соответственно

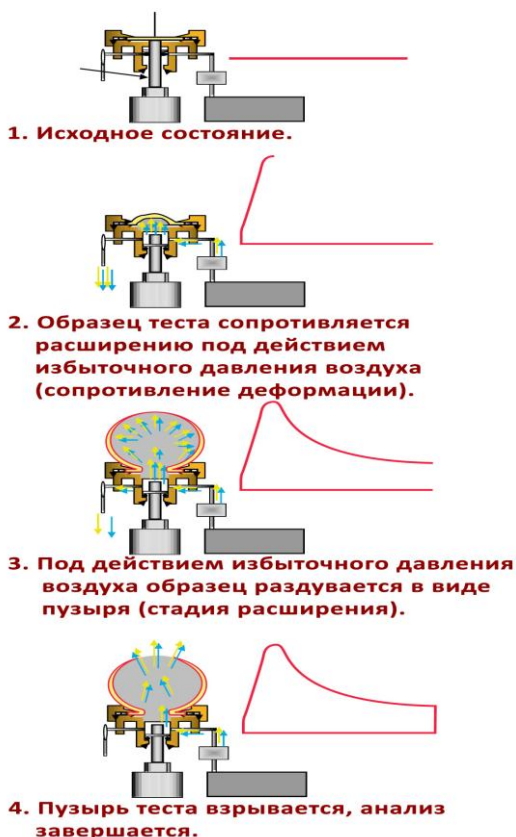
альвео-консистограф предполагает проведение эксперимента при постоянной консистенции теста. При этом пользователь, работая на альвео-консистографе, может не принимать в расчет оптимальную консистенцию теста, а замешивать его при постоянной влажности. То есть альвео-консистограф позволяет провести эксперимент с теми же параметрами, что и альвеограф. Установка соответствующих настроек, а также вывод результатов анализа производится через специальный блок-приставку альвеолинк, который входит в комплект поставки.

В начале каждого рабочего дня проводится калибровка давления воздуха. После ее проведения производят замес теста. При работе на альвеографе на замес подают 250 г муки и 2,5% раствор соли в количестве, зависящем от влажности муки (при использовании муки с фактической влажностью 15% вносят 125 мл раствора соли, что соответствует влажности теста 43,3%). При работе на альвео-консистографе производят замес, используя те же ингредиенты в тех же количествах, но при этом регистрируют давление теста в процессе его замеса. Если давление отличается от 2200 мбар, то прибор автоматически выдает рекомендацию изменить количество муки и воды, после чего замес проводят снова и такое количество раз, пока давление теста не будет достигать 2200 мбар.

После замеса тесто выпрессовывают, делят на куски, раскатывают, формуют и ставят на отлежку в расстойную камеру.

После отлежки блинок теста укладывают на приемный столик, фиксируемый с помощью кольца, после чего производят его надувание в форму шара до разрыва. На начальном этапе эксперимента при увеличении давления воздуха проба теста проявляет свои упругие свойства. Далее под давлением воздуха тесто раздувается в шар и проявляет свои упруго-пластические свойства. В определенный момент времени происходит разрыв шара, тесто проявляет свои прочностные свойства.

Альвеограф/альвео-консистограф используется для оценки технологических свойств муки и соответственно определения ее целевого назначения. Так, мука, которая дает тесто со сравнительно высокой общей и низкой упругой деформацией пригодна, например, для приготовления печенья. В то время как мука, которая дает тесто со сравнительно низкой общей и высокой упругой деформацией – для макаронных изделий. Также альвеограф/альвео-консистограф применяется для оценки действия различных улучшителей и ферментных препаратов на качество теста, для составления помольных партий зерна.



Тест на альвеографе состоит из четырех этапов:

- Замес теста из муки и солевого раствора
- Экструзия и подготовка пяти лепёшек теста
- Расстойка образцов
- Раздутие лепёшек теста с регистрацией параметров деформации.

Консистограф позволяет определить ВПС муки, время образования теста, его стабильность и разжижение клейковины, а также получить Альвеограмму с адаптированной гидратацией муки.

Принцип работы:

Образец теста (вода + соль + мука) под действием избыточного давления воздуха раздувается в виде пузыря. Данный процесс имитирует деформацию теста под действием газов, выделяемых дрожжевыми культурами или химическими разрыхлителями. Образец муки замешивается в тестомесилке, раскатывается, помещается в

расстоечную камеру (20 мин), подвергается раздуванию воздухом собственно в альвеографе. Процесс образования шара-теста и его разрыва регистрируется Альвеолинком NG в виде кривых и числовых значений реологических показателей, которые изображаются на экране входящего в состав системы дисплея и распечатываются на лазерном принтере.

Метод консистографического анализа базируется на измерении давления, прикладываемого к тесту в чаше для перемешивания. Сдвоенный нож для перемешивания создает давление на тесто и прижимает тесто к датчику давления. В анализах при постоянном уровне увлажнения фиксируется максимальное давление в чаше (P_{max}), которое напрямую зависит от адсорбционного потенциала муки.

Альвео-консистограф-NG включает в себя три независимых блока:

- Миксер/экструдер для приготовления образца теста и проведения консистографического анализа;
- Альвеограф для термостатирования образца теста и проведения альвеографического анализа;
- Модуль вывода результатов (манометр или поставляемый дополнительный модуль Альвеолинк)

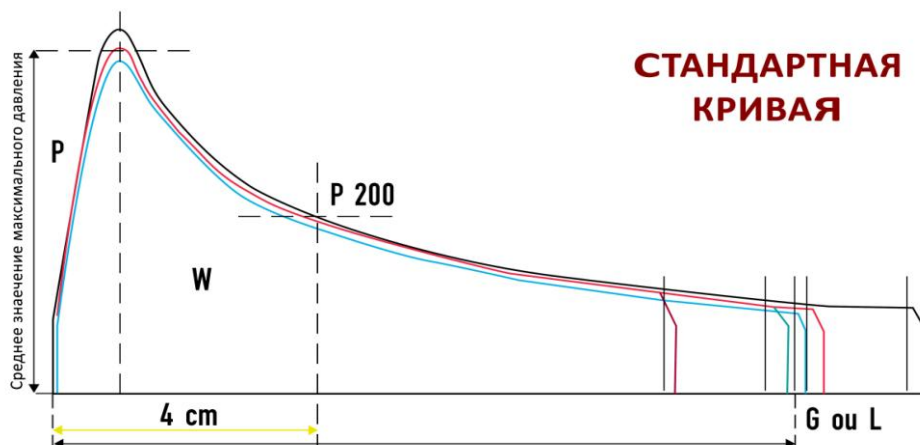


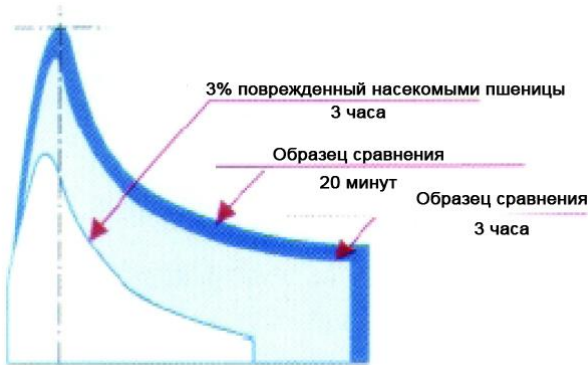
Рис. 21 Типичная альвеограмма

Основные характеристики альвеограммы:

- P – упругость (максимальное давление, необходимое для деформации образца);
- L – растяжимость (длина кривой);
- W – хлебопекарная способность (площадь кривой);
- P/L – вид кривой (отношение высоты кривой к ее длине. Соотношение упругости к растяжимости);
- p – давление в точке, соответствующей разрыву теста;

Le – (P200/P) индекс эластичности. Характеризует эластичность теста P200 - давление на расстоянии 4 см от начала кривой)

- P_{max} – максимальное значение давления;
- WA – эквивалентная гидратация для 15%-ного содержания воды, соответствующего давлению 1700 мбар;
- $HYDHA$ – эквивалентная гидратация для 15%-ного содержания воды, соответствующего давлению 2200 мбар.



Область применения.

Контроль качества пшеницы:

Выявление пшеницы, поврежденной насекомыми: Выявляет гидролиз протеинов, вызываемый ферментами, выделяемыми насекомыми, приводящий к уменьшению силы клейковины муки.

Плохие условия хранения зерна:

Пластичность, присущая протеинам, снижается, если сушка зерна производилась при чересчур высокой температуре. Об этом свидетельствует форма кривой, состоящей из нескольких участков.

Оптимизация состава смесей зерна и муки:

Данный метод (математический расчет) позволяет пользователям составлять смеси зерна и муки в соответствии с заданными требованиями.

Улучшение пластичности муки:

С помощью альвеографа можно оптимизировать количество добавок в муку в соответствии с заданными критериями:

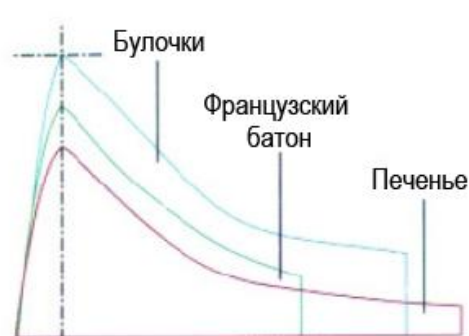
- при добавлении клейковины: увеличиваются значения W и P , уменьшается значение L ;
- при добавлении восстановителя: уменьшаются значения W и P , увеличивается, и затем уменьшается значение L (в зависимости от количества восстановителя);
- при добавлении эмульгатора: значение P немного уменьшается, значения W и L увеличиваются.

Приготовление различных сортов муки по назначению:

Примеры:

- Бисквитная мука: тесто с вязкостью (низкое значение P) и растяжимостью (высокое значение L);

- Мука для французских батонов: обладающее достаточно высокой растяжимостью (средние значения P и



низкой
большой

батонов: тесто, силой и L);

- Мука для выпечки булочек для гамбургеров:

тесто с высокой вязкостью и растяжимостью (высокие значения P и L).



