




ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра «Техника и технологии пищевых производств»

Лабораторный практикум по дисциплине

«Физико-механические свойства сырья»



Авторы
Гордеева Н. В.,
Рябов А. А.

Ростов-на-Дону, 2020

Аннотация

Лабораторный практикум предназначен для обучающихся очной, заочной форм обучения направления 19.03.02 «Продукты питания из растительного сырья», профиль «Технологические процессы и оборудование хранения и переработки зерна»

Авторы

ст. преподаватель кафедры «Техника и технологии пищевых производств»

Гордеева Н.В.,

ст. преподаватель кафедры «Техника и технологии пищевых производств»

Рябов А.А



Оглавление

Введение	4
Лабораторная работа №1	4
Определение вязкости жидкости на капиллярном вискозиметре	4
Лабораторная работа №2	11
Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса	11
Лабораторная работа №3	18
Напряжение сдвига в пластических массах	18
Лабораторная работа № 4	24
Определение силы адгезии и аутогезии сыпучих масс.....	24

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Физико-механические свойства сырья» предусматривает знакомство студентов с современными представлениями в области физико-механических свойств пищевых продуктов, участвует в формировании понимания физической сущности тех или иных характеристик, умении их оценивать и использовать на практике.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен знать: основные закономерности течения и деформации пищевых сред, математические модели для описания идеальных и реальных тел, методы и приборы для определения физико-механических свойств сырья и готовой продукции; уметь: применять основные положения инженерной реологии в расчетах технологического оборудования, применять приборы для исследования физико-механических свойств с целью изучения свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, рассчитывать производительность и мощность технологического оборудования на основе изученных свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции; владеть: методами лабораторных исследований физико-механических свойств сырья

В ходе выполнения лабораторных работ студент должен получить навыки использования стандартного оборудования и приборов для оценки физико-механических характеристик сырья и готовой продукции.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Определение вязкости жидкости на капиллярном вискозиметре

Цель работы: Определить вязкость жидкости (жидкостей) при помощи капиллярного вискозиметра.

Вискозиметр (от лат. *viscosus* — вязкий) — прибор для определения динамической или кинематической вязкости вещества. В системе единиц СГС и в СИ динамическая вязкость измеряется соответственно в пуазах (П) и паскаль-секундах (Па•с), кинематическая — соответственно в стоксах (Ст) и квадратных метрах на секунду ($\text{м}^2/\text{с}$).

капиллярные вискозиметры
ротационные вискозиметры
вискозиметр с движущимся (падающим) шариком
вискозиметр с вибрирующим зондом
вискозиметр пузырькового типа

Наиболее распространены три метода измерения вязкости газов и жидкостей:

- по расходу в капилляре (основано на законе Пуазейля)
- по скорости падающего шара (основано на законе Стокса)
- по вращающему моменту для соосных цилиндров (основано на законе течения жидкости между соосными цилиндрами, течение Тейлора)

В данной лабораторной работе исследования проводятся на капиллярном вискозиметре ВПЖ-4.

Капиллярные вискозиметры предназначены для исследования веществ с малой вязкостью, хотя в некоторых случаях их применяют и для изучения веществ с высокой вязкостью.

На капиллярных и ротационных вискозиметрах экспериментально осуществляются принципиально различные типы течения. В капиллярных вискозиметрах измерения проводят в существенно неоднородном поле скоростей деформаций и напряжений, причем время пребывания материала в капиллярах является ограниченным. В ротационных же приборах, напротив, течение происходит в поле напряжений высокой степени однородности. Кроме этого капиллярность вискозиметра имеет ещё ценный ряд преимуществ: в капилляре непрерывно подвергается сдвигу вновь поступающая жидкость, и тепловыделения уносятся с материалом, тогда как в ротационном вискозиметре один и тот же испытуемый материал находится в зазоре вискозиметра в течение всего опыта. Капиллярные вискозиметры наиболее просты по устройству. Метод определения основан на установлении зависимости между напряжением и скоростью сдвига косвенным способом - по измерении перепада давления и расходу жидкости.

