

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**РЕОЛОГИЯ СЫРЬЯ,
ПОЛУФАБРИКАТОВ И ЗАГОТОВОК ИЗДЕЛИЙ
ХЛЕБОПЕКАРНОГО, КОНДИТЕРСКОГО
И МАКАРОННОГО ПРОИЗВОДСТВ**

Методические указания к лабораторным работам

**Благовещенск
Издательство ДальГАУ
2015**

УДК 664. 6

Реология сырья, полуфабрикатов и заготовок изделий хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств: методические указания к лабораторным работам. – Благовещенск: ДальГАУ, 2015. – 48 с.

Составитель – Бабухадия К.Р., канд.с.-х.наук, доцент

Методические указания по выполнению лабораторных работ содержат общие теоретические сведения по дисциплине «Реология сырья, полуфабрикатов и заготовок изделий хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств», цели и задачи лабораторных работ, порядок их выполнения и контрольные вопросы для закрепления изучаемого материала.

Предназначены для студентов очной и заочной формы обучения по направлению 260100.62 (19.03.02) – Продукты питания из растительного сырья, профиль «Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий» и специальности 260202.65 – Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий.

Рецензенты: Е.Ю. Осипенко, канд.биол.наук, доцент;
С.А. Кострыкина, канд.техн.наук, доцент

Рекомендовано к изданию методическим советом технологического факультета Дальневосточного государственного аграрного университета (Протокол №4 от 21 декабря 2014 года).

Издательство ДальГАУ
2015

ВВЕДЕНИЕ

Производство продуктов питания на современном уровне, включающих в себя проведение большого количества различных технологических процессов, невозможно без применения инструментальных (объективных) методов измерения и приборной техники для проведения контроля, регулирования и управления качеством сырья и готовой продукции. В этом важная и ответственная роль отводится инженерной реологии, как науке, занимающейся вопросами структурообразования пищевых материалов, изучением структурно-механических свойств, разработкой методов и приборов для их определения.

Качество готовой продукции зависит не только от качества применяемого сырья, но также и от качества выполнения всех технологических процессов на стадиях ее производства. Это возможно при установке приборов, способных контролировать изменения показателей сырья в потоке, непосредственно на всех технологических операциях производства продукта.

Сбор информации о показателях сырья со всех операций технологического процесса производства и дальнейшее их сравнение с заданными (эталонными) показателями готовой продукции позволяют в целом контролировать, регулировать и управлять этими показателями. В результате всех проводимых мероприятий становится возможным получать продукцию, отвечающую всем показателям стандарта, т. е. выпускать качественную стандартную продукцию.

В настоящее время на основании результатов, достигнутых в науке, технике и инженерной реологии, становится возможным создание автоматизированных комплексов, систем по производству пищевых продуктов со стандартными показателями качества.

Роль инженерной реологии заключается в том, что, применяя в качестве контролирующих показателей структурно-механические свойства продуктов, и инструментальные (объективные) методы и приборы оперативного контроля, становится возможным обеспечить контроль, регулирование и управление качеством сырья и готовой продукции.

Лабораторная работа №1 Исследование реологических моделей

Цель работы:

Изучить методы математического описания реологических моделей по их феноменологическим (механическим) моделям.

Теоретические сведения

Реология – это наука, занимающаяся изучением закономерностей поведения различных материалов при любом разнообразном их деформировании. Главное внимание при этом уделяется деформациям сдвига, причем таким деформациям, которые нельзя считать бесконечно малыми.

Иллюстрация деформации сдвига показана на рисунке 1.

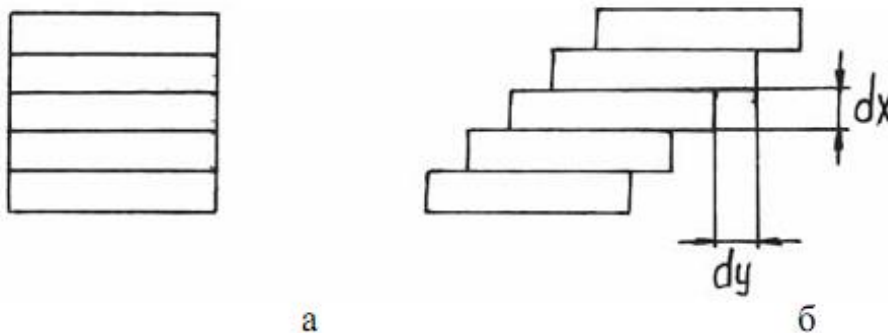


Рис. 1. Иллюстрация деформации сдвига а - исходное состояние; б - схема деформируемого тела.

Относительная деформация сдвига двух элементарных слоев деформируемого тела определяется зависимостью:

$$\gamma = \frac{dy}{dx} \quad (1.1)$$

Есть также понятие скорости сдвига.

$$\dot{\gamma} = \frac{dv_y}{dx} \quad (1.2)$$

Для идеального упругого тела (тела Гука) связь напряжений и деформаций при чистом сдвиге описываются зависимостью.

$$\tau = G\gamma \quad (1.3)$$

где G – модуль упругости второго рода.

Тело Гука идеально, так как оно восстанавливает свою исходную форму после снятия приложенных нагрузок, какими бы они не были. Кроме тела Гука существует еще две простейшие идеальные модели реальных тел – Сен-Венана и Ньютона.

Для тела Сен-Венана деформации начинаются после достижения напряжениями предельного значения, например, при чистом сдвиге τ_0 . До этого тело идеально твердое. Причем величина γ и $\dot{\gamma}$ не связана с τ_0 . Такое тело называется идеально пластичным.

Тело Ньютона – это идеально вязкая жидкость. У него скорость сдвиговых деформаций $\dot{\gamma}$ определяет возникающие касательные напряжения:

$$\tau = \mu \dot{\gamma}, \quad (1.4)$$

где μ - постоянный коэффициент, называемый коэффициентом вязкости.

Реальные тела отличаются от идеальных тем, что в них одновременно присутствуют и упругие и пластические и вязкие свойства.

Выражать реологические свойства реальных тел можно механическими моделями.

Для тела Гука это пружина, для тела Ньютона – это гидравлический амортизатор, для тела Сен-Венана поступательная кинематическая пара сухого трения.

Условия изображения механических моделей реальных тел показаны на рисунке 1.2.

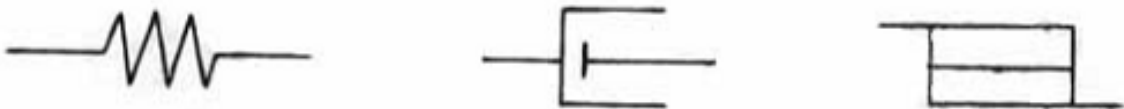


Рис. 1.2. Механические модели реальных тел

Из формул (1.3),(1.4) и рисунка 1.2 следует, что тело Гука характеризуется жесткостью пружины G , а тело Ньютона вязкостью μ .

Из элементов на рисунке 1.2 можно составить более сложные модели, например, тело Кельвина, изображенное на рисунке 1.3. 5

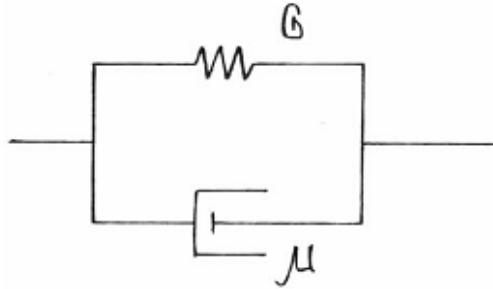


Рис. 1.3. Механическая модель тела Кельвина

Для описания механической модели тела Кельвина используем то обстоятельство, что при параллельном соединении элементов деформация сложного тела γ_k равна деформации каждого элемента, а так напряжение суммарного элемента τ_k равно сумме напряжений в отдельных элементах τ_r и τ_H . Эти соображения позволяют записать систему уравнений:

$$\begin{aligned} \gamma_k &= \gamma_r = \gamma_h \\ \tau_k &= \tau_r + \tau_H \end{aligned} \quad (1.5)$$

Воспользуемся реологическими уравнениями элементов Гука и Ньютона.

$$\begin{aligned} \tau_r &= G\gamma_r \\ \tau_H &= \mu\dot{\gamma}_H \end{aligned} \quad (1.6)$$

Рассмотрим две совокупности уравнений (5) и (6), получим математическую модель тела Кельвина.

$$\tau = G\gamma + \mu\dot{\gamma} \quad (1.7)$$

Кельвин ввел это идеальное тело для того, чтобы иметь возможность

показать свойство вязкого трения для “твердого” тела, то есть явление ползучести, когда деформация развивается при постоянной величине приложенных напряжений.

Возможен другой способ сочетания упругих и вязких свойств, когда жидкость проявляет упругие свойства. Для описания такого явления можно взять другую реологическую модель – тело Максвелла показано на рисунке 1.4



Рис. 1.4. Механическая модель тела Максвелла

Рассуждая аналогично тому, как это было сделано для тела Кельвина получаем реологическое уравнение тела Максвелла

$$\tau + \frac{\mu}{G} \dot{\epsilon} = \mu \dot{\epsilon} \quad (1.8)$$

Решение уравнения (1.8) позволяет объяснить такое явление, как релаксация напряжений.

Для более точного описания свойств реальных тел нужно использовать более сложные модели, например, трехпараметрическая модель (составленная из 3-х элементов и имеющих таким образом, 3 реологические константы) называется обобщенным линейным телом. Такая модель изображена на рисунок 1.5.

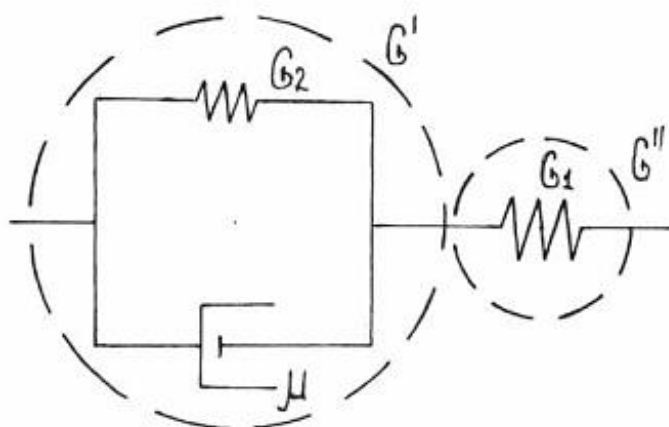


Рис. 1.5. Механическая модель обобщенного линейного тела

Математическая модель образуется следующим образом из тел Гука и Кельвина

$$\gamma_{олт} = \gamma_r + \gamma_k \quad (1.9)$$

Затем, так как Ньютонский элемент в теле Кельвина содержит $\dot{\gamma}$ про- дифференцируем выражение (1.9)

$$\dot{\gamma}_{олт} = \dot{\gamma}_r + \dot{\gamma}_k \quad (1.10)$$

Далее воспользуемся символическим методом построения математи- ческой модели, по имеющейся механической.