Экстенсограф

Для анализа хлебопекарных свойств муки, для определения поведения теста во время выпечки и для изучения сопротивлению теста растяжению специально создан прибор Экстенсограф. Подготовленный с помощью

Фаринографа образец теста стандартной консистенции растягивается на Экстенсографе до разрыва, и прибор фиксирует необходимую для этого силу. Кроме анализа непосредственно муки, Экстенсограф может применяться для изучения влияния добавок улучшителей, таких как аскорбиновая кислота, сухая клейковина, эмульгаторы и протеиназа. Прибор управляется компьютером со специальным программным обеспечением, которое не только позволяет проводить регистрацию экстенсограмм, но и сравнение нескольких кривых для различных образцов, с целью выбора оптимальной муки. Применение: Основные характеристики муки, получаемые с помощью Экстенсографа: сопротивление теста растяжению и растяжимость энергия, затрачиваемая на растяжение (площадь под кривой) отношение растяжимости к упругости теста

Экстенсограмма показывает зависимость прилагаемых усилий от времени растяжения

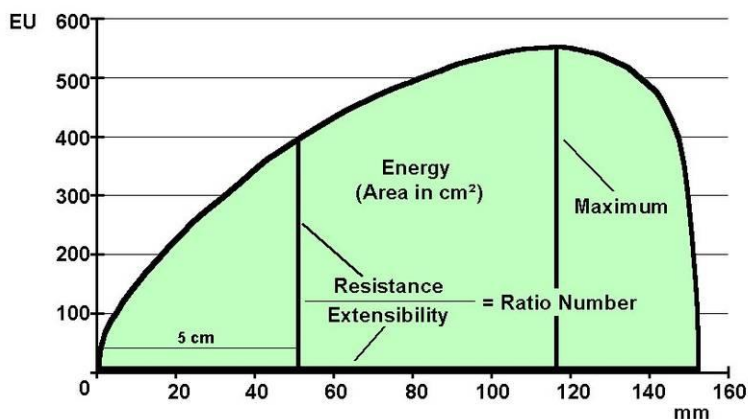


Рис. 22 Экстенсограмма

Оцениваются следующие параметры:

- Площадь (энергия)
- Сопротивление продукта растягиванию
- Растяжимость
- Максимум
- Отношение растяжимости к сопротивлению растягивания
- Отношение растяжимости к максимуму

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему с помощью виртуальной работы на компьютере. Изучение принципа действия альвиографа и экстенсографа. В конце занятия тестирование.

Оборудование:

Компьютер

Список литературы

1. Лабораторное оборудование для контроля качества зерна, муки, кормов и пищевых продуктов// http://www.soctrade.com/pdf/1134_pdf.pdf
2. Альвео-консистограф Анализ реологических характеристик теста. Определение ВПС муки, упругости, растяжимости, эластичности и хлебопекарной силы муки / <http://www.chopin.fr/media/produits/pdf/alveoconsistographe-ru-2-.pdf>
3. СпецТехноРесурс/ <http://s-t-r.ru/products/31230--ng-ng.aspx>
4. <http://fcior.edu.ru/> Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов.
5. Максимов А.С. Реология пищевых продуктов: лабораторный практикум [Текст]/ А. С. Максимов, В. Я. Черных. - СПб. : ГИОРД, 2006. - 171 с. : ил. - ISBN 5-98879-001-1

Тема 13. Приборы для определения поверхностных характеристик.

Цель занятия: Изучить приборы для определения поверхностных характеристик.

Поверхностные свойства пищевых продуктов – адгезия и внешнее трение – проявляются на границе раздела между продуктом и твердой стенкой. Они имеют существенное значение в разнообразных технологических процессах, где возможен контакт между продуктом и стенкой обрабатывающей машины.

1. Приборы для измерения адгезии

Качественно адгезию можно охарактеризовать двумя способами: нарушением контакта одновременно на всех участках площади (рис. 23, а, г, д) или путем последовательного отрыва отдельных участков – расслаиванием, отдираанием (рис. 23, б, в), оба способа нашли практическое применение. При первом методе разрушающую нагрузку прикладывают в направлении как перпендикулярном к плоскости контакта, так и параллельном ей и обычно относят к площади поверхности контакта. При втором методе определяют силу, необходимую для расслаивания склейки, ее относят к единице длины.

Наиболее часто в адгезиометрах для пищевых продуктов реализуется схема по рис. 23.а. Она может отличаться способами приложения силы и регистрации отрывающего усилия.

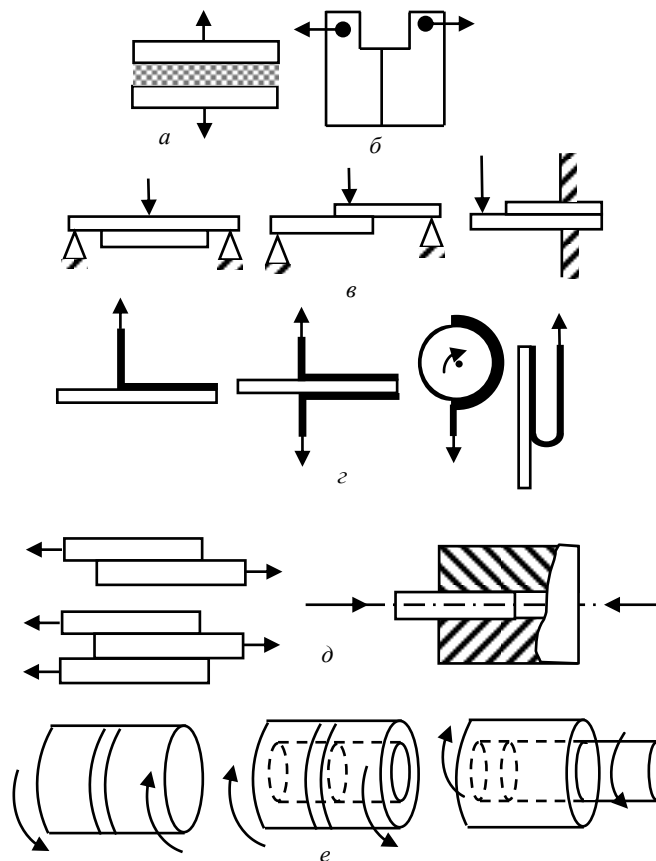


Рис.23 Принципиальные схемы приборов для измерения адгезионной прочности:

а) равномерный отрыв; б) внецентричное растяжение; в) изгиб листовых материалов; г) способы расслаивания материалов; д) способы сдвигового разрушения; е) способы сдвигового разрушения при кручении

Например, в приборе Николаева «мгновенно» отрывается верхний диск с помощью рычажного механизма; в приборе Кульмана постепенно отрывается нижний диск при наполнении подвешенной к нему емкости водой. Разделение контактирующих тел может происходить по трем вариантам: адгезионное – по границе раздела продукт – стенка, когезионное – по слою продукта – и смешанное.

Приборы для измерения адгезии должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) не требовать предварительной тарировки на эталонном материале и выражаться в абсолютных единицах;
- 2) обеспечивать изменение усилия и длительности предварительного контакта в широком диапазоне;
- 3) иметь набор пластин разной площади и шаблон для нанесения продукта заданной толщины на пластину;
- 4) позволять легко заменять материал пластин и степень его механической обработки;
- 5) допускать варьирование скорости приложения силы отрыва или сдвига в широком диапазоне.

2. Приборы для измерения внешнего трения

Коэффициент внешнего трения для машиностроительных материалов изучен довольно подробно как экспериментально, так и теоретически. При этом для объяснения трения металлов и высокоэластичных полимеров используют молекулярно-кинетическую теорию.

Классический тип прибора для измерения силы внешнего трения представляет собой пару тел, соприкасающихся плоскими поверхностями, площадь которых может быть от долей квадратных миллиметров до десятков квадратных миллиметров. При этом одно из тел смещается относительно другого. Сила смещения (трения) измеряется тензометрическими, динамометрическими или какими-либо другими датчиками. Для малых скоростей трения реализуется прямолинейное смещение поверхности. И.В. Крагельский распределил известные *методы* определения коэффициента трения на *четыре группы*, положив в основу геометрический и кинематический принципы (рис 24).

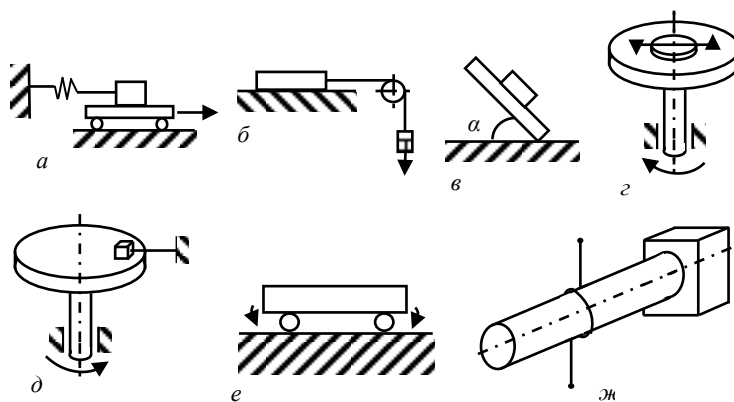


Рис. 24. Методы измерения внешнего трения

К *первой группе* методов относятся такие, в которых одна плоскость *поступательно* перемещается относительно другой плоскости (рис. 24, а, б, в). По схеме а продукт перемещается по движущейся исследуемой поверхности, при этом сила трения измеряется динамометром любого типа. Таким, наиболее распространенным методом, определяют трение

твердообразных продуктов: сухарей, хлеба, зерна и т.п. По схеме б продукт перемещается с помощью груза по исследуемой неподвижной поверхности. Сила трения в этом случае равна минимальной массе груза, необходимой для равномерного перемещения продукта. Этим методом определяют коэффициент трения таких твердых продуктов, как сыр, кондитерские изделия. По схеме в продукт скользит по наклонной поверхности. Коэффициент трения определяют по минимальному углу наклона α поверхности исследуемого конструкционного материала, по которому скользит пищевой продукт. Такой метод позволил определить статический коэффициент трения сыра, сухарей, сыпучих продуктов. Определение коэффициента трения по углу наклона плоскости, при котором начинается движение продукта по поверхности, недостаточно точно, так как угол наклона плоскости в момент движения определяют приблизительно, к тому же невозможно установить изменение коэффициента трения с изменением скорости скольжения.

Ко *второй группе* относятся такие методы, при которых одна из фрикционных пар

совершает вращательное движение. По схеме *г* определяют коэффициент трения кондитерских масс. Продукт лежит на вращающемся диске, исследуемый конструкционный материал скользит по вращающемуся продукту. Сила трения определяется по крутящему моменту, передаваемому от диска образцу. По схеме *д* продукт, закрепленный на упругой балке, скользит по вращающейся поверхности исследуемого материала. Этим методом определяют коэффициент трения мяса, рыбы, таблеток кофе и чая, сухарных плит, формового хлеба.

К *третьей группе* относятся методы, в которых образующая цилиндра соприкасается с плоскостью. Схема *е* – балка, совершающая колебательные движения на двух вращающихся навстречу друг другу роликах.

К *четвертой группе* относятся методы, в которых одна цилиндрическая или плоская гибкая поверхность перемещается по цилиндрической поверхности (схема *ж*).

При этом изменение давления допускают методы, изображенные на всех схемах, кроме *ж*; изменение размера поверхности – методы *а – д*; изменение скорости скольжения допускают все методы, кроме *в*.

На внешнее трение влияют те же факторы, что и на адгезию. Следовательно, статическое трение должно быть больше динамического. При первоначальном сдвиге часть усилия расходуется на выход частиц или молекул одного тела из неровностей или молекулярных ям другого, остальное – на разрыв молекулярных и других контактов, которые во время движения не успевают полностью восстанавливаться. Достаточно малая скорость относительного движения трущихся тел может вызывать скачки, т.е. прерывистость движения: тело переходит из одного статического положения в другое, где вновь образуются контакты с поверхностью скольжения. При больших скоростях скольжения и неизменном состоянии поверхности скольжения подобные эффекты обычно не наблюдаются.

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему с помощью виртуальной работы на компьютере. В конце занятия тестирование.