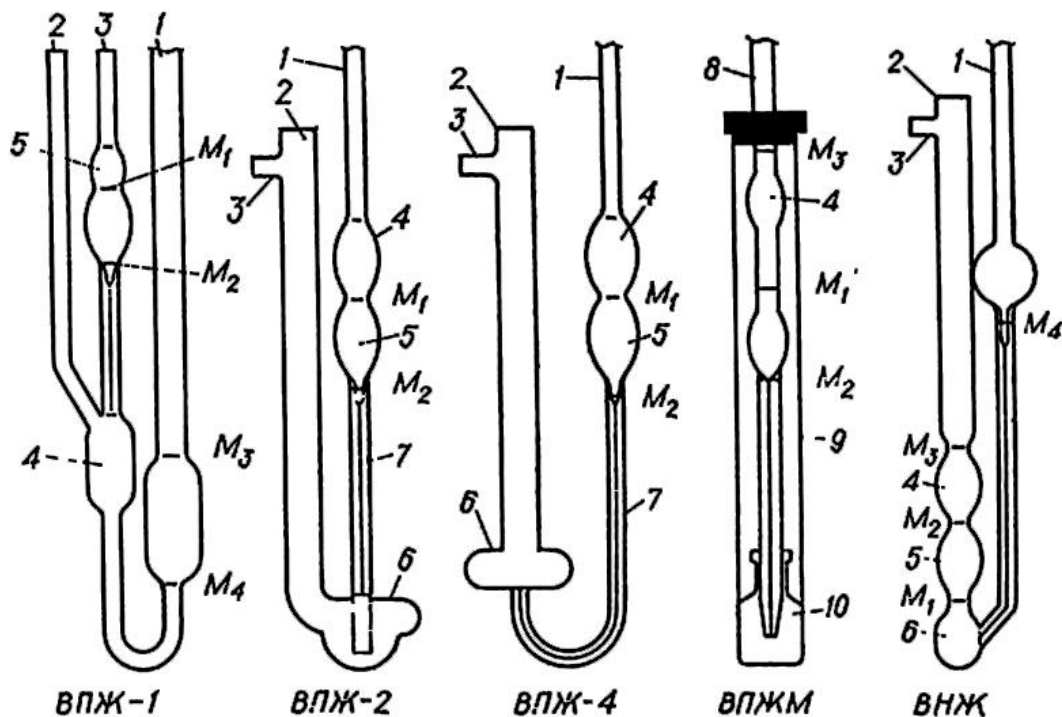


Рисунок 1 – Примеры вискозиметров стеклянных капиллярных.

1, 2 – колена прибора; 3 – отводная трубка; 4-6 – расширения (резервуары); 7 – капилляр; 8 – пипетка; 9 – пробирка-муфта; 10 – приемник; M_1, M_2, M_3, M_4 – метки.

Лабораторная работа проводится на вискозиметре стеклянном ВПЖ-4. Он предназначен для определения кинематической вязкости прозрачных жидкостей. Вискозиметры ВПЖ-4 измеряют вязкость при положительных температурах. Это наиболее точные из вискозиметров, т.к. конструкция предусматривает образование "висячего уровня" при течении жидкости. Таким образом время течения жидкости не зависит от гидростатического давления и количества жидкости, налитой в вискозиметр. Измерение вязкости основано на определении времени истечения через капилляр объема жидкости из измерительного резервуара.

Основные характеристики:

d капилляра = 0,82(мм)

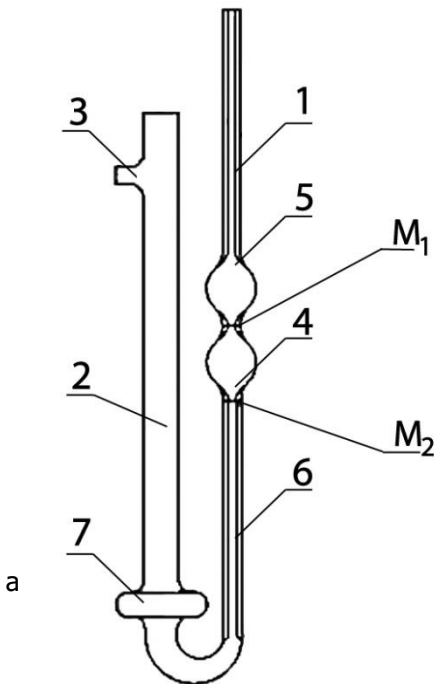
Номинальное значение постоянной $k=0,03$ (мм²/с²)

Диапазон измерений вязкости от 6 до 30 включительно ($\text{мм}^2/\text{с}$)

Методика выполнения работы и обработка результатов измерений

Накануне лабораторной работы необходимо подготовить вискозиметр. Перед определением вязкости жидкости вискозиметр должен быть тщательно промыт и высушен. Вискозиметр вначале необходимо промыть бензином, затем петролейным эфиром. После растворителя промыть водой и залить не менее, чем на 5-6 часов хромовой смесью. После этого вискозиметр промывают дистиллированной водой и сушат.