Вводится оператор ∂ , означающий операцию дифференцирования элементов с которыми соседствуют символы. Все операции при построении модели производятся по законам алгебры. И упругие и вязкие элементы приравниваются к упругим, но модель упругости вязкого элемента фор- мально получают умножением символа ∂ на коэффициент вязкости μ .

Вводится понятие жесткости модели, обозначаемой G .

Суммарная жесткость параллельно соединенных гуковских элемен- тов и считают равной сумме этих жесткостей.

$$G_{\Sigma} = G_1 + G_2 \quad (1.11)$$

Суммарная жесткость последовательно соединенных элементов вы- числяется из выражения

$$\frac{1}{G_{\Sigma}} = \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \quad (1.12)$$

Применив этот способ для получения математической модели ОЛТ (обобщенного линейного тел). Сначала будем считать это двумя последо- вательно соединенными упругими элементами

$$\frac{1}{G_{\Sigma}} = \frac{1}{G'} + \frac{1}{G''} \quad (1.13)$$

Элемент G' рассмотрим как два параллельных элемента

$$G' = G_2 + \partial\mu \quad (1.14)$$

Окончательно:

$$\frac{1}{G_{\Sigma}} = \frac{1}{G_2 + \partial\mu} + \frac{1}{G_1} \quad (1.15)$$

Отсюда:

$$\frac{1}{G_{\Sigma}} = \frac{G_1 + G_2 + \partial\mu}{G_1(G_2 + \partial\mu)} \quad (1.16)$$

Учитывая, что $\frac{1}{G_{\Sigma}} = \frac{\gamma}{\tau}$

Получим: $\frac{\gamma}{\tau} = \frac{G_1 + G_2 + \partial\mu}{G_1(G_2 + \partial\mu)}$

Затем $G_1\tau + G_2\tau + \partial\mu\tau = G_1G_2\gamma + \partial\mu G_1$

Математическая модель будет иметь вид

$$\tau + \frac{\mu}{G_1 + G_2} \partial\tau = \frac{G_1G_2}{G_1 + G_2} \gamma + G_1 \frac{\mu}{G_1 + G_2} \dot{\gamma} \quad (1.17)$$

Имея ввиду, что $\partial\tau$ и $\partial\gamma$ после дифференцирования по времени записываются в виде соответственно $\dot{\tau}$ и $\dot{\gamma}$.

Окончательно запишем

$$\tau + \frac{\mu}{G_1 + G_2} \dot{\tau} = \frac{G_1G_2}{G_1 + G_2} \gamma + G_1 \frac{\mu}{G_1 + G_2} \dot{\gamma} \quad (1.18)$$

Для модели из 4-х элементов в процессе вывода появляются члены содержащие произведение символов $\partial\partial$, что интерпретируются как взятие второй производной.

Практическая часть

На основании вышеизложенного составьте математические модели механических моделей, предложенных преподавателем.

Вопросы для контроля:

- 1 Назовите определение реологии.
- 2 Чем отличаются реальные тела от моделей?
- 3 Охарактеризуйте тело Гука
- 4 Охарактеризуйте тело Ньютона.
- 5 Какие свойства проявляет тело Кельвина?
- 6 Что такое релаксация напряжений?

Лабораторная работа №2

Прочностные и компрессионные свойства твердых пищевых продуктов

Цель работы:

- 1 Изучить методику расчета сжимающего напряжения.
- 2 Изучить особенности прочностных и компрессионных свойств твердых пищевых продуктов.

Теоретические сведения

Прочностью называют сопротивление тела действию внешних сил которые приводят тела к течению или разрушению. У гуковских тел скорость деформации не влияет на предел прочности, так что различий в статической и динамической прочности не существует.

У негуковских тел (к которым принадлежат почти все твердые пищевые продукты), которые обладают как упругими, так и пластичными и вязкими свойствами, прочность зависит от скорости деформации. Минимальной прочностью обладают тела при статическом или квазистатическом нагружении, при котором вязкоупругие напряжения полностью релаксируют. Разрушение наступает после повышения предела текучести и развития пластичной деформации. Максимальной прочностью негуковские тела достигают при крайне высокой скорости нагружения. В этом случае вязкоупругие напряжения практически не релаксируют, предел прочности наступает непосредственно за пределом текучести, пластичная деформация отсутствует, поэтому наблюдается хрупкий излом. На практике нагружение проводят при скорости деформации, которая лежит между граничными условиями, так что соответствующая динамическая прочность достигается при скорости выше минимального и ниже максимального значения.

Твердость – это комплексное свойство негуковских тел оказывать сопротивление проникновению другого тела вследствие необратимых «упругой и

вязкой» деформаций. При неомогенном структурном строении тел микротвердость в различных точках неодинакова. Вследствие этого прямой зависимости между твердостью и прочностью не существует.

Твердость нельзя выразить как физическую величину с однозначной размерностью. Она является некоторым техническим параметром, который выражается в относительных величинах в зависимости от метода определения.

Простейшим видом нагружения для анализа реологического поведения твердых пищевых продуктов является сжатие между двумя плоскопараллельными пластинами на универсальных измерительных приборах типа «Инстрон», «Цвик», «Кегель» или пенетрометрах. Схема нагружения представлена на рисунке 2.1.

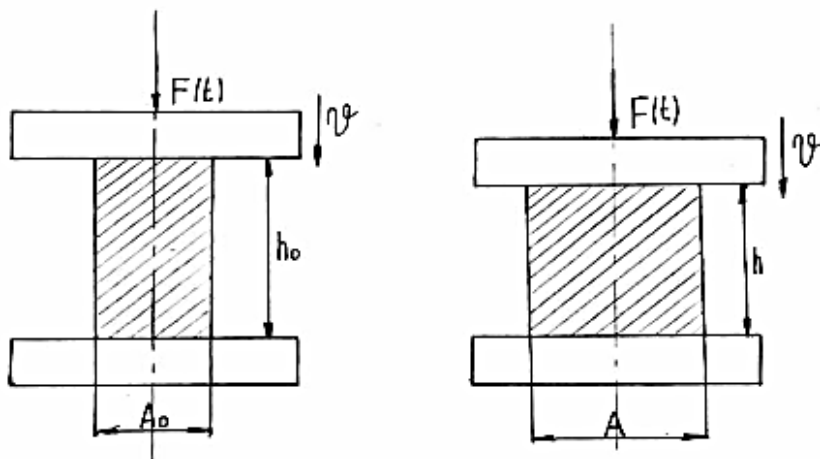


Рис. 2.1. Схема нагружения исследуемого образца

Исследуемый образец кольцевого или призматического поперечного сечения с первоначальной площадью A_0 и первоначальной высотой h_0 нагружают с постоянной скоростью V возникающую при этом силу сжатия измеряют как функцию высоты пробы $f(h)$. Для определения реологических констант необходимо рассчитать напряжение деформации возникающее при сжатии образца. У хрупких материалов до разрушения наблюдаются большие деформации, которые предшествуют разрушению и ведут к существенному изменению величин A_0 и h_0 .

Обозначим высоту образца, уменьшающуюся при сжатии как функцию времени. Возрастающая при этом площадь поперечного сечения A . Сжимающая сила, которая измеряется прибором, является функцией относительного сжатия K и растет при увеличении деформации.

$$K = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100\% \text{ - относительное сжатие} \quad (2.1)$$

При постоянной скорости нагружения высота образца будет изменяться по следующей зависимости:

$$h = h_0 - v \cdot t \quad (2.2)$$

Деформация образца в направлении действия силы определяется по следующей формуле:

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h} \quad (2.3)$$

А скорость деформации по

$$\varepsilon = \frac{v}{h} = \frac{v}{h_0 - vt} \quad (2.4)$$

Разделив числитель и знаменатель выражения (2.4) на h_0 получим

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_0 / (1 - \dot{\varepsilon}_0 \cdot t) \quad (2.5)$$

где $\dot{\varepsilon}_0$ - это начальная скорость деформации.

$$\dot{\varepsilon}_0 = v/h_0$$

Соотношение изменения поперечного сечения образца составляют

$$\frac{A}{A_0} = b_0 + b_1 \dot{\varepsilon}_0 t / (1 - \dot{\varepsilon}_0 \cdot t) \quad (2.6)$$

Коэффициенты b_0 и b_1 являются константами материала и должны быть определены экспериментально для несжимаемых материалов $b_0 = b_1 = 1$, для сжимающего напряжения справедлива зависимость

$$\sigma(t) = f(t)/A \quad (2.7)$$

$$\sigma(t) = f(t)/A_0 (b_0 + b_1 \dot{\varepsilon}_0 t / (1 - \dot{\varepsilon}_0 \cdot t)) \quad (2.8)$$

Реологические параметры материала получают преобразуя измеряемую прибором сжимающую силу по уравнению (2.6), (2.7) и (2.8) при этом учитывают, что большинство твердых пищевых продуктов обладают сложным

вязкоупругими или упруго-пластичными свойствами, по этому у них наблюдается не линейная зависимость между напряжением и деформации.

Материальное оснащение

Лабораторный пресс, две металлические пластины, штангенциркуль, испытуемый материал.

Ход работы

1 Исследуемый образец равномерно сжимаем между двумя плоскопараллельными пластинами при помощи лабораторного винтового пресса.

2 Время сжатия измеряется секундомером.

3 Определяем в двух точках величину A_1 и A_2 , соответственно h_1 и h_2 .