Оборудование:

Компьютер

Список литературы

1. Лабораторное оборудование для контроля качества зерна, муки, кормов и пищевых продуктов// http://www.soctrade.com/pdf/1134_pdf.pdf
2. <http://fcior.edu.ru/> Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов.
3. Максимов А.С. Реология пищевых продуктов: лабораторный практикум [Текст]/ А. С. Максимов, В. Я. Черных. - СПб. : ГИОРД, 2006. - 171 с. : ил. - ISBN 5-98879-001-1

Тема 14. Насосы, применяемые в пищевой промышленности.

Цель занятия: Изучить классификацию, устройство и принцип действия насосов, применяемых в пищевой промышленности.

Основные понятия

Насос, устройство (гидравлическая машина, аппарат или прибор) для напорного перемещения (всасывания и нагнетания) различных жидкостей в результате сообщения им внешней энергии (потенциальной и кинетической). Устройства для безнапорного перемещения жидкости насосами обычно не называют и относят к водоподъемным машинам.

Основной параметр насосов - количество жидкости, перемещаемое в единицу времени, т. е. осуществляемая объемная подача Q . Для большинства насосов важнейшими техническими параметрами также являются: развиваемое давление p или соответствующий ему напор H , потребляемая мощность N и кпд.

Терминология. Названия большинства устройств, применяемых для всасывания и нагнетания жидкостей, состоят из слова "насос" и соответствующего определения, характеризующего, как правило, либо принцип его действия (например, центробежный, электромагнитный), либо особенности конструкции (горизонтальный, зубчатый, шиберный), либо подаваемую среду. Иногда определительное слово фиксирует назначение или область применения насоса (например, лабораторный, дозировочный), тип привода (ручной, с электроприводом), а также автора конструкции (например, насос Гемфри) или название фирмы (насос СИХИ - по первым буквам слов *Simen Hinsch*; насос Фарко - по имени владельца завода). Некоторые из устройств получили особые названия, например: гидроэлеватор, инжектор и эжектор, являющиеся разновидностями струйного насоса.

Изобретение насосов относится к глубокой древности. Первый насос для тушения пожаров (*рис. 25*), который изобрёл древнегреческий механик **Ктесибий**, был описан в I в. до н. э. древнегреческим учёным Героном из Александрии в сочинении "Pneumatica", а затем М. Витрувием в труде "De Architectura". Простейшие деревянные насосы с проходным поршнем для подъёма воды из колодцев, вероятно, применялись ещё раньше. До начала 18 в. поршневые насосы по сравнению с водоподъёмными машинами использовались редко. В дальнейшем в связи с ростом потребностей в воде и необходимостью увеличения высоты её подачи, особенно после появления паровой машины, насосы постепенно стали вытеснять водоподъёмные машины. Требования к насосам и условия их применения становились всё более разнообразными, поэтому наряду с поршневыми насосами стали создавать вращательные насосы, а также различные устройства для напорной подачи жидкостей. Исторически наметились три направления их дальнейшего развития: создание поршневых насосов, вращательных и гидравлических устройств без движущихся рабочих органов.

В настоящее время применяются центробежные, поршневые, роторные, мембранные и др. насосы.

Центробежные насосы (*рис. 26 а*) являются наиболее распространёнными и предназначаются для подачи холодной или горячей ($t > 60^{\circ}\text{C}$) воды, вязких или агрессивных жидкостей, сточных вод, смесей воды с грунтом, золой и шлаком, торфом, раздробленным каменным углём и т.п. Их действие основано на передаче кинетической энергии от вращающегося рабочего колеса тем частицам жидкости, которые находятся между его лопастями. Под влиянием возникающей при этом центробежной силы P частицы подаваемой среды из рабочего колеса перемещаются в корпус Н и далее, а на их место под действием давления воздуха поступают новые частицы, обеспечивая непрерывную работу насоса.

Рабочие колёса насосов могут быть не только с односторонним подводом жидкости, но и с двухсторонним, что позволяет почти полностью уравнивать давление жидкости на внешние боковые поверхности колеса.

В пищевой промышленности центробежные насосы используют для перекачивания мясного бульона, рассола, цельного и обезжиренного молока, сыворотки (сгущенного молока без сахара) или таких продуктов, на качество которых не влияет перемешивание. Выпускают лопастные, дисковые и самовсасывающие.

Роторные насосы – применяются для перемещения фарша, сгущенного молока, сливок, смеси для мороженого, творога и т.п.

По особенностям конструкции рабочих органов роторные насосы можно подразделить на зубчатые (в том числе шестерённые), винтовые, шиберные, коловратные, аксиально - и радиально-поршневые, лабиринтные и др.

В пищевой промышленности применяют винтовые, шестерённые, шиберные и кулачковые роторные насосы.

Каждый из них имеет свои разновидности, но объединяющий их признак - общность принципа действия, в основном аналогичного действию поршневых насосов. Роторные

насосы отличаются отсутствием всасывающего и нагнетательного клапанов, что является их большим преимуществом и упрощает конструкцию.

- Одновинтовые насосы (рис. 26 а, б) – имеют питающий, транспортирующий и напорный шнеки, к достоинствам можно отнести то, что путь проходимый продуктом в сжатом состоянии не большой.

- Двухвинтовые (рис. 26 в)– в таком насосе продукт как бы течет между двумя выступами винтов и проходит путь равный длине винтовой линии, что вызывает интенсивное смятие и перетирание продукта.

- Ротационно-шиберные насосы (рис. 27 а) – в таких насосах зона нагнетания отделена от зоны всасывания, качающимся шибером, что является их преимуществом и упрощает конструкцию.

- Шестеренчатые (рис. 27в) – применяют для перекачки продуктов с небольшими значениями предельных напряжений сдвига.

- Роторно-поршневые (кулачковые) (рис. 27 в)- конструкция насоса не снижает качества продукта при перекачке, дает возможность создать высокие давления, необходимые для перекачки продукта на большие расстояния)

Поршневые насосы (рис. 29) отличаются большим разнообразием конструкций и широтой применения. В пищевой промышленности их используют для подачи сгущенного молока в сушильно-распылительные установки, для подачи фарша.

Действие поршневых насосов состоит из чередующихся процессов всасывания и нагнетания, которые осуществляются в цилиндре насоса при соответствующем направлении движения рабочего органа - поршня или плунжера. Эти процессы происходят в одном и том же объеме, но в различные моменты времени. По способу сообщения рабочему органу поступательно-возвратного движения насосы разделяют на приводные (обычно с коленчатым валом и шатунным механизмом) и прямодействующие. Чтобы периодически соединять рабочий объем то со стороной всасывания, то со стороной нагнетания, в насосе предусмотрены всасывающий и нагнетательные клапаны. Во время работы насоса жидкость получает главным образом потенциальную энергию, пропорциональную давлению её нагнетания. Неравномерность подачи, связанная с изменением во времени скорости движения поршня или плунжера, уменьшается с увеличением кратности действия насоса и может быть почти полностью устранена применением воздушно-гидравлического компенсатора. Поршневые насосы классифицируют на горизонтальные и вертикальные, одинарного и многократного действия, одно- и многоцилиндровые, а также по быстроходности, роду подаваемой жидкости и др. признакам. По сравнению с центробежными насосами поршневые имеют более сложную конструкцию, отличаются тихоходностью, а следовательно, и большими габаритами, а также массой на единицу совершаемой работы. Но они обладают сравнительно высоким кпд и независимостью (в принципе) подачи от напора, что позволяет использовать их в качестве дозирующих.

Шланговые насосы (рис. 29 б)– продукт находится в эластичном шланге, из которого выдавливаются роликами, к достоинствам можно отнести то, что переносимый объем продукта из зоны всасывания в зону нагнетания остается неизменным.

Мембранные насосы (рис. 29) – подобны поршневым, отличие заключается в том, что поршень от перекачиваемого продукта отделен мембранной, изготовленной из пищевой резины. Достоинством насосов этого типа является отсутствие уплотнений и прямого контакта рабочего органа с продуктом.

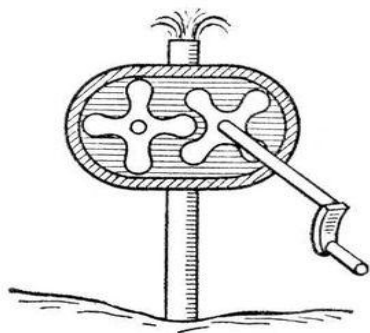


Рис. 25 Коловратный насос

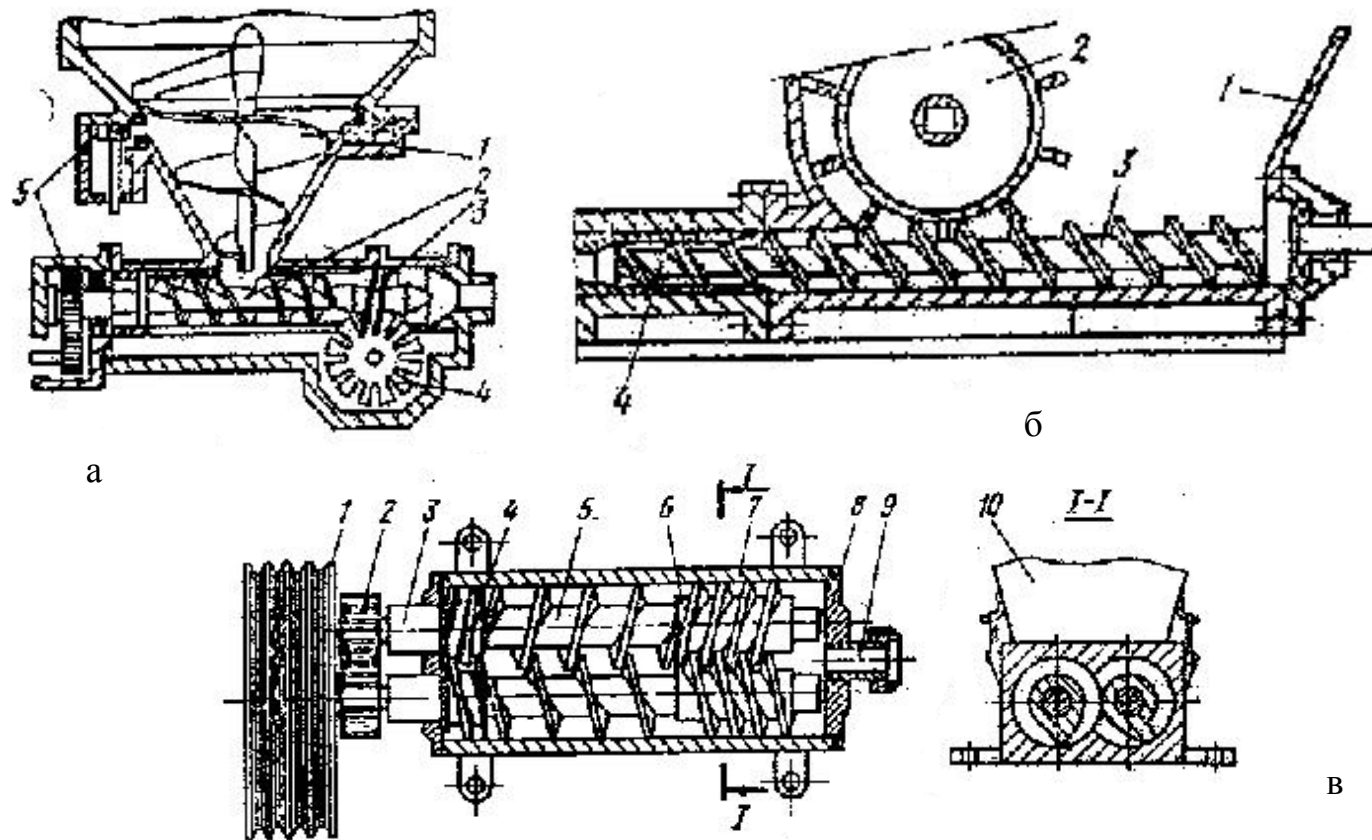


Рис. 26 Принципиальные схемы винтовых насосов (роторные)