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



б

Рисунок 2 – Вискозиметр ВПЖ-4: общий вид (а) и схема (б).

Для проведения лабораторной работы необходимо на отводную трубку 3 надеть резиновый шланг (см. рис.2). Далее, зажав пальцем колено 2 и перевернув вискозиметр, опускают колено 1 в

сосуд с жидкостью и засасывают ее (с помощью груши, водоструйного насоса или иным способом) до отметки M_2 , следя за тем, чтобы в жидкости не образовывалось пузырьков воздуха.

В тот момент, когда уровень жидкости достигнет отметки M_2 , вискозиметр вынимают из сосуда и быстро переворачивают в нормальное положение. Снимают с внешней стороны конца колена 1 избыток жидкости и надевают на него резиновую трубку.

Вискозиметр устанавливают в термостат так, чтобы расширение 5 было ниже уровня жидкости в термостате. После выдержки в термостате не менее 15 минут при заданной температуре засасывают жидкость в колено 1 примерно до одной трети высоты расширения 5. Сообщают колено 1 с атмосферой и определяют время истечения опускания мениска жидкости от отметки M_1 до отметки M_2 .

Опыт проводится для воды и ля жидкости, указанной преподавателем.

Определение динамической вязкости.

Данная величина определяется по формуле:

$$\nu = \frac{g}{9,807} \cdot t \cdot k$$

где k – постоянная вискозиметра, указана в паспорте, для ВПЖ-4 $k=0,03 \text{ мм}^2/\text{с}^2$

t – время истечения жидкости между метками M_1 и M_2 , измеряется в секундах

g – ускорение свободного падения в месте, где проводится опыт, $\text{м}/\text{с}^2$. В г. Ростове-на-Дону $g=9,8085 \text{ м}/\text{с}^2$.

Таким образом, подставив в формулу значения, получим:

$$\nu = \frac{9,8085}{9,807} \cdot t \cdot 0,03 = 0,03 \cdot t$$

Определим размерность для динамической вязкости:

$$\frac{(\text{мм})^2 \cdot \text{с}}{\text{с}^2} = \frac{(\text{мм})^2}{\text{с}}$$

Определение кинематической вязкости

Данная величина определяется по формуле:

$$\eta = \nu \cdot \rho$$

где ρ – плотность исследуемой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$. Берется из справочных материалов с учетом температуры окружающей среды или определяется самостоятельно. Для этого взвешивается известный объем и производятся вычисления ($\rho=m/V$, где m и V – соответственно масса и объем в кг и м^3).

Физико-механические свойства сырья

Кинематическая вязкость измеряется в Па·с
Результаты измерений и вычислений заносятся в таблицу.

Содержание отчета:

- Цель работы
- Краткая теория
- Результаты измерений и вычислений. Вычисления.
Краткие выводы.

Таблица 1 - Результаты измерений и вычислений для определения вязкости жидкости на капиллярном вискозиметре

№ жидкости	Наименование жидкости	Плотность жидкости, ρ , кг/м ³	Температура окружающей среды, T° , °C	№ опыта	Время истечения жидкости, t, с	Постоянная вискозиметра, k, мм ² /с ²	Ускорение свободного падения, g, м/с ²	Динамическая вязкость вискозиметра, ν , мм ² /с	Динамическая вязкость вискозиметра, η , Па·с
1				1			9,8085		
				2					
				3					
				4					
				5					
				t средн.					
2				1			9,8085		
				2					
				3					
				4					
				5					
				t средн.					
3				1			9,8085		
				2					
				3					
				4					
				5					
				t средн.					

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса

Цель работы Изучение процессов переноса, определение коэффициента вязкости глицерина методом Стокса.