4 Данные опыта и вычислений заносим в таблицу 2.1

Таблица 2.1 – Результаты эксперимента

Образец	A_0	A_1	A_2	h_0	h_1	h_2	v	K	ε	ε_0	b_0	b_1	$\sigma(t)$
№1													
№2													

5 $f(t)$ рассчитываем по формуле (2.8) для нескольких возможных значений $\sigma(t)$, по результатам расчета строим график зависимости $f(t)$ от $\sigma(t)$.

6 Проанализируйте результаты работы и сделайте выводы.

Вопросы для контроля:

1. Что такое прочность?
2. У каких тел прочность зависит от скорости деформации?
3. В каком случае негукоские тела достигают максимальной прочности?
4. Дайте определение твердости?
5. Что происходит при сжатии образца?
6. Какими свойствами обладают твердые пищевые продукты?

Лабораторная работа №3

Определение вязкости жидкости методом капиллярной вискозиметрии

Цель работы:

- 1 Усвоение методики определения ньютоновской вязкости жидкостей.
- 2 Элементы теории капиллярной вискозиметрии.

Теоретические сведения

1. Закон вязкого течения Ньютона. Вязкость.

Ньютон в 1867 году предложил, что внутреннее трение при течение жидкости зависит от относительной скорости перемещения ее частиц. Закон вязкого течения жидкости, установленный Ньютоном постулируется так: сила внутреннего трения, проявляющаяся при перемещении одного слоя жидкости относительно другого, прямо пропорциональна градиенту относительной скорости этого перемещения по поверхности слоев.

Математическая запись закона Ньютона такова:

$$F = \eta \cdot S \frac{d\omega}{dx} \quad (3.1)$$

где F - сила, действующая на поверхности слоя в направлении, противоположном его движению, Н;

S - площадь слоя, м²;

ωd - относительная скорость движения слоев, находящихся на расстоянии dx ;

η - коэффициент пропорциональности, зависящий от природы жидкости и являющийся одной из важнейших характеристик (его называют коэффициентом вязкости или просто вязкостью).

Введем следующие понятия. Сила, приходящаяся на единицу площади слоя в направлении его движения, называется касательным (тангенциальным) напряжением, или напряжением сдвига Н/м²τ.

По определению $\tau = F/S$ Величина $d\omega / dx$ называется скоростью деформации и обозначается ε . Размерность напряжения сдвига Н/м^2 , скорости деформации – с^{-1} .

С учетом изложенного (3.1) принимает вид:

$$\tau = \eta \cdot \varepsilon, \quad (3.2)$$

Чтобы найти вязкость (ее размерность $\text{Н}\cdot\text{с/м}^2$), необходимо решить уравнение (3.1) или (3.2) применительно к конкретным условиям течения жидкости.

2. Теория капиллярных вискозиметров.

Теория, кроме гипотез сплошности и непрерывности, использует следующие допущения и ограничения: скорость жидкости на стенке принимается равной нулю, продукт считается несжимаемым; реологические характеристики неизменны по длине и не зависят от времени, т.е. на течение не оказывают влияния процессы итксотропии, 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 на стенке равна среднеобъемной скорости потока, а градиент скорости на стенке стремится к бесконечности.

Основной предпосылкой научной обоснованности и объективности данных полученных на капиллярных вискозиметрах, является отсутствие турбулизации потока, т.е. режим движения должен быть ламинарным или структурным. Режим движения характеризуется критерием Рейнольдса Re , который представляет собой безразмерное числовое значение, пропорциональное отношению кинетической энергии потока $\frac{mw^2}{2}$ (где m – масса; w - средняя объемная скорость), к работе сил вязкого сопротивления Pl (где P – сила сопротивления; l – длина).

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot w}{\eta} \quad (3.3)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

d – диаметр трубки, м;

η – вязкость жидкости, Па·с, или эквивалент.

Критерий Рейнольдса не должен превышать 150, а длительность истечения жидкости не должна быть меньше 100.

В общем случае теория капиллярной вискозиметрии рассматривает равномерное (силы трения равны нулю) прямолинейное (центробежные силы равны нулю) движение в горизонтальной трубке (силы тяжести проектируются на ось, совпадающую с направлением, и равны нулю).

Касательное напряжение Θ на боковой поверхности выделенного цилиндра:

$$\Theta = \left[\frac{p}{2l} \right] \cdot r, \quad (3.4)$$

где p – перепад давления на торцах цилиндра, Па;

l – длина цилиндра, м;

r – радиус цилиндра, м.

Вискозиметры капиллярного типа применяются для определения вязкости материалов обладающих относительно небольшой ее величиной: мясокостного бульона крови и топленого жира, подсолнечных и соевых мицелл, растворов мыла и арахисового и миндальных масел, кондитерского жира. В капиллярных вискозиметрах задаются либо постоянным во всех опытах расходом исследуемых жидкостей, либо постоянным перепадом давления в капиллярах. В вискозиметрах с постоянным расходом измеряется перепад давления между концами капилляра, в приборе с постоянным давлением – расход материала.

Каждый вискозиметр состоит из следующих частей: емкости для исследуемого материала, калиброванного капилляра, приспособлений для определения и регулирования давления, определения скорости течения (или истечения) материала, определения температуры.

Принцип действия капиллярных вискозиметров основан на непрерывном сдвиге в капилляре вновь поступающей жидкости и постоянном уносе с материалом выделяющейся теплоты.

В опытах на капиллярных вискозиметрах получают зависимость расходов массы Θ от перепада давления Δp . Если проводят на одном капилляре то напряжение сдвига на стенке капилляра τ (в Па) рассчитывают по формуле:

$$\tau = \Delta p \cdot R \cdot [2 \cdot (L + n \cdot R)], \quad (3.5)$$

где R – радиус капилляра, м;

L – длина капилляра, м;

n – поправка, учитывающая концевые эффекты.

Когда используются два капилляра одного радиуса, но разной длины, то τ определяют по формуле:

$$\tau = R \cdot \frac{(p_1 - p_2)}{[2(L_1 - L_2)]} \quad (3.6)$$

Скорость сдвига γ' в с^{-1} на стенке капилляра рассчитывают по формуле:

$$\gamma' = \gamma'_{\text{cp}} \cdot \left[3 + \frac{d_1 q \gamma'_{\text{cp}}}{(d_1 q \tau)} \right], \quad (3.7)$$

где $\gamma'_{\text{cp}} = \frac{Q}{(\pi R^3)}$

Капиллярные вискозиметры можно условно разделить на три группы: стеклокапиллярные, цилиндр - поршень и приборы истечения. К первой группе приборов относятся простейшие вискозиметры, представляющие собой U - образные трубки, в одном из колен которых помещен капилляр.

В вискозиметре Уббелоде, представленном на рисунке 3.1, для истечения жидкости необходимо в одном из колен принудительно создавать давление или разрежение. Капилляр в приборе располагается вертикально, что представляет определенные трудности при работе с жидкостями, обладающими значительной вязкостью и поверхностным натяжением.

Далее трубки соединяются с атмосферой и определяется время истечения жидкости из резервуара через капилляр в резервуар. Время истечения отсчитывается при снижении уровня жидкости в трубке с резервуарами от риски m_1 до m_2 . Зная время истечения жидкости, находят измеряемую вязкость.

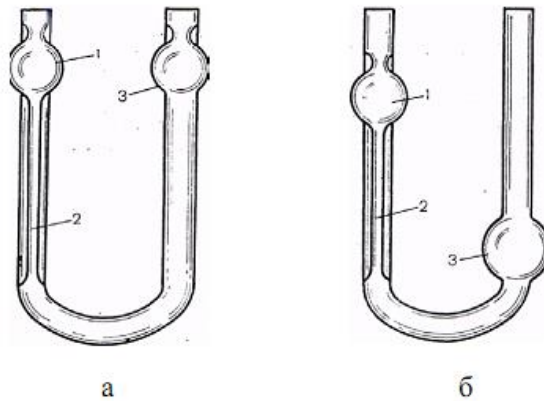


Рис. 3.1. Капиллярные вискозиметры а – Убеллоде; б – Оствальда; 1 – емкость для измерения количества протекающей через капилляр жидкости; 2 – капилляр; 3 – емкость для сбора жидкости

При определении вязкости ньютоновских жидкостей в капиллярных вискозиметрах воспользуемся формулой Пуазейля:

$$Q = \frac{\pi P d^4}{128 \eta (\ell + m d)} \quad (3.8)$$

где Q – расход жидкости через капилляр, мм^3 ;

P – потери давления в капилляре, Па;

d – диаметр капилляра, мм;

η – ньютоновская вязкость;

ℓ – длина капилляра, мм;

m – поправка длины капилляра, учитывая потери давления на вход и выход из капилляра.

Давление на входе в капилляр является гидростатическим и определяется по формуле:

$$P = \rho g h \quad (3.9)$$

где ρ – плотность жидкости, г/мм^3 ;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

h – высота столба жидкости над входом в капилляр, мм.

Подставив (3.2) в (3.1) получим:

$$Q = \frac{\rho g h d^4}{128 \eta (\ell + md)} \quad (3.10)$$

Отсюда следует, что расход через капилляр линейно зависит от высоты h . Интегрируя выражение (3.3) по всему объему полости из которой вытекает жидкость в капилляр, можно определить время истечения жидкости. Эта задача существенно упрощается тем, что полость изготовлена симметрично относительно плоскости со средней высотой столба жидкости

h_{cp} . Поэтому расход можно принять постоянным и равным $Q=Q(h_{cp})$, тогда

$$Q(h_{cp}) = \frac{V}{t} \quad (3.11)$$

где: V - объём полости, из которой вытекает жидкость, мм³;

t - время истечения жидкости из полости, с.

Подставляя выражение (3.4) в (3.3) и выражая ньютоновскую вязкость, получим

$$\eta = \frac{\rho d_c h_{cp} d^4}{128 V (\ell + md)} \quad (3.12)$$

Выделив постоянные для данного капиллярного вискозиметра параметры, получим

$$\eta = \rho \frac{g}{g_c} kt \quad (3.13)$$

$$K = \frac{\rho g_c h_{cp} d^4}{128 V (\ell + md)} \quad (3.15)$$

где K – постоянная вискозиметра;

g_c – стандартная величина ускорения свободного падения. $g_c = 9.807 \text{ м/с}^2$

Чтобы исключить влияние плотности жидкости обычно определяют её кинематическую вязкость:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3.16)$$

Тогда окончательно получаем формулу для определения кинематической вязкости капиллярным вискозиметром:

$$\nu = \frac{\rho}{g_c} kt \quad (3.17)$$

Важным является обеспечение постоянной и строго фиксированной температуры в процессе определения вязкости. Это достигается термостатированием вискозиметра.