а – шнековый с вакуумной камерой: 1 – питающий шнек, 2 – транспортирующий шнек, 3 – напорный шнек, 4 – замыкающий диск, 5 – привод к шнекам; **б** – шнековый насос: 1 – корпус, 2 – барабан с замыкающими пластинами, 3 – транспортирующая и 4 – напорная части шнека; **в** – насос с двухвинтовым вытеснителем: 1 – приводной клиноременный шкив, 2 – синхронизирующие шестерни, 3 – хвостовик винтов, 4 – отбойные винты, 5 – питательные шнеки, 6 – напорные винты, 7 – корпус, 8 – передняя крышка с коническими подшипниками скольжения для вала винтов, 9 – напорная труба, 10 – бункер для продукта

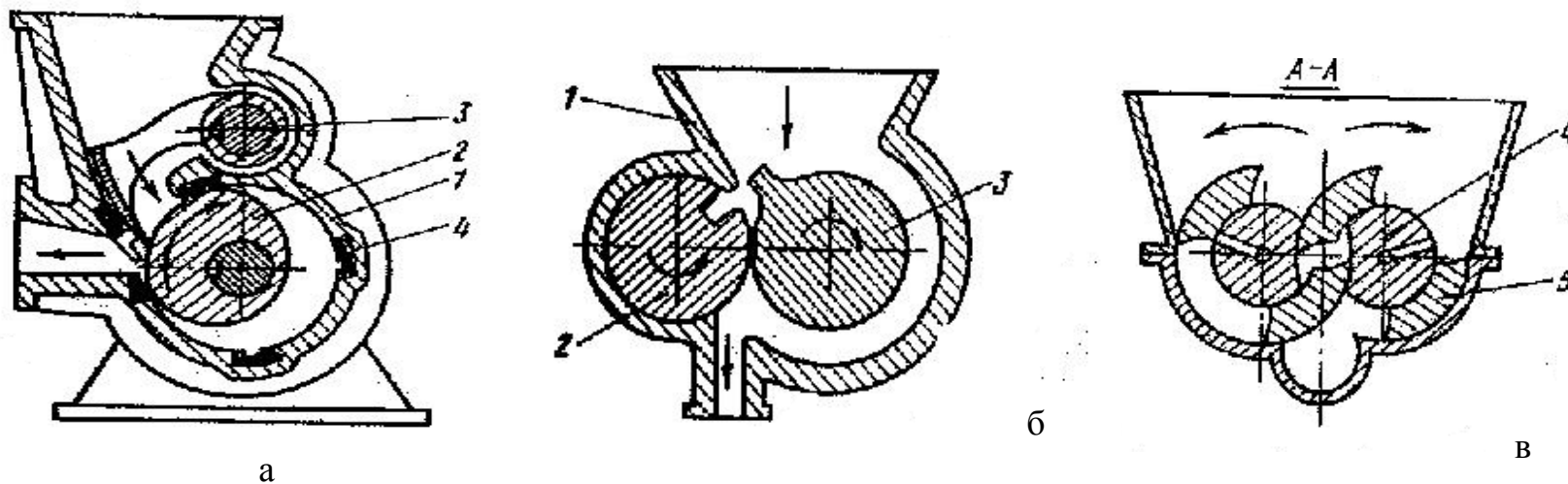


Рис. 27. Принципиальные схемы кулачковых насосов (роторные)

а – роторно-шиберный: 1 – корпус, 2 – ротор, 3 – замыкающий шибер с рычагом, 4 – эластичное уплотнение с язычковыми губками;
б – однокулачковый роторный: 1 – корпус, 2 – ротор с впадиной, 3 – ротор с напорным кулачком;
в – кулачковый (роторно-поршневой): 1 – передняя крышка, 2 – корпус, 3 – корпус приводных валов, 4 – неподвижные оси, 5 – вращающиеся поршни (кулачки), 6 – приводные валы с поршнями.

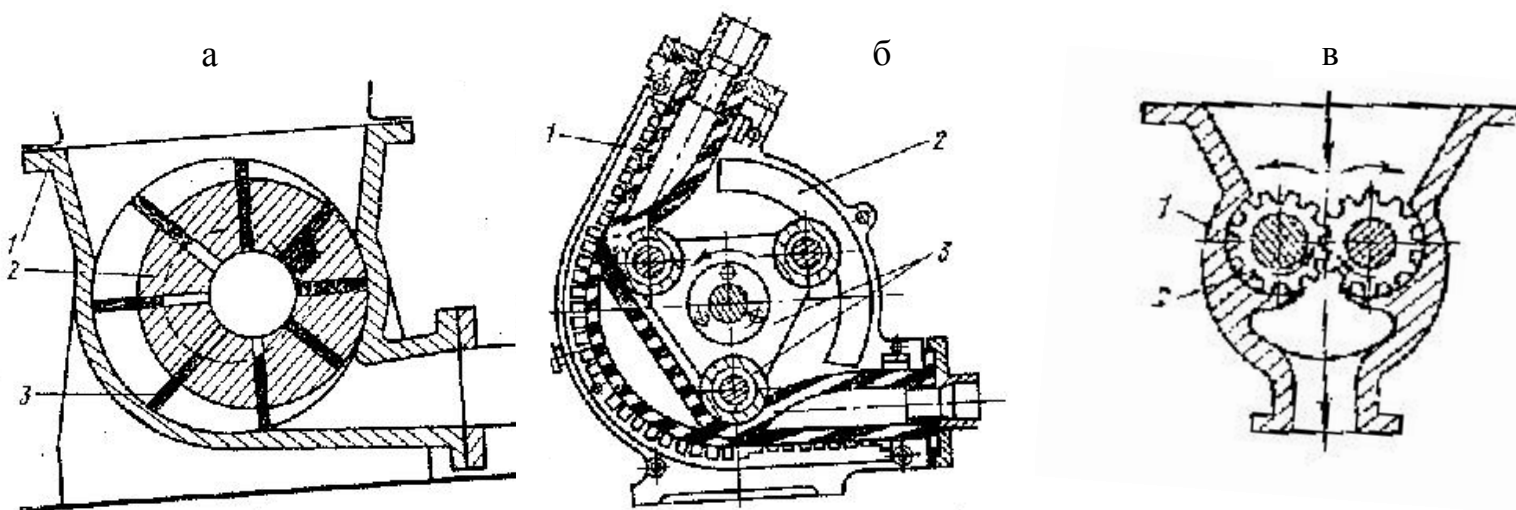


Рис. 28. Принципиальные схемы объемных насосов

а – эксцентриково-лопастной: 1 – корпус, 2 – ротор, 3 – лопатки; **б** – шланговый: 1 – гибкий шланг, 2 – корпус, 3 – ролики; **в** – шестеренный: 1 – корпус, 2 – шестерни.

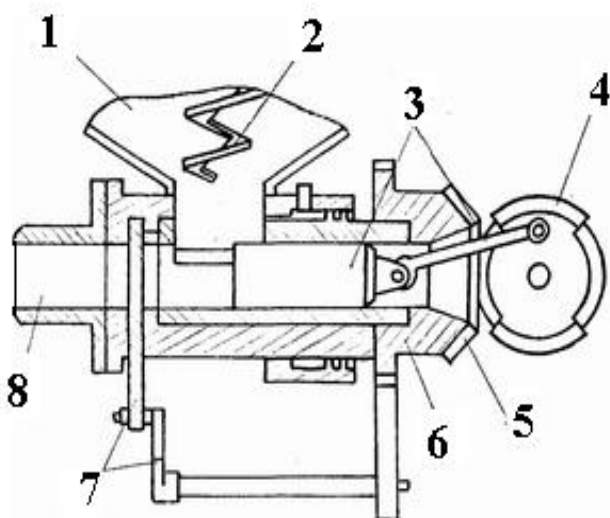


Рис. 29 Поршневой насос

1. Бункер;
2. Питатель;
3. Поршень с кривошипно-шатунным приводом;
4. Приводное коническое, секторное зубчатое колесо;
5. Коническая шестерня;
6. Шестерня с вращающейся гильзой;
7. Кривошипный механизм для опускания и подъема задвижки;
8. Напорный трубопровод.

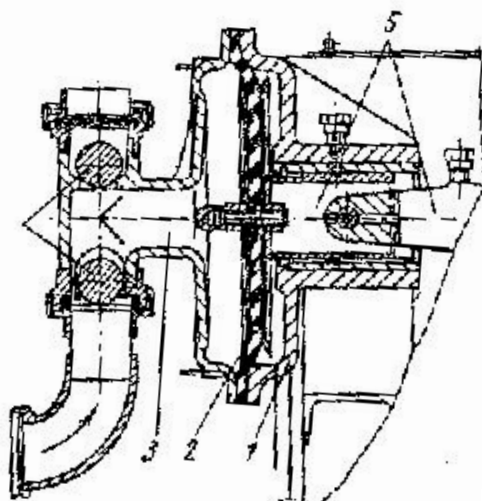


Рис. 30 Мембранный насос

1 – корпус, 2 – мембрана, 3 – рабочая камера для жидкости, 4- всасывающий и нагнетательный шаровые клапаны, 5 – поршень (ползун) с кривошипно-шатунным механизмом.

Выбор насоса для перекачки пищевых продуктов осуществляется с помощью реологического расчета трубопроводного транспорта. Перед проектированием установки для трубопроводного транспорта определяют следующие параметры: диаметр трубопровода, давление продукта на входе в трубу, мощность для выполнения прочностных расчетов и для подбора электродвигателя насоса.

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему. В конце занятия отчет.

Список литературы:

1. Барбарос- Кановас. Г. В. Пищевая инженерия. Энциклопедия систем жизнеобеспечения : справочное издание [Текст] / Г. В. Барбарос- Кановас. - М. : ЮНЕСКО ; М. : Магистр-Пресс, 2007. - 848 с. : ил. - ISBN 93-3-103999-7. - ISBN 978-5-89317-217-1

Тема 15. Реологические расчеты

Цель занятия: изучить реологические расчеты. Провести реологический расчет трубопроводного транспорта и подобрать насос.

Основные понятия

Основы теории реодинамических расчетов трубопроводов

Течение по трубам реологически сложных дисперсионных систем, к которым относятся мясопродукты, происходит при условии создания в продукте давлений, достаточных для преодоления внутренних и внешних сопротивлений.