Вязкость – свойство жидкости оказывать сопротивление относительному сдвигу слоёв. Вязкость проявляется в том, что при относительном перемещении слоёв жидкости медленнее движущийся слой жидкости «тормозит» слой, движущийся быстрее, и наоборот. Вязкость обусловлена наличием между отдельными частицами (молекулами) жидкости сил притяжения, которые при перемещении одной части жидкости относительно другой сдерживают движение слоёв. Очевидно, что все жидкости должны быть вязкими, так как между реальными молекулами всегда существуют силы не только притяжения, но и отталкивания. Равновесие между этими силами и определяет равновесное состояние жидкости. Если один из слоёв жидкости вывести из состояния равновесия и перемещать его с некоторой скоростью относительно другого, то силы притяжения частиц будут тормозить это движение. При теоретическом описании вязкости жидкость рассматривают как непрерывную бесструктурную среду. В равновесном состоянии частицы (молекулы) будут располагаться таким образом, что равновесная сила (разность между силами притяжения и отталкивания) будет равна нулю. Если это не соблюдается, то молекулы будут перемещаться относительно друг друга до тех пор, пока вновь не наступит состояние равновесия.

Метод Стокса заключается в измерении движения шарика при его падении в исследуемой жидкости, которая обладает некоторой вязкостью. Если не происходит перемешивание этих слоев, и слои как бы скользят друг относительно друга, то движение жидкости считается ламинарным. При ламинарном течении в сечении трубы происходит постепенное уменьшение скорости от центра к стенкам. При увеличении скорости течение перестает быть ламинарным и становится беспорядочным. В каждой точке жидкости происходят беспорядочные отклонения вектора скорости от среднего значения. Такое движение носит название турбулентного.

При движении тел в вязкой жидкости возникают силы сопротивления. Происхождение этих сил можно объяснить двумя разными механизмами. При небольших скоростях, когда за телом нет

вихрей (ламинарное течение, идеальное обтекание), сила сопротивления обуславливается только вязкостью жидкости. В этом случае прилегающие к телу слои жидкости движутся вместе с телом. Но граничащие с ними слои жидкости также увлекаются в движение силами молекулярного сцепления. Так создаются силы, тормозящие относительное движение твёрдого тела и жидкости. Для тел сферической формы величину силы сопротивления определяют по формуле Стокса:

$$F=6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$$

где: η - динамическая вязкость жидкости, r – радиус шарика, v – скорость его равномерного движения.

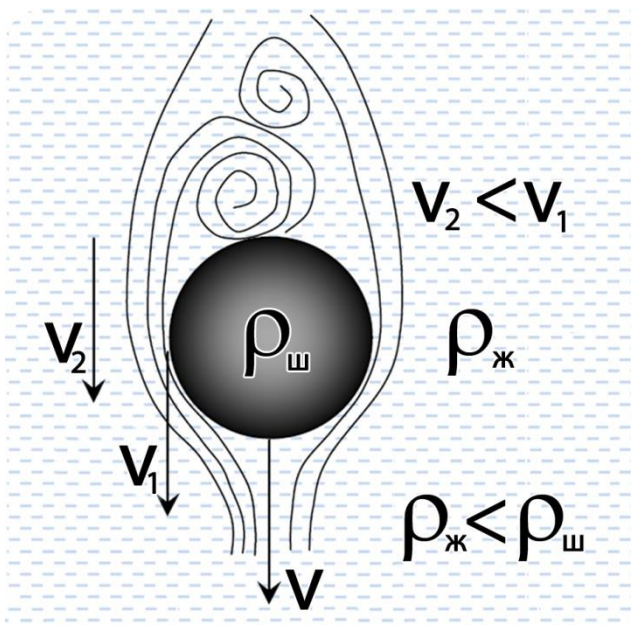


Рисунок 3 - Образование вихрей при движении тела в вязкой среде, $\rho_{ш}$ - плотность материала шарика, $\rho_{ж}$ - плотность жидкости, v_1 и v_2 – скорости слоев жидкости.

Фактическая величина допустимых скоростей зависит от размеров движущегося тела (и от вязкости жидкости).

Формула Стокса выведена в предположениях:

1. вязкая среда неограниченна и в бесконечности покоится;
2. скольжения на границе с шаром нет;
3. движение - ламинарное;

4. радиус шара велик в сравнении со средней длиной пробега молекул среды.

Второе предположение для жидкости выполняется всегда, третье – при не слишком больших скоростях и четвертое – выполняется для шариков не микроскопических размеров.