Существует еще один способ определения вязкости, когда вязкость определяют по отношению к известной вязкости стандартной жидкости.

Вязкость двух жидкостей, измеренных при равных условиях в одном и том же капилляре, будут связаны выражением:

$$\eta = \eta_0 \frac{\rho}{\rho_0} \frac{t}{t_0} \quad (3.18)$$

Описание лабораторной установки

Вискозиметр капиллярный стеклянный типа БПЖ-4, показанный на рисунке 3.1, представляет собой U – образную трубку, в колено 1 которого впаян капилляр 6. Измерение вязкости основано на определении времени истечения через капилляр фиксированного объема жидкости, заключенного между отметками М1 и М2.

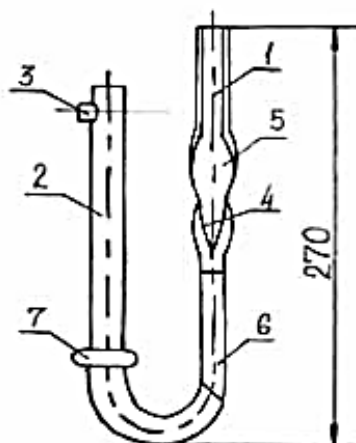


Рис. 3.1. Капиллярный вискозиметр БПЖ – 4 1 – рабочее место; 2 – вспомогательное колено; 3 – отводный патрубок; 4,5 – расширение рабочего колена; 6 – капилляр; 7 – расширение вспомогательного колена

Перед определением вязкости жидкости вискозиметр должен быть тщательно промыт и высушен. Промывают их спиртом – ректификатом или ацетоном. Затем вискозиметр просушивают.

Порядок выполнения работы

Для заполнения вискозиметра на отводной патрубке надевают резиновый шланг. Далее, зажав пальцем колено 2 и перевернув вискозиметр, опускают колено 1 в сосуд с жидкостью и засасывают ее с помощью груши до отметки M2 следя за тем, чтобы в жидкости не образовывались пузырьки воздуха. Затем вискозиметр поворачивают в нормальное положение. Снимают с внешнего конца колена 1 избыток жидкости.

После этого устанавливают вискозиметр на штативе.

Если в этом есть необходимость, засасывают жидкость в колено 1 примерно до одной трети высоты расширения 5, затем сообщают колено 1 с атмосферой и определяют время истечения опускания менисков жидкости от отметки M2 до отметки M1.

Вязкости вычисляется по формуле (3.8) по среднему из трех измерений времени истечения жидкости при значениях параметров $K=0,2703 \cdot (10)^{-6}$; $g=9,807 \text{ м/(с)}^2$

Результаты измерений заносят в таблицу 3.1

Таблица 3.1

Результаты эксперимента

№ опыта	Наименование жидкости	Время истечения, с	Среднее время истечения, с	Кинематическая вязкость

Расчеты вязкости представляют в таблице 3.2

Таблица 3.2

Расчет Ньютоновской вязкости

Плотность жидкости	Ньютоновская вязкость
--------------------	-----------------------

Содержание отчета по выполненной лабораторной работе

Отчет должен содержать дату выполнения, цель работы, сведения о необходимом для выполнения работы оборудовании, схему лабораторной установки, заполненную таблицу результатов измерений, выводы.

Вопросы для контроля:

1. В чем заключается закон вязкого течения Ньютона?
2. Какие допущения и ограничения имеет теория капиллярных вискозиметров?
3. Какой режим движения жидкости должен быть в капиллярном вискозиметре?
4. Какие виды материалов исследуются данным методом?
5. Почему время истечения одинакового объема различных жидкостей через капилляр различно?
6. Запишите формулу касательных напряжений и ньютоновской жидкостей?
7. Назовите основные элементы капиллярного вискозиметра?
8. Каков принцип действия капиллярного вискозиметра?
9. Охарактеризуйте вискозиметр Уббелодде.

Лабораторная работа №4

Исследование вязкости пищевых масс с помощью ротационной вискозиметрии

Цель работы:

Усвоение методики определения вязкости методом ротационной вискозиметрии.

Теоретические сведения

Семейство ротационных вискозиметров включает в себя системы с соосными цилиндрами, конусами, сферами и некоторыми другими поверхностями вращения. Помимо типа рабочих поверхностей (цилиндры, конусы и др.), ротационные вискозиметры отличаются друг от друга также устройствами для измерения момента вращения. В последнее время для изучения биологических жидкостей стали применяться приборы, в которых внутренний цилиндр свободно плавает в испытуемой жидкости. Передавая к этому цилиндру момент вращения с помощью магнитного поля или через промежуточную жидкость, по его угловой скорости можно оценивать вязкость.

Известны приборы для определения вязкости по скорости затухания колебаний. Среди них назовем ультразвуковые вискозиметры. Измерительным элементом их служит металлическая пластина, совершающая возвратно-поступательное движение с ультразвуковой частотой. К ним относится один из первых приборов для измерения вязкости, сконструированный Кулоном. В приборе Кулона вязкость оценивалась по затуханию колебаний в жидкости цилиндра, подвешенного на упругой нити.

В лабораторной практике вязкость иногда оценивают по скорости движения шарика в жидкости. Если используется метод падения шарика, то измеряют его скорость ω , и вязкость вычисляют по уравнению Стокса:

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2 \cdot (d_r - d_{ж})}{\omega} \cdot g \quad (4.1)$$

где d_r - плотность шарика, г/мм³;

r - его радиус, мм;

$d_{\text{ж}}$ - плотность жидкости, г/мм³;

q - ускорение силы тяжести, м/с²

Ротационная вискозиметрия проводится на приборах, где исследуемую массу помещают в зазоре между вращающейся и неподвижной частями, например, между коаксиальными цилиндрами. Масса, соприкасаясь с вращающейся частью вискозиметра, увлекает за собой всю имеющуюся в зазоре массу. Фиксируя частоту вращения и усилие для его осуществления, определяют напряжение и скорость сдвига. Меняя частоту вращения, можно получить достаточное количество точек для построения кривой течения

Для многих пищевых масс, имеющих высокую вязкость, употребление ротационного вискозиметра не представляется возможным по ряду причин. Например, при использовании прибора типа цилиндр-цилиндр, где исследуемую массу помещают в узком зазоре между наружным и внутренним цилиндрами. Возникают две противоположные задачи: необходимо иметь большой зазор для удобного, равномерного заполнения его довольно густой исследуемой массой, в то же время, зазор должен быть возможно меньшим, так как только при небольшом отношении его толщины к диаметру цилиндров можно считать, что во всех точках находящейся в зазоре массы скорости сдвига одинаковы, что необходимо для простого применяемого метода расчета по экспериментальным данным реологических характеристик массы.

Ротационная вискозиметрия проводится на приборах, где исследуемую массу помещают в зазоре между вращающейся и неподвижной частями, например, между коаксиальными цилиндрами. Масса, соприкасаясь с вращающейся частью вискозиметра, увлекает за собой всю имеющуюся в зазоре массу. Фиксируя частоту вращения и усилие для его осуществления, определяют напряжение и скорость сдвига. Меняя частоту вращения, можно получить достаточное количество точек для построения кривой течения

Для многих пищевых масс, имеющих высокую вязкость, употребление ротационного вискозиметра не представляется возможным по ряду причин. Например, при использовании прибора типа цилиндр-цилиндр, где исследуемую массу помещают в узком зазоре между наружным и внутренним цилиндрами. Возникают две противоположные задачи: необходимо иметь большой зазор для удобного, равномерного заполнения его довольно густой исследуемой массой, в то же время, зазор должен быть возможно меньшим, так как только при небольшом отношении его толщины к диаметру цилиндров можно считать, что во всех точках находящейся в зазоре массы скорости сдвига одинаковы, что необходимо для простого применяемого метода расчета по экспериментальным данным реологических характеристик массы.

Ротационная вискозиметрия широко применяется в исследовании пищевых масс. Например бараночного и хлебопекарного теста, конфетной массы пралине, сливочной помадки, мясного фарша, а также мыла и т. п. Так данные ротационной вискозиметрии можно использовать для определения оптимальной продолжительности перемешивания масс.

Техника вискозиметрического исследований.

Ротационную вискозиметрию можно проводить на установке, включающей в себя ротационный вискозиметр (даже простейший, типа РВ-8 конструкции М.П.Воларовича, представленный на рисунке 4.1)

Кроме показанной схемы вискозиметра РВ-8, известно очень много конструкций приборов ротационного типа. Многие из них существенно сложнее по устройству, но зато они позволяют и более точно и строго строить кривые течения исследуемых материалов.

Описание лабораторной установки.

Вращающаяся часть вискозиметра - ротор - приводится в движение действием падающих грузов, тянущих нити, навитые на барабаны жестко связанные с ротором. Ротор расположен внутри неподвижного цилиндра - статора.

Внешний диаметр ротора и внутренний диаметр статора несколько отличается, благодаря чему между ними есть зазор, в который помещается исследуемая масса. Вокруг неподвижного цилиндра циркулирует подаваемая термостатом вода определенной температуры. Скорость вращения ротора под действием грузов определяется по времени 7-10 оборотов. Для отсчета времени используется секундомер, включаемый и выключаемый контактами, срабатываемыми от соприкосновения с движущимися грузами.