Поэтому в основе реодинамических (гидравлических) расчетов трубопроводов лежит определение напряжений, оказывающих противодействие при движении продукта (потери давления) по прямым участкам труб и в местных сопротивлениях. В некоторых случаях расчет сводится к определению диаметра трубопровода или расхода.

Общее давление вытеснения $p_{общ}$, Па, необходимое для перемещения транспортируемой продукции (массы) определяют по формуле:

$$p_{общ} = \pm \rho g h + p + p_m + p_{ин} + p_{II} + p_k + p_{сж}, \quad (1)$$

где ρ - плотность перекачиваемой массы, кг/м³; h - высота нагнетания продукта, м; $\rho g h$ - потери давления, при подъеме массы на заданную высоту, Па;

p - потери давления по длине трубопровода, Па; p_m - потери давления в местных сопротивлениях, Па; $p_{ин}$ - инерционные потери давления, обусловлены неравномерностью движения, Па; p_{II} - потери давления на преодоление противодействия, Па; p_k - потери давления на создание кинетической энергии потока, Па; $p_{сж}$ - потери давления на сжатие продукта, Па.

В отдельных случаях количество членов в уравнениях может быть разное, в частности, при отсутствии сопротивления перемещаемой массы, на выходе из трубопроводной системы, значение $p_{II} = 0$, при отсутствии подъема массы на некоторую высоту $\rho g h = 0$ и при свободном течении массы по трубе $p_k = 0$.

При проведении расчета трубопроводов общими являются уравнения определения расхода (подачи), которые определяются из условий непрерывности:

$$\begin{aligned} & \text{- объемный расход: } V_c = V / \tau, \text{ м}^3/\text{с}; \\ & \text{- массовый расход: } M_c = \rho V_c, \text{ кг/с}; \\ & \text{- весовой расход: } G_c = \rho g V_c \text{ Н/с}. \end{aligned} \quad (2)$$

где V - объем продукта, проходящего через трубопровод, м³; τ - время, с;
 ρ - плотность продукта, кг/м³; g - ускорение свободного падения, м/с².

Объемный расход связан с геометрическими размерами трубопровода и кинематикой течения продукта в нем, и рассчитывается по формуле:

$$V_c = w F = w \pi d^2 / 4 = w \pi R^2, \quad (3)$$

где w - средняя скорость движения продукта, м/с; F - площадь живого сечения трубопровода, м² (F равна площади сечения продукта, которая нормальна вектору средней скорости); d - внутренний диаметр трубопровода, м; R - внутренний радиус трубопровода, м.

Продукт считают сплошной, неразрывной средой с непрерывным распределением физических свойств, деформаций и скоростей деформаций, что позволяет использовать аппарат математического анализа, приложенного к непрерывным функциям. При расчете трубопроводного транспорта определяющую роль играют три группы факторов: геометрические - площадь живого сечения (диаметр); кинематические - средняя скорость потока или объемный расход; динамические - давление в начале трубы или потери давления вдоль трубы. К динамическим факторам относятся также реологические характеристики и плотность, которые должны быть известны для каждого продукта.

В соответствии с этим на практике имеют место три случая расчета трубопроводов, когда определяют одну неизвестную величину, если две остальные известны: первый случай - давление в начале трубы (потери давления или напора вдоль трубы); второй - расход жидкости (подача) или средняя скорость продукта; третий - диаметр трубы (площадь живого сечения). В первом и во втором случаях диаметр можно определить из условий оптимальности по стоимостным показателям. Условно можно выделить четвертый случай, когда при известных трех факторах определяют реологические характеристики.

В выборе метода расчета существенное значение имеет режим движения продукта по трубе, оцениваемый критерием Рейнольдса (Re). Он представляет собой безразмерное числовое значение, пропорциональное отношению кинетической энергии потока $mw^2/2$ к работе сил вязкого сопротивления Pl (где m - масса, w - среднеобъемная скорость, P - сила сопротивления):

$$Re = \frac{mw^2}{Pl} = \frac{\rho l^3 w^2}{\eta l^2 w} = \rho l w / \eta = \rho d w / \eta = 4V\rho / \eta d, \quad (4)$$

где l - характерный линейный размер (для круглой трубы - диаметр d), м;
 ρ - плотность жидкости, кг/м³; η - динамический коэффициент вязкости, Па·с.

Твердообразные, вязко-пластичные массы имеют структурный режим движения, при котором скорость движения в тонком слое около стенки (градиентный слой) резко возрастает, в следующем, промежуточном слое увеличивается незначительно, а центральная часть потока (ядро) движется, испытывая незначительные деформации за счет ползучести или пластичности продукта. Движение «степенных» жидкостей аналогично, но в ядре потока в зависимости от индекса течения в большей или меньшей мере, существует градиент скорости.

Жидкообразные продукты могут иметь ламинарный или турбулентный режим движения, что определяется величиной критерия Рейнольдса. При ламинарном режиме ($Re < 2320$) жидкость движется в виде слоев, не перемешивающихся друг с другом. Однако для структурированных мясопродуктов (бульон, расплавленный жир и др.) ламинарный режим имеет место при $Re < 1400$. При турбулентном режиме происходит интенсивное внутреннее перемешивание жидкости. Однако у стенки сохраняется ламинарный слой, толщина которого с увеличением критерия Рейнольдса или скорости потока движения при прочих равных условиях уменьшается. Если толщина этого слоя больше высоты выступов шероховатости материала стенки, то трубы считаются гидравлически гладкими, в противном случае - шероховатыми.

Традиционная теория реодинамики исходит из гипотезы сплошности и непрерывности среды, и использует следующие допущения и ограничения:

- скорость движения жидкости на стенке принимается равной нулю, и продукт считается

несжимаемым;

- реологические характеристики продукта неизменны по длине и не зависят от времени, т. е. на течение не влияют процессы тиксотропии, реопексии и релаксации.

Однако отмечены случаи проскальзывания продукта относительно стенки, т. е. скорость на стенке не равна нулю. Теория предусматривает, например, для степенных жидкостей при индексе течения, равном нулю, «стержневой» режим движения, при котором вся масса перемещается как твердый стержень и скорость движения на стенке равна среднеобъемной скорости потока, а градиент скорости на стенке стремится к бесконечности.

В последнее время в связи с требованиями практики и для получения более точных данных пытаются учитывать изменения реологических характеристик (вязкости, плотности и др.) по длине трубы и во времени, рассматривая отклонение их величин последовательно по отдельным участкам длины трубы. Особую роль при этом играет постоянство градиента давления по длине трубы для некоторых, сжимаемых пластично-вязких продуктов.

Теория реодинамики для различных по своей текучести систем рассматривает равномерное (силы инерции равны нулю), прямолинейное (центробежные силы равны нулю) движение в горизонтальной трубе (силы тяжести проектируются на ось, совпадающую с направлением движения). В перемещаемой жидкости выделяется цилиндр радиусом r и длиной l , которой считается отвердевшим без изменения свойств. Условия такого движения цилиндра определяются исходя из равенства разности сил давления, приложенных к торцам, и силы вязкого сопротивления, возникающей на боковой поверхности цилиндра при его движении, т. е.

$$p\pi r^2 = 2\pi l\theta, \quad (5)$$

где p - разность давлений на торцах цилиндра; θ - касательное напряжение, создаваемое в продукте силой вязкого сопротивления.

Решая уравнение (1) относительно θ , получают выражение вида

$$\theta = (p/2l)r. \quad (6)$$

Из уравнения (5.6) видно, что напряжение на оси трубы (при $r = 0$) равно нулю, а на ее стенке θ_c при радиусе $r=R$ или диаметре d - наибольшее:

$$\theta_c = (p/2l)R = (p/4l)d, \quad (7)$$

где R, d - соответственно радиус и диаметр трубы.

Сопоставляя выражения (5.6) и (5.7), получают уравнение для значения напряжения на любом расстоянии от оси трубы

$$\theta = (\theta_c / R)r. \quad (8)$$

Истинный градиент скорости $\frac{\partial u(r)}{\partial r}$ (где $u(r)$ - скорость слоя радиусом r) представляют в виде функции напряжения сдвига θ :

$$-\frac{\partial u(r)}{\partial r} = \eta \theta, \quad (9)$$

Знак «—» показывает, что скорость с увеличением радиуса уменьшается, поскольку начало отсчета производится от оси трубы. Интегрирование в пределах от r до R дает

$$- [u(R) - u(r)] = \int_r^R \eta \theta dr.$$

Проскальзывание отсутствует, поэтому $u(R) = 0$. Подача жидкости dV_c через элементарный слой радиусом r и толщиной dr с точностью до бесконечно малой второго порядка определяется в соответствии с уравнением расхода (подачи):

$$dV_c = 2\pi r u(r) dr$$

Для решения этого дифференциального уравнения интегрируют левую и правую части соответственно в пределах от 0 до V_c и от 0 до R .

Интеграл левой части равен V_c , интеграл правой имеет вид: $\int_0^R 2\pi r u(r) dr$.

Обозначим $x = u(r)$; $dy = 2\pi r dr$.

Тогда $dx = [du(r)/dr]dr = -\eta \theta dr$, $y = \pi r^2$.

Далее, применяя правило интегрирования по частям и подставляя значения $r = R$ и $r = 0$, получаем выражение вида

$$V_c = \pi \int_0^R r^2 \eta \theta dr. \quad (10)$$

Из формулы (5.6) получаем $r = (\theta/\theta_c)R$; $dr = (R/\theta_c)d\theta$.

Тогда выражение (10) можно представить в самом общем виде

$$\frac{4V_c}{\pi R^3} = \frac{4}{\theta_c^3} \int_0^{\theta_c} \theta^2 \eta \theta d\theta. \quad (11)$$

Полученное уравнение справедливо только в том случае, если закон изменения $\eta \theta$ выражается одной непрерывной функцией. Если функция не непрерывна, то для каждого участка следует брать свой интеграл в соответствующих пределах. Например, по уравнению Шведова-Бингама ядро потока движется как твердый стержень, т. е. градиент скорости в нем равен нулю, и первый интеграл берут в пределах от 0 до θ_0 . В пристенном слое градиент не равен нулю, и второй интеграл имеет пределы от θ_0 до θ_c .

Ниже приведены результаты решения уравнения (5.11) относительно конкретных видов жидкостей и продуктов.

Для линейной ньютоновской жидкости. Уравнение течения жидкости имеет вид:

$$P = \pm \eta F \frac{\partial u(r)}{\partial r} \quad \text{или} \quad \theta = \frac{P}{F} = \eta \theta, \quad (12)$$

где P - сила вязкого сопротивления; F - площадь боковой поверхности цилиндра радиусом r .

Из уравнения (5.12) $\gamma(\theta) = \theta/\eta$. Интегрируя уравнения (5.11), получают уравнение Пуазейля

$$V_c = \frac{\pi p d^4}{128 \eta l}, \quad \text{или} \quad \frac{4V_c}{\pi R^3} = \frac{\theta_c}{\eta}, \quad \text{или} \quad \theta_c = \eta \frac{4V_c}{\pi R^3} = \eta \frac{32V_c}{\pi d^3}, \quad (13)$$

представляющее собой основной теоретический закон ламинарного потока ньютоновской жидкости (используется и для неньютоновских систем, тогда под понятием «вязкость» условно подразумевается эффективная вязкость или какой-либо другой ее эквивалент).