На шарик, падающий в вязкой жидкости, действуют три силы (рис. 3):

- 1) сила тяжести, для удобства обозначим как mg ,

$$mg = \rho_{\text{ш}} g V_{\text{ш}} = \rho_{\text{ш}} g \left(\frac{4}{3}\right) \pi r^3$$

- 2) сила Архимеда, равная весу жидкости в объеме шарика

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g \left(\frac{4}{3}\right) \pi r^3;$$

- 3) сила сопротивления, обусловленная вязкостью жидкости:

$$F_{\text{тр}} = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$$

где η – коэффициент вязкого трения жидкости, Ст (стоксы),
 $1 \text{ Ст} = \text{см}^2/\text{с} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}.$

r – радиус шарика

v – скорость движения шарика

Запишем уравнение движения шарика (закон Ньютона)

$$ma = mg + F_{\text{тр}} + F_A$$

Выпишем его в проекции на ось X , подставив выражение для сил

$$ma = mg - F_{\text{тр}} - F_A$$

При падении в жидкость в начале шарик падает с ускорением, и сила сопротивления растет с увеличением скорости. Через некоторое время сумма сил становится равной нулю, и далее шарик движется в жидкости с постоянной скоростью.

$$\rho_{\text{ш}} g \left(\frac{4}{3}\right) \pi r^3 - 6\pi\eta r v - \rho_{\text{ж}} g \left(\frac{4}{3}\right) \pi r^3 = 0$$

Из этого условия нетрудно выразить коэффициент вязкого трения η

$$\eta = \frac{2g}{9} (\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}}) \frac{r^2}{v} = \frac{1g}{18} (\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}}) \frac{d^2}{v}$$

где d – диаметр шарика

Скорость шарика можно определить, измеряя время t прохождения мерного отрезка L мензурки после равномерного движения шарика. Поэтому расчетная формула имеет вид.

$$\eta = \frac{g}{18} (\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}}) \frac{d^2}{L} t$$

Таблица 2 - Примерные вязкости некоторых веществ

Вещество		Вязкость, сСт (10^{-2} Ст)
Вода		1,011
Мазут топочный М-100	при 80 °С	118
	при 100 °С	50
Дизельное топливо при 20 °С		3 – 6
Печное топливо при 20 °С		< 8
Судовое топливо IFO-380	при 50 °С	380
	при 100 °С	35

Методика выполнения работы и обработка результатов измерений

Измерить массу и диаметр шарика (или шариков, если используется несколько видов). Измерить расстояние L в мензурке (обычно данная величина назначается преподавателем). Внести данные в таблицу 3.

С помощью секундомера измерить время прохождения шариком расстояния между метками А и В. Записать результат в таблицу. Для каждой жидкости и для каждого вида шариков провести опыт не менее пяти раз. Данные внести в таблицу 3. Количество и виды жидкостей, количество и виды шариков определяется преподавателем.

Диаметры шариков отличаются, и в этом случае условие движения шариков так же могут отличаться. Поэтому более корректно вычислять среднюю арифметическую ошибку для коэффициента вязкости.

$$\eta = \langle \eta \rangle \pm \Delta\eta$$

Следует отметить, что при вычислении η коэффициент А не меняется от опыта к опыту, и его следует вычислить один раз:

$$A = g(\rho_{ш} - \rho_{ж}) / 18L$$

При проведении опытов следует учесть, что величиной L_0 можно пренебречь. При выборе шарика и вида исследуемой жидкости необходимо помнить, что при $\rho_{ш} < \rho_{ж}$ проведение опыта невозможно.

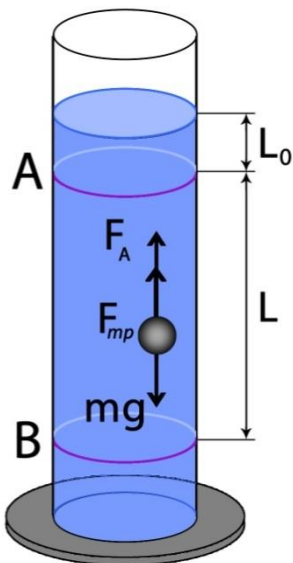


Рисунок 4 – Установка для проведения работы

Содержание отчета:

- Цель работы
- Краткая теория
- Результаты измерений и вычислений. Вычисления.
- Краткие выводы.