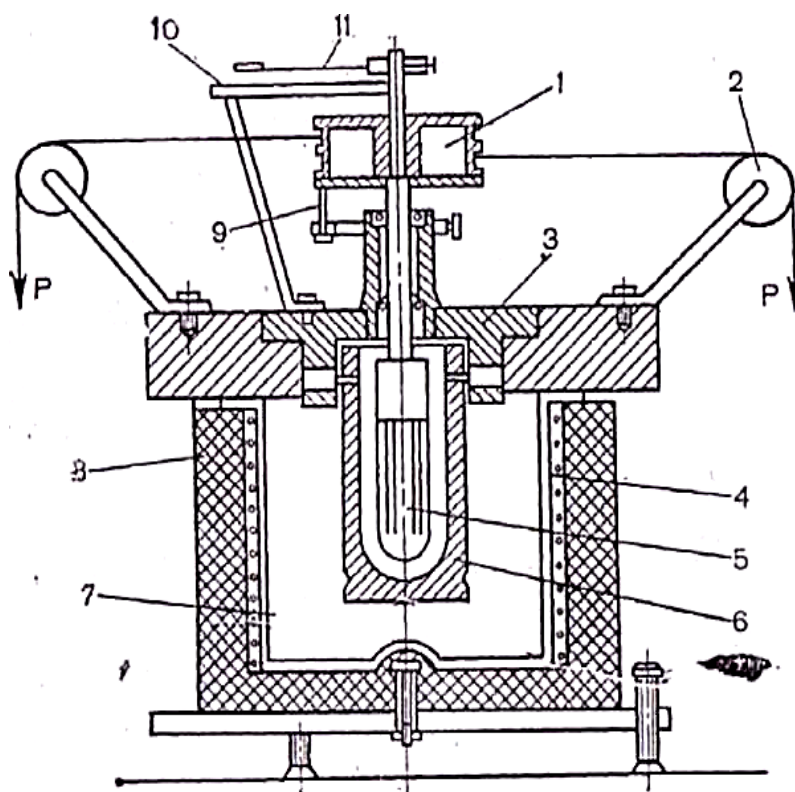


Рис. 4.1. Установка для проведения ротационной вискозиметрии на базе вискозиметра РВ-8 1-шкив; 2 - блоки; 3 - установочная гайка; 4 - стакан для термостатирующей жидкости; 5 - ротор; 6 - стакан; 7 - спираль электронагрева; 8 - изоляция; 9 - стопор; 10 - шкала; 11 - стрелка.

Порядок выполнения работы

Обработка результатов эксперимента ведется следующим образом. По замеренным P - массе груза в граммах и t - времени n - оборотов ротора можно подсчитать имевшие место напряжение сдвига τ и скорость сдвига $\dot{\gamma}$.

Результаты эксперимента заносятся в таблицу 4.1

Таблица 4.1

Результаты эксперимента

образец	P	t	n	K_τ	τ	$K_{\dot{\gamma}}$	$\dot{\gamma}$
№1							
№2							

Для подсчета напряжения сдвига τ нужно знать коэффициент K_τ , зависящий от геометрии прибора и высоты слоя массы в зазоре h , измеряемом в сантиметрах. Для вискозиметра РВ-8 (для других этот коэффициент другой).

$$K_\tau = \frac{13,55}{h+1,26} \quad (4.2)$$

$$\tau = K_m \cdot P \frac{H}{M^2} \quad (4.3)$$

Для подсчета скорости сдвига надо знать также зависящий от геометрии прибора коэффициент $K_{\dot{\gamma}}$, равный для РВ-8:

$$K_{\dot{\gamma}} = 42,2 \cdot \frac{h+1,16}{h+1,26} \quad (4.4)$$

$$\dot{\gamma} = K_{\dot{\gamma}} \cdot \frac{n}{t} \quad (4.5)$$

Вопросы для контроля:

1. Приведите примеры способов определения вязкости в ротационных вискозиметрах.
2. Для исследования каких пищевых масс используются ротационные вискозиметры.
3. В каком случае и почему не представляется возможным использование ротационных вискозиметров.
4. Назовите основные элементы ротационного вискозиметра Вола-ровича.
5. Опишите работу ротационного вискозиметра Воларовича.

Лабораторная работа №5

Определение коэффициентов трения пищевых материалов

Цель работы:

1. Изучить теоретические основы движения грузов в гравитационном транспорте;
2. Усвоить методику определения коэффициентов трения различных материалов.

Теоретические сведения

К пищевым материалам в данной работе будем относить сырье, полуфабрикаты и готовые пищевые продукты.

Во всех отраслях пищевой промышленности широко используется гравитационный транспорт - это спускные желоба, лотки, трубы, каскадные и винтовые спуски, т.е. все те устройства, в которых движение груза происходит только под действием силы тяжести. Такой способ используется при подаче материала в бункеры, для перемещения от затворов и питателей к конвейерам, при перегрузке с конвейера на конвейер и т.п.

Для перемещения сыпучего и мелкодисперсного материала подходят спускные трубы, для крупнокускового материала чаще используются спускные лотки, желоба, винтовые спуски. Штучный, плоскодонный груз (коробки, мешки, ящики, груз на поддонах) удобно перемещать по роликовым конвейерам, которые также относятся к гравитационному транспорту.

Достоинство этого вида транспорта в отсутствии приводного устройства, невысокой стоимости, простоте.

Недостатки: износ внутренней поверхности конвейера при движении груза скольжением; разрушение, крошение, возможная деформация груза при

неправильно выбранном угле наклона конвейера, образование заторов при изменившихся условиях (например, повышенная влажность транспортируемого материала).

Для снижения влияния недостатков таких устройств необходимо правильно подобрать угол наклона гравитационного транспортирующего устройства с учетом коэффициента трения материала.

Сила трения скольжения направлена в сторону, противоположную возможному движению тела и достигает значения, не превышающего определенного предела.

Наибольшая сила трения скольжения F_{max} пропорциональна нормальному давлению N тела на поверхности и определяется законом Кулона.

$$F_{max} = f_0 \cdot N, \quad (5.1)$$

где f_0 - статический коэффициент трения скольжения.

Схема движения тела по вертикальной поверхности представлена на рисунке 5.1.

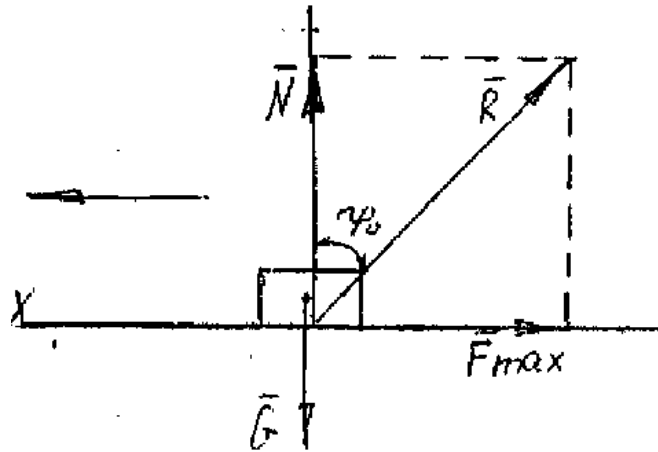


Рис. 5.1. Движения тела по вертикальной поверхности

Сила F_{max} отклоняет реакцию R от нормали на угол Φ . Тангенс угла Φ трения в покое равен статическому коэффициенту трения f

$$tg\varphi = \frac{F_{max}}{N} = f_0, \quad (5.2)$$

Динамический коэффициент трения скольжения f всегда меньше статического коэффициента f_0 и зависит от материала соприкасающихся тел и их

шероховатости. Для абсолютно гладких тел коэффициент $f = 0$, для реальных тел $f > 0$.

Рассматривая условия равновесия реального шероховатого тела на наклонной плоскости, представленные на рисунке 5.2, приходим к выводу, что при угле наклона α плоскости к горизонту больше чем угол трения в покое Φ тело начнет перемещаться в направлении оси X. Таким образом замерив угол α , равный углу трения Φ и вычислив значение $\text{tg } \alpha$ определим коэффициент трения скольжения в покое.

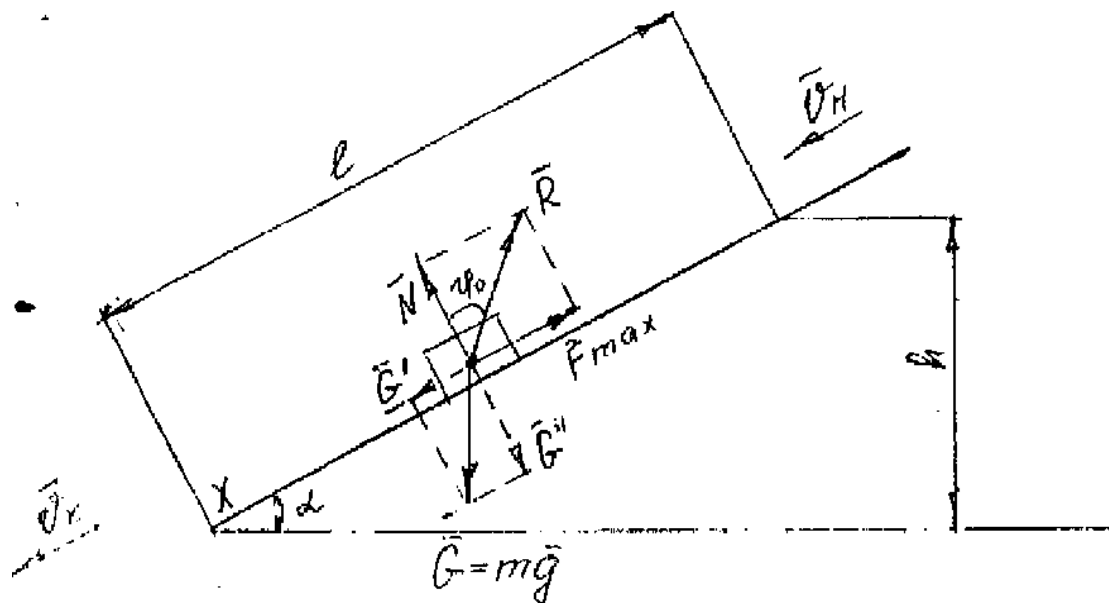


Рис. 5.1. Движения тела по вертикальной поверхности

Как сказано выше необходимым условием перемещения груза по спуску является превышение угла наклона α над углом трения груза. Из условия равноускоренного движения тела при $\alpha > \Phi$ можно записать, что

$$mg = G \cdot \sin \alpha - f \cdot G \cdot \cos \alpha, \quad (5.3)$$

но $mg = \frac{G}{\alpha}$, отсюда динамический коэффициент f трения скольжения

$$f = \text{tg} \alpha - \frac{\alpha}{g \cdot \cos \alpha}, \quad (5.4)$$

где a - ускорение движения тела по наклонной плоскости при фиксированных значениях расстояний S_0 , S_1 и времени t .

$$a = \frac{2S_1 + 2S_0 - 2(S_1 + 2S_0)^2 - S_1^2}{t_1^2}, \quad (5.5)$$

Если принять массу груза m , начальную скорость движения V_0 , а конечную V_k , то величину скорости движения груза по спуску можно определить по теореме об изменении кинетической энергии:

$$\frac{mV_k^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = mgh - mgfl\cos\alpha, \quad (5.6)$$

учитывая, что $h=l\sin\alpha$, скорость на конечном участке определяется как

$$V_k = \sqrt{2gl(\sin\alpha - f\cos\alpha) + V_0^2}, \quad (5.7)$$

где f - коэффициент трения скольжения груза по спуску.