Расход (подача) и среднеобъемная скорость связаны соотношением (3), в результате получают

$$\theta_c = \eta \frac{4w}{R} = \eta \frac{8w}{d} = \eta \frac{4V_c}{\pi d^3}. \quad (14)$$

В этих выражениях по аналогии с законом вязкого сопротивления Ньютона (12) находим консистентную переменную - «напряжение сдвига»

$$\theta_c = \frac{pR}{2l} = \frac{pd}{4l}, \quad (15)$$

и консистентную переменную - «градиент скорости»

$$\gamma = \frac{32V_c}{\pi d^3} = \frac{8w}{d}. \quad (16)$$

Из уравнения Пуазейля (5.13) и с учетом (5.2) получают выражение определения вязкости жидкости

$$\eta = \frac{\pi p d^4}{128 V l} \tau. \quad (17)$$

Для линейной системы Шведова-Бингама. Уравнение течения жидкости имеет вид:

$$\theta = \theta_o + \eta_{nl} \gamma(\theta) \quad \text{или} \quad \gamma(\theta) = (\theta - \theta_o) / \eta_{nl}, \quad (18)$$

где θ_o - предельное напряжение сдвига, Па; η_{nl} - пластическая вязкость, Па·с.

Подставляя последнее выражение в общее уравнение (5.11) и интегрируя с учетом того, что, при $0 \leq r \leq R_o$ и $0 \leq \theta \leq \theta_o$ градиент скорости $\gamma(\theta) = 0$, получаем уравнение Букингама, которому после замены и подстановки придается вид, подобный уравнению Пуазейля:

$$V_c = \frac{\pi p d^4}{128 \eta_{nl} l} \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{d_o}{d} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{d_o}{d} \right)^4 \right] = \frac{\pi p d^4}{128 \eta_{nl} l} f \left(\frac{d_o}{d} \right). \quad (19)$$

Запись этого уравнения в consistentных переменных имеет вид:

$$\frac{pd}{4l} = \eta_{nl} \frac{32V_c}{\pi d^3} \left[1 / f \left(\frac{d_o}{d} \right) \right], \quad (20)$$

где $f(d_o/d)$ - функция ядра потока.

Ее значение и обратное значение принимаются из графиков.

Для нелинейной модели Кэссона. Уравнение течения жидкости имеет вид:

$$\theta^{1/2} = \theta_o^{1/2} + \eta_{\kappa} \theta^{7/2} \quad \text{или} \quad \theta = \theta_o^{1/2} + \eta_{\kappa} \theta^{7/2}, \quad (21)$$

где η_{κ} - вязкость по Кэссону, Па·с.

Выполнив аналогичные действия описанные выше получают уравнение вида уравнения Пуазейля:

$$V_c = \frac{\pi p d^4}{128 \eta_{\kappa} l} \left[1 - \frac{10}{7} \left(\frac{d_o}{d} \right)^{1/2} + \frac{4}{3} \left(\frac{d_o}{d} \right) - \frac{1}{21} \left(\frac{d_o}{d} \right)^4 \right] = \frac{\pi p d^4}{128 \eta_{\kappa} l} f \left(\frac{d_o}{d} \right). \quad (22)$$

В consistentных переменных его записывают в следующем виде:

$$\frac{pd}{4l} = \eta_{\kappa} \frac{32V_c}{\pi d^3} \left[1 / f \left(\frac{d_o}{d} \right) \right]. \quad (23)$$

Анализ уравнений (5.19) и (5.22) показывает, что: при $d_o = 0$ (предельное напряжение сдвига отсутствует) жидкость течет как истинно вязкая по закону Пуазейля; при $d_o \rightarrow d$ (т. е. при $\theta_o \rightarrow \theta_c$) функция приближается к нулю и течение прекращается либо для обеспечения подачи давления стремится к бесконечности. Резкое увеличение давления для жидкости Кэссона начинается при $d_o/d > 0,5$, для жидкости Бингама - при $d_o/d > 0,8$.

Для нелинейной степенной жидкости. Уравнение течения жидкости имеет вид:

$$\theta = B_1^* \theta^n, \quad (24)$$

где B_1^* - коэффициент, пропорциональный вязкости, Па·сⁿ; n - индекс течения.

В результате проведения математических действий получают уравнение общего вида:

$$\frac{4V_c}{\pi R^3} = \frac{4n}{3n+1} \left[\frac{R}{2B_0} \left(\frac{\partial p}{\partial l} \right) \right]^{1/n}, \quad (25)$$

где B_0^* - коэффициент эффективной вязкости при единичном значении градиента скорости, не зависящем от напряжения; $\partial p / \partial l$ - градиент давления по длине трубы.

Данное уравнение в консистентных переменных имеет вид

$$\theta_c = B_0^* \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n \left(\frac{8w}{d} \right)^n, \quad (26)$$

или

$$\theta_c = A_1 \lambda^*, \quad (27)$$

где A_1 - напряжение сдвига на стенке трубы при единичном значении относительного градиента скорости, Па; λ^* - относительный градиент скорости на стенке (консистентная переменная);

Расчет трубопроводного транспорта

1. Рецепт продукта
2. Производительность трубопровода M_c (кг/с)

$$M_c = \frac{M_{см}}{3600 \tau_p}, \quad (28)$$

где $M_{см}$ – выработка за смену, кг;

τ_p - эффективное время работы в смену, ч;

3600 – переводной коэффициент, с/ч.

3. Общая длина трубопровода l (м) с учетом поворотов (отношение радиуса закругления к диаметру трубы должно быть больше шести, с тем, чтобы не учитывать потери в местных сопротивлениях).

Выбираемые параметры

Скорость движения продукта по трубопроводу w_0 (м/с). Оптимальное значение для фарша находится в пределах 0,2-0,5 м/с (чем гуще фарш, тем меньше скорость), для молока 0,5-1,5 м/с, для сливок 0,5 м/с, для сыворотки 1-2 м/с, для сгущенного молока 0,5 м/с.

Расчетные параметры

1. Объемный расход V_c (м³/с):

$$V_c = \frac{M_c}{\rho}, \quad (29)$$

где ρ - плотность продукта, кг/м³

Плотность продукта определяют по формуле: $\rho = 1037 - 90\varphi + 10,5U + 22 \lg \rho_m$,

где φ - жирность продукта, кг жира на 1 кг фарша;

U – влагосодержание продукта, кг влаги на 1 кг сухого остатка;

ρ_m - давление в трубопроводе, равное половине давления плотности на выходе из насоса, Па.

а) Если давление дано в атмосферах, то его значение необходимо умножить на 10^5 .

б) Плотность для жирных видов продуктов находится в диапазоне 960-980, для обезжиренных – 1030-1040 кг/м³.

2. Диаметр трубопровода d_0 (в) определяют по формуле расхода:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4V_c}{\pi \omega_0}}, \quad (30)$$

По значению диаметра d_0 по ГОСТу выбирают ближайшую величину d , м.

Действительную среднюю скорость ω (м/с) движения продукта вычисляют по формуле:

$$\omega = \frac{4V_c}{\pi d^2}, \quad (31)$$

3. Консистентную переменную (градиент скорости) $\&$ вычисляют по формуле:

$$\& = \frac{8\omega}{d}, \quad (32)$$

Безразмерная консистентная переменная

$$\&_* = \frac{8\omega}{\& d}, \quad (33)$$

где $\&_* = 1$, т.е. градиент скорости, равный единице его измерения.

4. Консистентную переменную (напряжение сдвига) θ (Па) определяют по формуле:

$$\theta = A_1 \&_*^n = A_1 \left(\frac{8\omega}{\& d} \right)^n. \quad (34)$$

или

$$\theta = \frac{p d}{4l}, \quad (35)$$

где A_1 – напряжение сдвига при единичном значении градиента скорости, Па;

n – индекс течения;

p – потери давления или давление на выходе из насоса, Па.

Величины A_1 и n выбирают из таблицы (табл. 9 прил.) или определяют по формулам:

$$A_1 = B_o^* \&_* \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n, \quad (36)$$

$$n = 1 - m, \quad (36.1)$$

где B_o^* , m – эффективная вязкость (Па·с) при единичном значении градиента скорости и темп разрушения структуры соответственно (табл. 10 прил.).

5. Потери давления p (Па) – давление продукта на выходе из насоса, определяют по формуле:

$$p = \frac{4l\theta}{d}, \quad (37)$$

Полезная мощность насоса N (кВт):

$$N = p V_c \cdot 10^{-3}, \quad (38)$$

Выбор оборудования

1. Насос выбирают по требуемой производительности трубопровода M_c или $M_q = 3600 M_c$, принимая во внимание, что объемный к.п.д. составляет 0,5-0,6.

2. Мощность электродвигателя $N_{\&0}$ (кВт):

$$N_{\&0} = \frac{a}{Kn} \left(\frac{N}{K_n} + \frac{N_{\text{ш}}}{K_{\text{ш}}} \right), \quad (39)$$

где a – коэффициент запаса мощности (для коротких трубопроводов до 5 м $a=1,2$, для длинных $a=1,5$);

$K_n, K_{ш}, K_{ш}$ – к.п.д. соответственно механических передач от электродвигателя к насосу (0,5-0,6), насоса и шнеков (питателей);

$N, N_{ш}$ – полезная мощность, развиваемая насосом и шнеком соответственно, кВт.

Электродвигатель выбирают по каталогу.

Задание 1.

1. Вид фарша – говядина куттерованная;
 2. Производительность – 3000 кг, мясо измельчается на куттере; масса одной загрузки – 150 кг, за смену вырабатывается 20 загрузок. Длительность перекачки одной загрузки примерно в два раза меньше времени куттерования, т.е. 380 с, что в смену составит 2,1 часа.
 3. Общая длина трубопровода – 6 м.
- Плотность фарша принимаем 1020 кг/м³

Задание 2.

1. Вид продукта - творожная масса;
 2. Производительность 4000 кг, масса одной загрузки 100 кг, за смену вырабатывается 25 загрузок. Длительность перекачки за смену составляет 2,5 часа.
 3. Общая длина трубопровода 8 м.
- Плотность творожной массы принимаем 900 кг/м³.

Пример расчета

I. Исходные параметры:

1. Вид продукта - говяжий фарш, приготовленный на куттере.
2. Количество транспортируемого сырья в смену - $M_{см} = 3000$ кг.
3. Продолжительность транспортирования сырья - $\tau_p = 2,1$ ч.
4. Производительность установки равна:

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

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

II. Выбираемые параметры:

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

III. Расчетные параметры:

1. Секундный объемный расход составит:

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

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

2. Диаметр трубопровода:

$$d_{расч} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,88 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 0,3}} = 40,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

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

$$w = \frac{4V_c}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 3,88 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot (35,4 \cdot 10^{-3})^2} = 0,395 \text{ м/с.}$$

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

$$\gamma_* = \frac{8 \cdot w}{d} = \frac{8 \cdot 0,395}{35,4 \cdot 10^{-3}} = 89,3 \text{ с}^{-1}$$

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

$$\theta_c = A_1 \gamma_*^n = 600 \cdot 89,3^{0,27} = 2015 \text{ Па.}$$

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

5. Потери давления на выходе из насоса равны:

$$p = \frac{4l\theta_c}{d} = \frac{4 \cdot 6 \cdot 2015}{35,4 \cdot 10^{-3}} = 13,68 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

6. Полезная мощность равна:

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

7. Выбор оборудования

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

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

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

По каталогу производим выбор электродвигателя.