Необходимо учитывать, что при большой длине конвейера скорость движения может достигнуть такой величины, при которой возможно повреждение груза.

При известной начальной скорости V_0 и заданной конечной скорости V_k длина спуска L , обеспечивающая заданную скорость, определится из уравнения

$$L = \frac{2gh - V_k^2 + V_0^2}{2gf_0}, \quad (5.9)$$

Для снижения скорости спуск делается составным, причем на одном участке при $a > \Phi$ груз приобретает необходимую скорость, на другом, при $a < \Phi$, обеспечивается торможение.

Лабораторное оснащение

Установка для определения коэффициентов трения различных материалов, представленная на рисунке 5.3, испытуемый материал, секундомер.

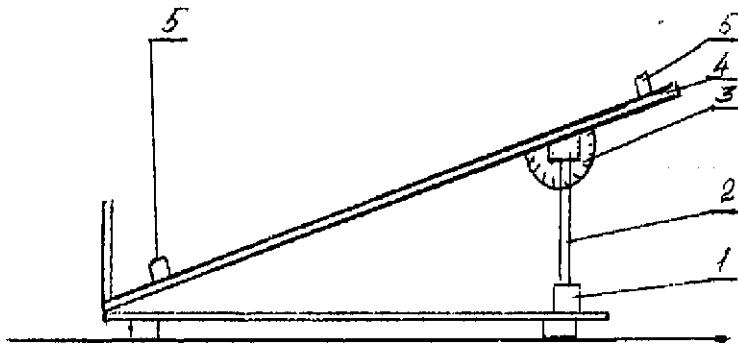


Рис. 5.3. Установка для определения коэффициентов трения различных материалов 1 - основание; 2 - винт; 3 - шкала; 4 -поворотная платформа со сменными лотками; 5 - контакты

Методика выполнения работы

1. Определение статического коэффициента трения скольжения.

а) Установить платформу в горизонтальное положение и поместить образец в сменный лоток платформы.

б) Поворачивая винт 2 медленно увеличивать угол наклона платформу до тех пор, пока образец под действием собственной силы тяжести не начнет перемещаться.

с) По шкале транспортира определить угол ϕ . Для каждого образца опыт провести три раза и определить среднеарифметическое значение углов ϕ .

д) По формуле (5.2) вычислить значение статического коэффициента трения скольжения испытуемого материала по стали, по дереву, по резине.

2. Определение динамического коэффициента трения скольжения.

а) Установить платформу со сменным лотком под углом $\alpha > \phi$, обеспечивающим равноускоренное движение материала.

б) Установить образец в исходное положение на расстоянии S_0 до первого контакта, затем дать возможность свободно скользить по лотку до второго контакта, т.е. S_1 .

с) Снять показания времени t по секундомеру и вычислить среднее значение t по трем опытам.

д) По формулам (5.4) и (5.5) вычислить значение динамического коэффициента f трения скольжения исследуемого материала по стали, по дереву и по резине.

е) Опыты повторить не менее трех раз.

3. Определение конечной скорости движения материала.

а) По формулам (5.8) и (5.9) определить конечную скорость движения материала и длину конвейера при заданных значениях h .

б) Сравнить значения коэффициентов трения различных материалов, представив данные в таблице 5.1

Таблица 5.1

Значения коэффициентов трения различных материалов

Исследуемый материал	Коэффициент трения скольжения f	
	Статический	Динамический
	По стали дереву резине	По стали дереву резине

Вопросы для контроля

1. Какие виды гравитационного транспорта используются в пищевой промышленности?
2. Назначение и область применения гравитационного транспорта.
3. Достоинства и недостатки гравитационного транспорта.
4. Возможное регулирование скорости движения груза.
5. Пути снижения величины коэффициента трения.
6. Опишите работу лабораторной установки.

Лабораторная работа №6

Изучение физико-механических свойств сваренных и сухих макаронных изделий

Цель работы:

Изучить методику определения прочности и слипаемости сухих и сваренных макаронных изделий.

Теоретические сведения

Механическая прочность сухих макаронных изделий является одним из важных показателей, характеризующих их качество. Непрочные изделия ломаются при фасовке под действием усилий рабочих органов фасующих машин, а при упаковке насыпью, при транспортировке и хранении - под действием толчков и под влиянием массы верхних слоев изделий, находящихся в ящике.

Прочность сваренных макарон и степень их слипаемости определяют в первую очередь вкусовые достоинства сваренных макаронных изделий. А следовательно, и усвояемость их. Так, например, сваренные изделия нормальной прочности приятны при разжевывании, что важно физиологически, поскольку способствует секреторному выделению слюны и желудочного сока; слишком твердые, резинообразные изделия, равно как и изделия низкой прочности, кашеобразные, оставляют неприятные вкусовые ощущения. Слипающиеся, образующиеся после варки комья, изделия - не привлекательны на вид и не способствуют повышению аппетита.

Величина прочности макарон характеризуется величиной ломающей нагрузки, определяемой на приборе Строганова или на приборе ПМ-2.

Описание лабораторной установки

В лаборатории макаронного производства ОГУ разработан универсальный прибор ПМ-2, представленный на рисунке 6.1 позволяющий при помощи соответствующих приспособлений определять прочность сухих и сваренных макаронных изделий и степень слипаемости сваренных макаронных изделий.

Схема прибора ПМ-2 с устройством для определения прочности сухих макаронных изделий представлена на рисунке 6.2

Прочность макаронных изделий на приборе ПМ-2 определяется следующим образом. В отверстия приспособления для определения прочности макаронных изделий 5 помещают макаронную трубку длиной около 300 мм. Включают прибор тумблером 7. Включается электродвигатель 8 и происходит наматывание веревки 9 на втулку 10, поднимается крюк 6 зацепленный на макаронную трубку. Одновременно с возрастанием нагрузки на макаронную трубку на барабане 4 вычерчивается диаграмма самописцем 3. После излома макаронной трубки, прибор автоматически возвращается в исходное состояние. Прочность макаронных изделий определяется по высоте диаграммы.

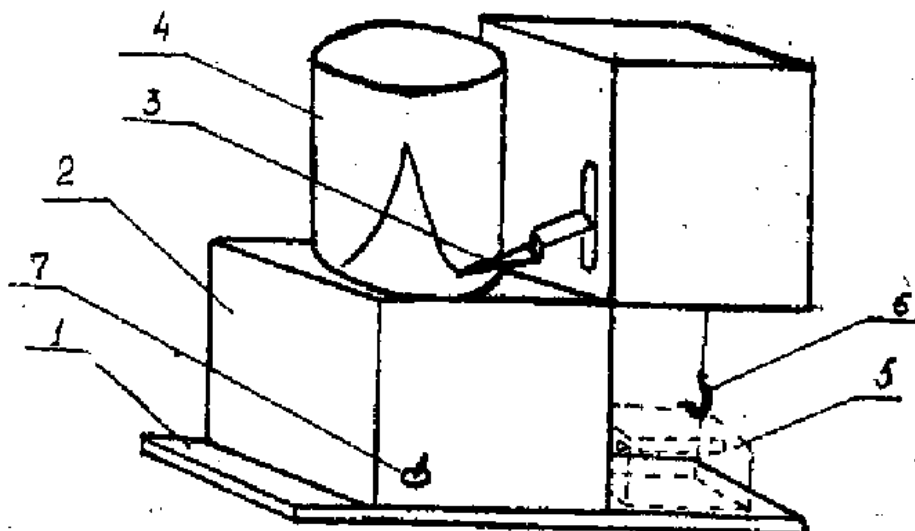


Рис. 6.1. Универсальный прибор ПМ-2:
1 - основание прибора; 2 - корпус; 3 - самописец; 4 - вращающийся барабан; 5 - приспособление для определения прочности сухих макаронных изделий; 6 - крюк; 7 – тумблер

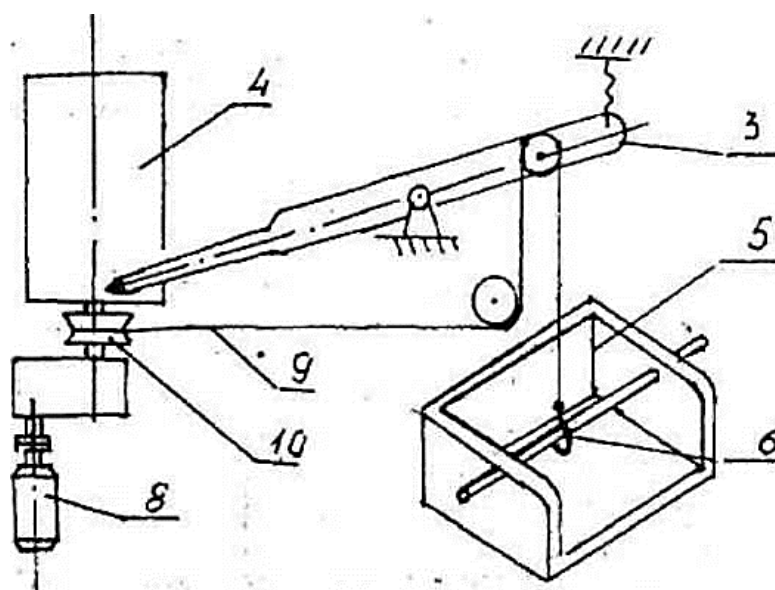


Рис. 6.2. Схема прибора ПМ-2 с устройством для определения прочности сухих макаронных изделий: 3 - самописец; 4 - вращающийся барабан; 5 - приспособление для определения прочности сухих макаронных изделий; 6 - крюк; 7 - тумблер; 8 - электродвигатель; 9 - веревка; 10 - втулка

Величину прочности вычисляют как среднее арифметическое из пяти определений.

Для короткорезанных изделий нормы прочности не установлены (ввиду отсутствия метода определения прочности короткорезанных изделий),

однако стандартом установлены предельно допустимые содержания крошки в короткорезанных изделиях, что в свою очередь косвенно отражает величину прочности этих изделий.

Требования стандарта ГОСТ 875 - 92 к прочности макаронных изделий указаны в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Требования стандарта к прочности макаронных изделий.

Прочность макарон в г, не менее для сорта изделий.	высшего	высшего яичного	первого
Менее 3,0	Не учит.	Не учит.	Не учит.
От 3,0 до 3,4	100	70	100
От 3,5 до 3,9	120	100	120
От 4,0 до 4,4	200	150	200
От 4,5 до 4,9	250	200	250
От 5,0 до 5,4	300	250	300
От 5,5 до 5,9	400	350	400
От 6,0 до 6,4	550	450	550
От 6,5 до 6,9	650	550	700
От 7,0 и более	750	600	800

Прочность сваренных изделий определяется на срез на приборе ПМ-2 при помощи приспособления для определения прочности сваренных изделий, которое представлено на рисунке 6.3.

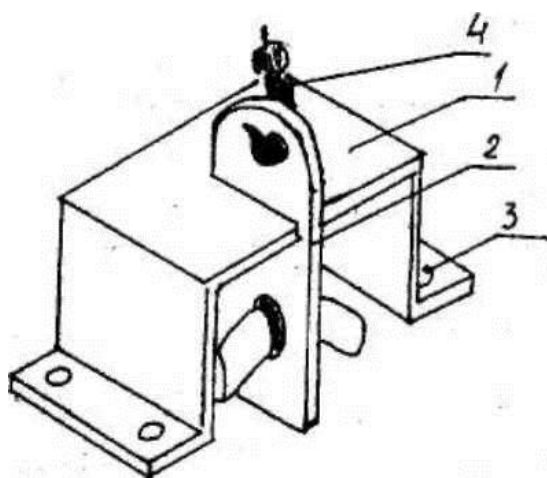


Рис. 6.3. Приспособление для определения прочности (на срез) сваренных макаронных изделий: 1 - пластина с прорезью; 2 - планка с отверстием для макаронной трубки; 3 - макаронная трубка; 4 - крючок прибора ПК-2

Макаронные изделия варят в десятикратном количестве воды до готовности (длинные изделия предварительно распиливаются на отрезки 4...5 см). По окончании варки сливают варочную воду и изделия помещают в чашечку с холодной водопроводной водой.

В прорезь пластинки 1, укрепленной на основании прибора опускается металлическая планка 2, подвешенная на крючке 4. В отверстия планки 2 вставляется макаронная трубка 3. Включается прибор ПМ-2 и определяется усилие, необходимое для разрезания макаронной трубки.

Опыт повторяется не менее пяти раз, за результат берется среднее арифметическое.

Для удобства сравнения результатов измерения прочности сваренных макаронных изделий разного вида, определяется удельная прочность сваренных макаронных изделий по формуле:

$$P_{уд} = P/S, \quad (6.1)$$

где P - абсолютная прочность образца сваренных изделий, г (по высоте диаграммы вычерчиваемой на приборе ПМ-2);

$P_{уд}$ - удельная прочность, г/мм;

S - площадь поперечного сечения, мм

Степень слипаемости сваренных изделий может быть определена на том же приборе ПМ-2 с помощью специального приспособления, изображенного на рисунке 6.4

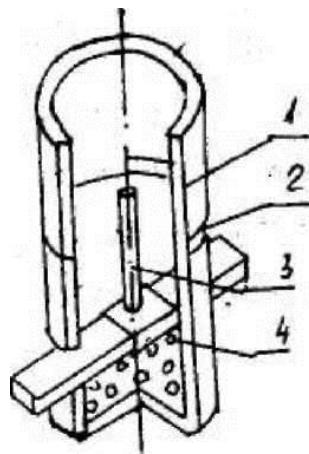


Рис. 6.4. Приспособление для определения степени слипаемости: 1 - корпус; 2 - прорезь; 3 - стержень; 4 - планка

30 г макаронных изделий варят в 400 мл воды до готовности (длинные изделия предварительно распиливают на отрезки примерно по 2 см).

Сваренные изделия сливают в цилиндрический корпус 1 приспособления, показанного на рисунке 6.4, при этом варочная жидкость сливается через перфорированное дно.

Изделия выстаиваются в течение 10 мин, после чего в боковую прорезь 2 вставляют лезвие ножа и проворачивают верхнюю часть корпуса на 360°С, срезая таким образом верхнюю часть массы сваренных изделий. Не вынимая лезвия ножа из прорези, снимают верхнюю часть корпуса, а вместе с ней, следовательно, и отрезанную верхнюю часть массы.

Затем в кольцо на стержне 3 вставляют крючок прибора ПМ-2 и определяют усилие, необходимое для вырывания стержня 3 с укрепленной на нем планкой 4 из массы сваренных изделий. Это усилие и характеризует степень слипаемости сваренных макаронных изделий.

Ход работы:

1. Определяют величину механической прочности сухих макаронных изделий на приборе ПМ-2.
2. На технических весах отвешивают 30 г макаронных изделий (длинные изделия предварительно распиливают на отрезки по 2-3 см);
3. 400 мл водопроводной воды наливают в кастрюльку (стакан из термостойкого стекла) и на электроплитке доводят до кипения;
4. После закипания воды в нее опускают подготовленные изделия, перемешивают их и при слабом кипении варят до готовности: через 5 мин после начала варки начинают определять степень готовности, а затем, если изделия еще не сварились, через каждую минуту.
5. По окончании варки изделия вместе с варочной жидкостью сливают в цилиндр сосуда для определения слипаемости, поставленный в миску.
6. Отмечают время начала отлежки изделий в сосуде.
7. Поднимают сосуд над миской и дают стечь остатку жидкости в течение 1 мин.
8. По истечении 10-ти минутной отлежки изделий в сосуде определяют степень слипаемости сваренных изделий.
9. Определяют прочность сваренных изделий на срез.

Оформление работы

- 1) Результаты определения механической прочности сухих макаронных изделий заносятся в таблицу 6.2

Таблица 6.2 - Прочности сухих макаронных изделий

Величина прочности сухих макаронных изделий, г	Првторности опыта				
	1	2	3	4	5

- 2) Результаты определения степени слипаемости сваренных изделий заносят в таблицу 6.3

Таблица 6.3 - Степень слипаемости сваренных изделий

Степень слипаемости сваренных изделий	Првторности опыта				
	1	2	3	4	5

- 3) Результаты определения удельной прочности (на срез) сваренных изделий заносят в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 - Удельная прочность (на срез) сваренных изделий

Величина прочности сваренных изделий, г					Средняя величина прочности, г	Площадь поперечного сечения сваренного изделия, г/мм ²	Средняя величина удельной прочности сваренных изделий, г/мм ²
1	2	3	4	5			

- 4) Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Каково значение прочности макаронных изделий для производителя и потребителя?
2. Какова должна быть степень прочности и слипаемости сваренных макаронных изделий?
3. Опишите работы прибора ПМ - 2.

Лабораторная работа №7

Изучение адгезионных свойств пищевых продуктов

Цель работы:

Изучить методику определения адгезионных свойств пищевых продуктов.

Теоретические сведения

1. Основные понятия и определения.

Под адгезией понимают явление прилипания различных по структуре материалов при их поверхностном контакте, в результате чего образуется так называемая адгезионная связь. Это явление очень широко распространено в технике, с ним в большинстве случаев борются как с нежелательным, хотя в некоторых процессах стремятся прилипание увеличить.

Условно адгезия делится на специфическую и механическую. Специфическая адгезия является результатом сил межмолекулярного сцепления материалов по поверхности контакта. Механическая адгезия возникает при проникновении адгезива в поры субстрата и удерживании его вследствие механического заклинивания.

На формирование адгезионной связи между пищевыми и конструкционными материалами решающее влияние оказывают их реологические свойства, шероховатость поверхности субстрата, длительность и напряжение контакта, температура адгезива и субстрата, способ и скорость отрыва, а также наличие между адгезивом и субстратом граничного слоя, нанесенного при помощи смазки, напыления или покрытия.

Сила взаимодействия между телами на границе контакта определяется уравнением:

$$P = f \cdot (P_k + P_0 \cdot S_0), \quad (7.1)$$

где f - истинный коэффициент внешнего трения;

P_k - нормальная нагрузка, Н;

P_0 - удельное усилие прилипания, Па;

S_0 - площадь контакта двух тел, м².

Введено понятие «эффективный коэффициент внешнего трения» $f_{\text{эф}}$, который вычисляется по формуле:

$$f_{\text{эф}} = P_{mp} / P_k, \quad (7.2)$$

где P_{mp} и P_k - соответственно напряжение трения и контакта, Па.

Эффективный коэффициент может быть связан с истинным коэффициентом трения следующим соотношением:

$$f_{\text{эф}} = f \cdot (1 + P_0 / P_k), \quad (7.3)$$

Отрыв пластины от продукта:

$$1 / P_0 = h / 2a + C / w_c, \quad (7.4)$$

где P_0 - адгезионное напряжение, Па;

h - толщина слоя продукта между пластинами, м;

a - коэффициент, аналогичный коэффициенту поверхностного натяжения, Н/м;

C - коэффициент пропорциональности, характеризующий темп убывания площади контакта, м²/с;

w_c - скорость увеличения отрыва, Н/с.

2. Роль адгезии и трения в процессах пищевых производств.