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему. По индивидуальным заданиям производят расчет трубопроводного транспорта для перекачки пищевых продуктов, подбирают тип насоса. В конце занятия отчет по теме.

Список литературы:

2. Валентас, К.Дж. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов [Текст]/Валентас К.Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П.(ред.)/ пер. с англ. под общ. науч. ред. А.Л. Ишевского.- СПб: Профессия, 2004.-848с
3. Барбарос- Кановас. Г. В. Пищевая инженерия. Энциклопедия систем жизнеобеспечения : справочное издание [Текст] / Г. В. Барбарос- Кановас. - М. : ЮНЕСКО ; М. : Магистр-Пресс, 2007. - 848 с. : ил. - ISBN 93-3-103999-7. - ISBN 978-5-89317-217-1

Тема 16. Современные приборы и методы определения качества продуктов

Цель занятия: Изучить методы определения качества продуктов на универсальных приборах.

Современные приборы могут определять сразу характеристики нескольких групп структурно-механических свойств. Такие приборы называют универсальными. Рассмотрим некоторые из них.

Текстуроприбор TVT-300XP фирмы Perten Instruments (Швеция)

Текстуранализатор TVT-300XP предназначен для определения реологических характеристик хлебобулочных, кондитерских и других пищевых изделий и сырья для их производства. К числу определяемых параметров относятся:

- упругая и пластическая деформации
- предел прочности
- предельное напряжение сдвига
- адгезионные свойства
- релаксационные напряжения и др.



Принцип работы прибора основан на измерении воздействия тела пенетрации на образец, расположенный на предметном столике. Управление прибором и обработка результатов производятся с персонального компьютера. Пользователь при помощи программного обеспечения задает перемещение тела пенетрации, измеряя возникающее при этом усилие, или наоборот задает усилие и измеряет, какое перемещение совершает тело пенетрации для его достижения. Для эксперимента могут быть использованы различные насадки: ножевидные, конусо- и шарообразные, цилиндрические и др. Насадки каждый раз подбираются индивидуально исходя из вида анализируемого продукта и требуемых измеряемых величин. Результаты эксперимента могут быть конвертированы в формат программы Excel. Текстуранализатор является универсальным средством измерения и может применяться для контроля качества самой разнообразной продукции, такой как: макароны, фрукты, мясной или рыбный фарш, яйца, сыры, студни и др.

Рис.30 Текстуранализатор TVT-300XP

Таблица

Технические характеристики

Максимально допустимая нагрузка (на выбор, указывается при заказе), кг	7, 15 или 30
Шаг измерения нагрузки, г	1
Точность измерения нагрузки, %	Лучше чем 0,05
Диапазон задания скорости перемещения, мм/сек	0,1 – 30
Точность поддержания скорости при 5 мм/сек, %	0,03
Точность измерения перемещения, мм	0,02
Масса, кг	20
Интерфейс	RS-232

Миксолаб фирмы Chopin (Франция). Прибор для определения водопоглотительной способности муки и реологических свойств теста

Этот прибор имеет соответствие стандартам: ГОСТ Р 54498-2011 «Зерно и мука из мягкой пшеницы. Определение водопоглощения и реологических свойств теста с применением миксолаба», ICC 173 «Определение реологических свойств теста при замесе и нагреве»



Миксолаб предназначен для контроля динамики реологического поведения теста в процессе замеса по характеру изменения величины крутящего момента на приводе тестомесильной емкости и определения следующих показателей:

- водопоглотительная способность муки (ВПС),

- время образования теста,
- его стабильность
- значение разжижения,
- консистенция теста в процессе нагрева.

Температуру тестомесильной емкости можно регулировать в широких пределах: от 20 до 92 °С. Таким образом, с помощью этого прибора можно исследовать состояние белково-протеиназного (при температурах от 20 до 50 °С) и углеводно-амилазного (при температурах от 60 до 90 °С) комплексов муки на одной пробе теста. Миксолаб подходит для оценки влияния на процесс замеса теста самых разнообразных улучшителей и ферментных препаратов: протеиназа, глюкооксидаза, аскорбиновая кислота, цистеин, глутатион, альфаамилаза и многое другое. Помимо пшеничной муки, может быть анализирован пшеничный шрот, ржаная мука, крахмал и др. Прибор имеет встроенный термостатируемый бак для автоматического дозирования воды на замес теста с заданной температурой. Подача воды осуществляется с помощью специальной форсунки. Каждый раз после внесения воды, шланг, соединяющий форсунку с баком, автоматически продувается воздухом, благодаря чему из него происходит удаление оставшихся капель воды. Стандартный протокол работы (стандарт ICC 173) предусматривает частоту вращения месильных органов 80 об/мин при начальной температуре теста 30 °С. При этих условиях для определения ВПС необходимо обеспечить значение величины крутящего момента 1,1 Н·м ($\pm 0,05$ Н·м). Полученные данные в высокой степени коррелируют с данными, получаемыми на приборе Фаринограф (фирма Brabender). По истечении 8 минут тестомесильную емкость последовательно нагревают до 90 °С, выдерживают при этой температуре в течение 7 мин, после чего охлаждают до 50 °С и выдерживают при этой температуре 5 мин. По окончании анализа программа автоматически выдает значения крутящего момента в наиболее характерных точках получаемого графика миксолаба C1, C2, C3, C4, C5, время их регистрации, соответствующие температуры теста и тестомесильной емкости, ВПС муки.

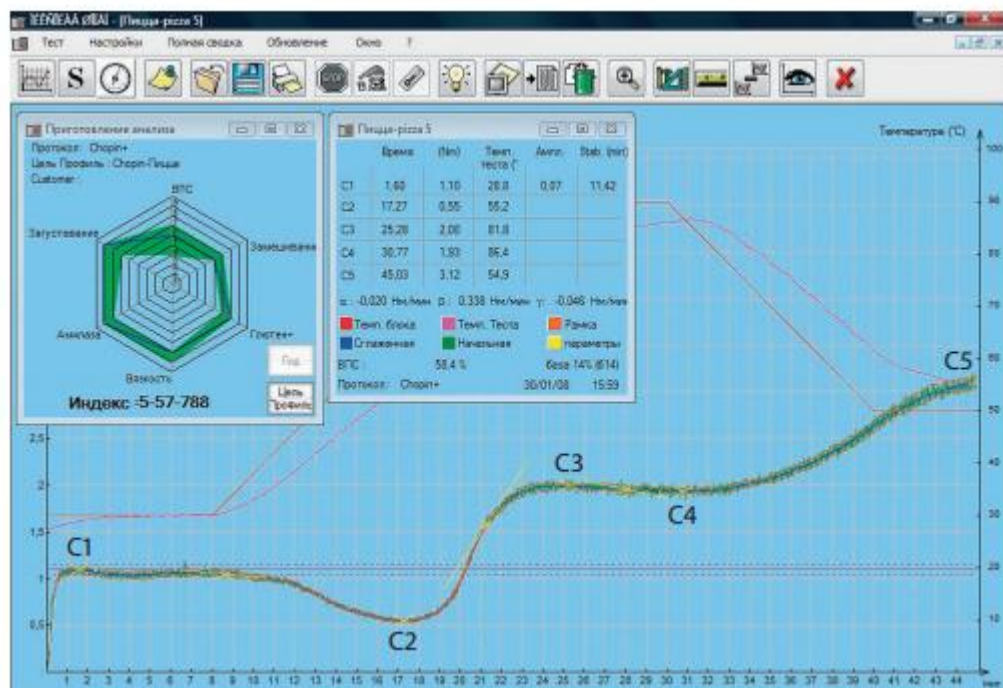


Рис. 31 Типичный график Миксолаба

Точка C1 – соответствует максимальной консистенции теста в течение первых 8 минут после начала его замеса. Это значение должно составлять 1,1 Н·м ($\pm 0,05$ Н·м). Именно эта величина берется для расчета ВПС муки. Точка C2 – характеризует минимальную консистенцию теста на начальном этапе нагрева. Снижение вязкости на этой стадии объясняется денатурацией белков, которые высвобождают воду,

поглощенную во время замеса. Точка С3 – характеризует максимальную консистенцию теста в процессе клейстеризации крахмала. Точка С4 – характеризует стабильность крахмального клейстера теста. Точка С5 – характеризует реологическое поведение крахмала при охлаждении, обусловленное его ретроградацией.

На основании результатов измерения значения крутящего момента в точках С1, С2, С3, С4, С5 и уровня ВПС муки программа формирует реологический профиль теста (Профайлер). Профайлер представляет собой радиальную диаграмму, по лучам которой в пропорции от 1 до 10 отложены следующие значения:

- ВПС
- Замешивание (соответствует точке С1)
- Глютен+ (соответствует точке С2)
- Вязкость (соответствует точке С3)
- Амилаза (соответствует точке С4)
- Загустевание (соответствует точке С5)

Профайлер предназначен для наглядного представления полученных результатов, сравнения реологических профилей муки из разных партий, оценки целесообразности внесения улучшителей и ферментных препаратов и т. д. Существует возможность создания собственных протоколов работы, например, для оценки амилазной активности муки нагрев тестомесильной емкости можно запускать сразу после начала замеса теста. Для формирования протокола, необходимо задать частоту вращения месильных органов, массу теста, стандартную консистенцию, продолжительность и температурный режим каждого этапа эксперимента. Также фирмой Chopin разработан протокол для определения зерна/ муки, поврежденных клопом вредная черепашка.

Технические характеристики

Скорость вращения тестомесильных органов, об/мин 0 – 250

Крутящий момент, Н·м 0,1 – 7

Скорость нагрева, °С/мин 2 – 12

Скорость охлаждения, °С/мин 2 – 12

Вес, кг 33

Габариты, мм 460 × 505 × 270

Также необходимо отметить некоторые приборы, позволяющие контролировать определенные показатели, которые тоже влияют на качество хлебобулочных изделий.

Анализатор количества поврежденного крахмала SDmatic фирмы Chopin (Франция)



SDmatic

Рис.32 SDmatic

Соответствие стандартам: ICC 172 «Определение количества поврежденного крахмала амперометрическим методом с помощью прибора SDMatic», AACCC 76-33 «Определение поврежденного крахмала амперометрическим методом» SDMatic предназначен для определения количества поврежденного крахмала в муке. Крахмал является основным полисахаридом зерна, а степень его повреждения в ходе помола является важнейшей характеристикой получаемой муки. Количество поврежденного крахмала предопределяется

твердозерностью зерна и видом, применяемой технологической схемы его помола. Этот показатель коррелирует с водопоглотительной способностью муки (влагоемкость поврежденного крахмала в 10 раз выше по сравнению с нативным), а следовательно влияет на реологические свойства теста. Также количество поврежденного крахмала коррелирует с глубиной его ферментативного гидролиза, или другими словами, с сахаро и газообразующей способностью муки. При переработке муки с пониженной сахаробразующей способностью имеет место недостаточное количество сахаров для развития микроорганизмов, что приводит к получению хлебобулочных изделий

пониженного объема. Также в этом случае недостаточно интенсивно протекает процесс меланоидинообразования в результате чего готовые изделия имеют бледноокрашенную корку. Повышенная сахаробразующая способность муки, являясь следствием чрезмерного гидролиза крахмала, также приводит к получению продукции неудовлетворительного качества, поэтому количество поврежденного крахмала в муке рекомендуется поддерживать в определенных пределах. SDmatic является автоматическим прибором, время одного определения занимает менее 10 минут. Рабочая камера имеет перемешивающее устройство, нагревательный элемент (для поддержания рабочей температуры 35 °С) и комбинированный платиновый электрод для генерирования ионов йода и детектирования количества йода, связываемого крахмалом. Принцип измерения основан на поглощении поврежденным крахмалом, содержащимся в разбавленной суспензии образца муки, ионов йода. Количество ионов йода, которое необходимо для взаимодействия с образцом, измеряется амперометрически. Измеряемая сила тока обратно пропорциональна количеству поврежденного крахмала. Результат автоматически обчисляется и выводится на дисплей в единицах UCD, Farrand, Audidier или AACC. Прибор оснащен разъемом для подключения принтера и интерфейсом RS-232 для подключения к компьютеру.

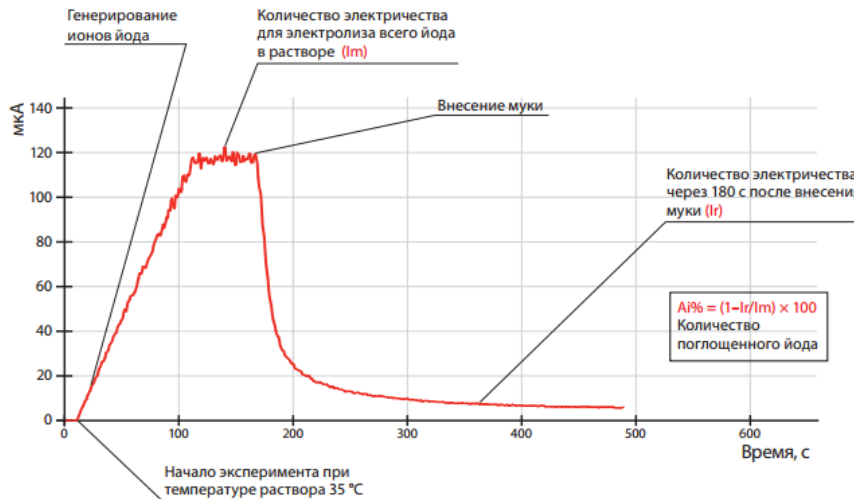


Рис.32 Принцип измерения прибора SDmatic

Методика проведения занятия

Студенты изучают тему с помощью виртуальной работы на компьютере. Дополнительно готовят доклады и представляют их на занятии.

Оборудование:

Компьютер

Список литературы

1. Лабораторное оборудование для контроля качества зерна, муки, кормов и пищевых продуктов// http://www.soctrade.com/pdf/1134_pdf.pdf
2. <http://fcior.edu.ru/> Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов.
3. Максимов А.С. Реология пищевых продуктов: лабораторный практикум [Текст]/ А. С. Максимов, В. Я. Черных. - СПб. : ГИОРД, 2006. - 171 с. : ил. - ISBN 5-98879-001-1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. – М.: Колос, 2001. – 376 с.
2. Валентас, К.Дж. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов [Текст]/Валентас К.Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П.(ред.)/ пер. с англ. под общ. науч. ред. А.Л. Ишевского.- СПб: Профессия, 2004.-848с
3. Барбарос- Кановас. Г. В. Пищевая инженерия. Энциклопедия систем жизнеобеспечения : справочное издание [Текст] / Г. В. Барбарос- Кановас. - М. : ЮНЕСКО ; М. : Магистр-Пресс, 2007. - 848 с. : ил. - ISBN 93-3-103999-7. - ISBN 978-5-89317-217-1
4. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов. - М.: Пищевая промышленность, 1979. – 383 с.
5. Крусъ Г.Н., Шалыгина А.М., Волокитина З.В. Методы исследования молока и молочных продуктов/Под общ. редакцией А.М. Шалыгиной. – М.: Колос, 2002. – 368 с.
6. Овчинников А.И., Горбатова К.К. Биохимия молока и молочных продуктов. Под ред.проф. Н.В. Новотельнова. Л., Из-во Ленингр. ун-та, 1974. – 260 с.
7. Рогов И.А., Горбатов А.В., Свинцов В.Я. Дисперсные системы мясных и молочных продуктов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
8. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов: Справочник/Под редакцией А.В. Горбатова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.
9. Свириденко А.К., Березин А.Н., Змеев А.Я. Оборудование для транспортировки, хранения и переработки молока: Учеб.пособие. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2003. – 244 с.
10. Хлебников В.И. Технология товаров (продовольственных): Учебник. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «Дашков и К°», 2002. – 427 с.
11. Смыков И.Т., Мяконосов Д.С., Смирнов В.В. Исследования структурирования белковых частиц в молоке. – Молочная промышленность №9/ 2004. – 58-60с.
12. Дорохов В.П. Определение рациональных режимов измельчения фарша сырокопченых колбас. –Мясная индустрия №11/2004. – 48-50с.
13. Косой В.Д., Малышев А.Д. Реологические характеристики фарша сырокопченых колбас и методика их прогнозирования. – Мясные технологии, 2005. - 18 с.
14. Меркулов М.Ю., Косой В.Д, Юдина С.Б. Факторы, влияющие на плотность молока. – Молочная промышленность №6, 2004. – 67-68с.
15. Максимов А.С. Реология пищевых продуктов: лабораторный практикум [Текст]/ А. С. Максимов, В. Я. Черных. - СПб. : ГИОРД, 2006. - 171 с. : ил. - ISBN 5-98879-001-1
16. <http://medilab.ru/katalog> Оборудование.
17. <http://www.soctrade.ru/katalog> Оборудование.
18. <http://fcior.edu.ru/> Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Величины вязкости мясо-костного бульона

Номер пробы	Концентрация, кг сухого вещества на 1 кг бульона	Вязкость $\eta \cdot 10^3$ (Па·с) при температуре °С		
		41	65	93
1	0,1817	8,73	5,05	3,36
2	0,1545	6,80	4,10	2,70
3	0,1020	2,95	1,82	1,27
4	0,0955	2,70	1,68	1,16
5	0,0694	1,87	1,17	0,83
6	0,0266	1,15	0,72	0,53
7	0,0119	1,04	0,64	0,47
8	0,0076	0,96	0,60	0,44
9	0,0000	0,644	0,436	0,306

Эти данные получены на капиллярных вискозиметрах и вискозиметре Гепплера.

Таблица 2

Значения эмпирических коэффициентов вязкости
для уравнения (13)

Жир	Температура, °С		Коэффициенты	
	плавления	застывания	a_1	a_2
Говяжий	42-52	34-38	33,4	1,80
Бараний	44-55	34-45	23,6	1,70
Свиной	28-48	22-32	21,5	1,71
Костный		-	14,8	1,63

Таблица 3

Значения эмпирических коэффициентов вязкости
для уравнения (14)

Жир	Область температур, °С	$A \cdot 10^8$, Па·с	Е, кДж/кмоль (ккал/кмоль)
Свиной	65-100	1000	20800 (4960)
Говяжий	40-65	32,5	30500 (7280)

Таблица 4

Величины вязкости крови

Вид животного	Вязкость $\eta \cdot 10^3$ (Па·с) при температуре (°С)					
	20	25	30	35	40	45
Свиньи	44,8	38,6	34,1	30,7	28,1	25,9
Крупный рогатый скот	31,3	26,4	23,0	20,4	18,4	16,8
Мелкий рогатый скот	24,0	20,0	17,2	15,1	13,5	12,2

Разница в экспериментальных данных не превышает $\pm 1\%$.

Таблица 5

Величины вязкости обезжиренного сгущенного молока

Концентрация белка, кг/кг	Вязкость $\eta \cdot 10^3$ (Па·с)
0,03	1,996

0,06	2,919
0,09	4,709
0,12	7,424
0,15	11,3

Таблица 6

Величины вязкости сгущенного молока с сахаром

Продолжительность старения, сут	Вязкость (Па·с) в процессе старения при температуре °С	
	39	18
0	6,0	-
4	15,5	-
8	23,0	-
10,5	28,0; 6,0*	-
17,5	40,0	7,0*
24	48,5	15,0

* Разрушение структуры перемешиванием в ротационном вискозиметре в течение 30 мин.

Таблица 7

Величины вязкости сливок

Жирность сливок, %	Вязкость сливок $\eta \cdot 10^3$ (Па·с)		
	Капиллярный вискозиметр с диаметром, м		Вискозиметр Гепплера с диаметром шарика 0,015628 м
	0,0008	0,001	
10	2,17	2,17	2,67
20	3,76	3,61	4,10
30	7,06	6,86	7,35

Таблица 8

Липкость сырково-творожной массы

Химический состав продукта, кг/кг сырковой массы				Липкость (Па) при толщине слоя продукта, м		
вода	жир	белок	сахар	0,0005	0,001	0,0015
0,43	0,22	0,09	0,26	10000	7900	5700
0,65	0,19	0,16	-	10700	8600	4700

Таблица 9

Значения коэффициентов для расчета трубопроводов и насадок

Продукт (сырой фарш)	Коэффициенты для расчета трубопроводов (для уравн. 35)		Коэффициенты для расчета насадок	
	A ₁	n	A	n
Говядина, куттерованная с водой	600	0,27	16000	0,27
Свинина полужирная, куттерованная с водой	-	-	15500	0,28
Колбаса любительская	700	0,21	13000	0,21
докторская	470	0,25	11000	0,25

ливерная (30С ⁰)	890	0,20	-	-
ливерная (60С ⁰)	445	0,20	-	-
Сосиски свиные	375	0,23	8000	0,23
Котлеты	410	0,24	9100	0,24

Таблица 10

Продукт	Предельное напряжение сдвига, Па	Пластическая вязкость, Па·с	Коэффициенты к уравнениям 37 и 37.1		
			B	B_o^*	m
Говядина куттерованная	700	18-20	6,1	510	0,73
Свинина полужирная куттерованная	650	19-22	6,0	480	0,72
Колбаса любительская	700	18-28	5,0	610	0,79
докторская	540	16-19	4,3	430	0,75
ливерная (30С ⁰)	2200	-	6,0	780	0,80
ливерная (60С ⁰)	100	-	3,0	390	0,80
Сосиски свиные	450	9-11	3,0	320	0,77
Котлеты	400	9-14	3,5	360	0,76
сырковая масса	800	22	5,5	390	0,70
творожная масса	100	15-25	2,7	105	0,60