Адгезия пищевых материалов представляет собой прежде всего поверхностное явление, поэтому возможны следующие направления воздействия на характеристики поверхности субстрата «конструкционного материала» и поверхности адгезива «пищевого продукта»:

- подбор материала субстрата в зависимости от его функционального назначения для ослабления или усиления адгезионного взаимодействия с пищевым объектом, применение антиадгезионных материалов и покрытий или материалов, обладающих повышенной адгезионной способностью;

- создание пограничного (промежуточного) слоя путем нанесения твердо- или жидкообразного покрытия на поверхность контакта (смазка маслом или мучной заваркой, посыпка мукой или крахмалом. Создание пленки конденсата и т.д.);

- направленное изменение физического состояния поверхности адгезива (например предварительный обдув воздухом, подсушивание или какая-либо термо-влажностная обработка);

- внесение в пищевой продукт добавок (незначительное изменение рецептуры введением, например, поверхностно-активных модификаторов);

- изменение энергетических уровней поверхностей соприкосновения адгезива и субстрата (например, создание в зон контакта двойного электрического слоя путем наложения постоянного электрического поля);

Для снижения адгезии пищевых масс в промышленности широко используются различные полимерные материалы, покрытия облицовка и напыление, в результате чего повышаются эффективность технологических процессов и качество изделий. Применение полимерных материалов на пищевых предприятиях снижает прилипание пищевой массы, уменьшает затраты времени на обслуживание оборудования, улучшает внешний вид изделий и т. д.

3. Методы и приборы для измерения адгезионных характеристик.

Приборы и методы измерения адгезии основаны на разрушении адгезионного соединения путем приложения внешнего усилия. По способу приложения усилия различают методы отрыва равномерного и неравномерного и сдвига.

На величину адгезии, кроме технологических свойств самого продукта (температура, влажность, состав и т. д.) и марки конструкционного материала, влияют условия измерения - геометрические, кинематические и динамические параметры прибора. Поэтому к адгезиомерам предъявляются особые требования:

1) Показания приборов должны быть первичными, т.е. не нуждаться в предварительной тарировке на каком-либо эталонном материале и выражаться в абсолютной системе единиц;

2) Перед измерением продукт должен прижиматься к субстрату для установления контакта и удаления из него воздушных пузырьков. Чем больше усилие и продолжительность контакта, тем лучше продукт заполняет микровыступы поверхности. В пределе он контактирует со всей поверхностью, площадь которой может быть больше геометрической. Таким образом, усилие и длительность предварительного контакта должны меняться в широком диапазоне;

3) Измерения, проведенные на пластинах субстрата, имеющих различную площадь при разной толщине слоя, дают различные числовые значения адгезионных характеристик при прочих равных условиях. Поэтому должен быть шаблон для нанесения продукта заданной толщины на пластину;

4) Различные марки материала пластин и степень его обработки влияют на прочность молекулярных контактов. В приборе должна быть предусмотрена возможность замены пластин, которые изготовлены из различного материала при разной шероховатости поверхности;

5) Длительность и кинетика приложения отрывающего усилия различно влияют на распределение деформаций и усилий между пластинами, поэтому приборы должны допускать варьирование скорости приложения силы отрыва или сдвига в широком диапазоне.

Приборы для определения адгезионных характеристик по способу приложения нагрузки делят на адгезиометры с постепенным отрывом, адгезиометры с мгновенным отрывом, а также сдвигометры. При равномерном отрыве нагрузка прикладывается перпендикулярно плоскости субстрата, при этом адгезия характеризуется нормальной силой, отнесенной к единице площади контакта, т.е. нормальным напряжением. При сдвиге определяются касательные

напряжения, возникающие при относительном смещении слоев адгезива относительно субстрата. Для исследования адгезии пищевых вязкопластичных материалов используются в основном приборы, основанные на способе нормального отрыва. На таких приборах были определены адгезионные характеристики мясных полуфабрикатов, теста, муки, кондитерских масс и многих пищевых продуктов.

Описание лабораторной установки

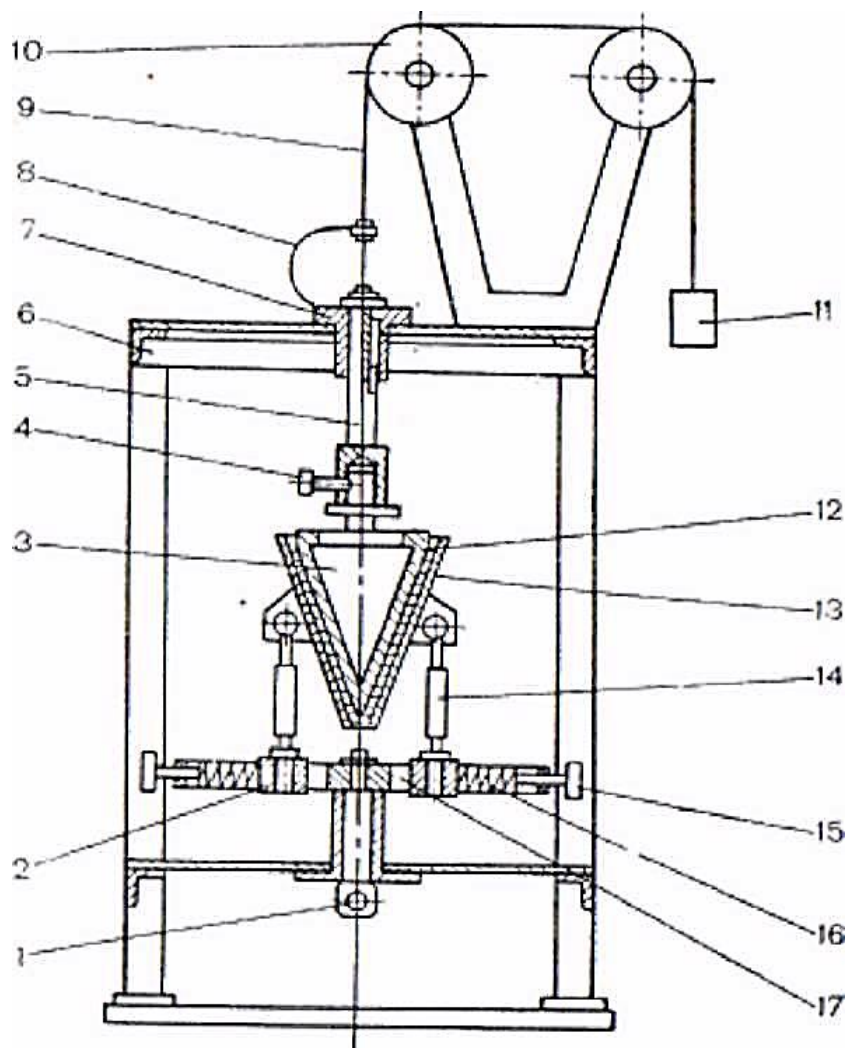


Рис. 7.1. Адгезиометр АМ-1

Прибор АМ-1 состоит из станины 6, втулки 7, вертикального штока 5, фиксатора 4, матрицы 3 с выпеченной заготовкой, блоков 10, груза 11, каретки 12, колодок 13 и датчиков, которые смонтированы на U-образной пластине 8,

связанной с нитью 9, и наклеены на гибкие стержни 14. Последние смонтированы на ползунах 2, взаимодействующих с пружинами 16.

Матрица с выпеченной тестовой заготовкой крепится к вертикальному штоку. Затем заготовка обжимается двумя полуконическими колодками. При повороте платформы 17 относительно оси 1 происходит сдвиг заготовки по отношению к неподвижной матрице. Подъем матрицы позволяет определить усилие отрыва. Адгезионные усилия замеряются с помощью тензометрических датчиков. Усилия прижима колодок к матрице задаются винтами 15.

Техническая характеристика прибора: усилие отрыва до 50 Н; крутящий момент до 2 Н*м; погрешность прибора $\pm 5\%$; рабочее напряжение 220В; частота 50 Гц; габариты (в мм): 250*250*600.

Модернизация рабочих органов прибора позволила проводить измерения при протягивании пластин из различных материалов между двумя содержащими изучаемую массу полусферами, прижимаемыми к пластине пружинами 16.

Ход работы

Провести измерения адгезионных усилий для нескольких хлебобулочных изделий (с предварительно отделенной коркой) выданных преподавателем. Измерения производить в трех повторностях, с нахождением средних значений для каждого вида изделий. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под адгезией?
2. Что понимается под специфической адгезией?
3. Что понимается под механической адгезией?
4. Что влияет на формирование адгезионной связи между пищевыми и конструкционными материалами?
5. Перечислите способы влияния на адгезию пищевых материалов.
6. Требования, предъявляемые к адгезиограммам.
7. Виды адгезиограмм по способу приложения нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Горбатов, А.В. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов [Текст] / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин и др. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 276 с.

2 Мачихин, Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов [Текст] / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.

3 Ханин, В.П. Исследование физико-механических свойств пищевых продуктов [Текст]: методические указания по курсу физико-механические свойства пищевых продуктов / В.П. Ханин, В.П. Попов, С.В. Антимонов, М.Ю. Шрейдер / - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. - 40 с.

4 Горбатов, А.В. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов: Справочник / Под ред. А.В. Горбатого. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. -296 с.

5 Рогов, И.А. Дисперсионные системы мясных и молочных продуктов [Текст] / Горбатов А.В., Свинцов В.Я. - М.: Агропромиздат, 1990. - 320 с.

6 Косой, В.Д. Совершенствование процесса производства вареных колбас [Текст] / В.Д. Косой - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 272 с.

7 Мачихин, Ю.А. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник / Под ред. Ю.А. Мачихина. - М.: Агропромиздат, 1990. - 271 с.

8 Горбатов, А.В. Технологические трубопроводы мясокомбинатов / Под ред. А.В. Горбатого.- М.: Агропромиздат, 1989. - 304 с.

9 Мачихин, Ю.А. Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов [Текст] / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. - 216 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лабораторная работа №1 Исследование реологических моделей	4
Лабораторная работа №2 Прочностные и компрессионные свойства твердых пищевых продуктов.....	10
Лабораторная работа №3 Определение вязкости жидкости методом капиллярной вискозиметрии	14
Лабораторная работа №4 Исследование вязкости пищевых масс с помощью ротационной вискозиметрии.....	23
Лабораторная работа №5 Определение коэффициентов трения пищевых материалов	28
Лабораторная работа №6 Изучение физико-механических свойств сваренных и сухих макаронных изделий	33
Лабораторная работа №7 Изучение адгезионных свойств пищевых продуктов.....	40
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	46

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г.
Подписано к печати 09.01.2015 г. Формат 60×90/16.
Уч.-изд.л. – 2,1. Усл.-п.л. – 3,0.
Тираж 100 экз. Заказ 40.

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии издательства ДальГАУ
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86