Таблица 3 – Результаты измерений

Характеристики шарика			Время движения шарика в различных средах, с			
			№ опыта	Исследуемая жидкость		
Описание	Масса шарика, кг	Диаметр шарика, м		Вода	Глицерин	Другое вещество (согласно заданию преподавателя)
Металлический			1			
			2			
			3			
			4			
			5			
			Среднее значение			
Пластмассовый коричневый			1			
			2			
			3			
			4			
			5			
			Среднее значение			
Пластмассовый желтый			1			
			2			
			3			
			4			
			5			
			Среднее значение			
Пластмассовый белый			1			
			2			
			3			
			4			
			5			
			Среднее значение			

Таблица 4 - Результаты вычислений

	Исследуемая жидкость								
	Вода			Глицерин			<i>Другое вещество (согласно заданию преподавателя)</i>		
Характеристики шарика	расстояние	время прохождения*	коэф-т вязкого трения	расстояние	время прохождения	коэф-т вязкого трения	расстояние	время прохождения	коэф-т вязкого трения
Металлический									
Пластмассовый коричневый									
Пластмассовый желтый									
Пластмассовый белый									
Коэффициент А									

* Берется среднее значение времени.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Напряжение сдвига в пластических массах

Цель работы: Определение предельного напряжения сдвига пластических материалов.

Предельным напряжением сдвига или пределом текучести называется минимальное напряжение, при котором происходит пластическое или вязкое течение материала. Эта физико-механическая величина характерна не только для пищевых продуктов, но и для металлов и других конструкционных материалов, и для многочисленного класса реальных материалов, в том числе и, которые по своим свойствам занимают промежуточное положение между твёрдыми упругими телами и вязкими жидкостями.

Предельное напряжение сдвига $\tau_{сд}$ – основная характеристика, определяющая начало движения материала по трубопроводам, каналам различного сечения, емкостям.

Величина $\tau_{сд}$ определяется на основе прибора, называемого коническим пластометром. Схема данного прибора была предложена акад. П.А. Ребиндером и Н.А. Семененко; ими же разработана методика определения структурно- механических характеристик пищевых продуктов на нем. Существует конический пластометр КП-3, выпускающийся серийно. Схема прибора показана на рисунке 6.



Рисунок 5 – академик П.А.Ребиндер (1898-1972)

Согласно теории, конических пластометров, разработанной академиком П.А. Ребиндером, процесс погружения конуса в продукт представляет следующее. За начальное граничное условие принята точка касания вершины конуса с поверхностью продукта. При этом его движение во время испытаний должно быть строго вертикальным. Кинетика погружения конуса характеризуется кривой и представлена на рис. 6. В момент начала погружения конуса в продукт напряжение бесконечно велико (площадь касания равна нулю), его скорость равна нулю, а ускорение соответствует ускорению силы тяжести. Поскольку сила, действующая на конус (равна массе подвижных частей системы), за все время погружения остается постоянной, а площадь соприкосновения конуса с продуктом увеличивается, то напряжение сдвига в системе конус-продукт уменьшается.

При остановке конуса ($dh/dt = 0$) погружение будет предельным, и внешняя сила уравнивается пластической прочностью структуры. Для этого случая отсчитывается предельное напряжение сдвига (отношение силы у «смоченной» части боковой поверхности конуса, рис.8) или предельное давление (отношение силы к горизонтальной площади сечения конуса, которое проходит по поверхности продукта, рис.8). Выталкивающей силой продукта (Архимедова сила) пренебрегают вследствие ее малости. Если снять полную кривую течения (рис. 7), то можно вычислить изменения эффективной вязкости. Однако прибор для этих целей обычно не используют.

При определении предельного напряжения сдвига предполагается, что продукт течет вдоль образующей поверхности конуса (рис. 8 б). Условия равновесия сил на поверхности конуса получим, проектируя на образующую конуса /движущую силу P_f и приравнявая ее силе сопротивления P'

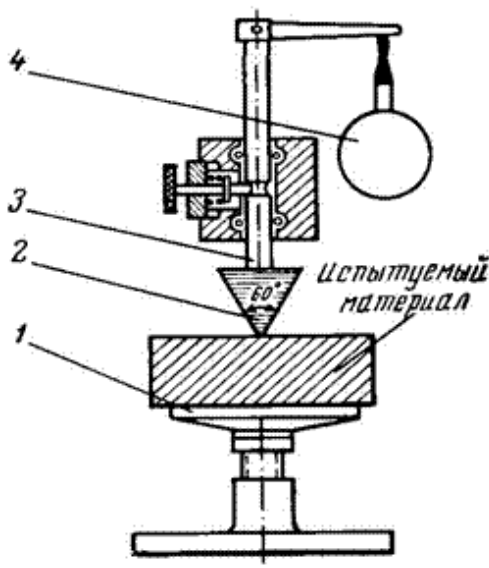


Рисунок 6. – Схема конического пластометра Ребиндера-Семененко:

1 – подъемный столик; 2 – рифленный конус; 3 – штанга; 4 – индикатор часового типа.

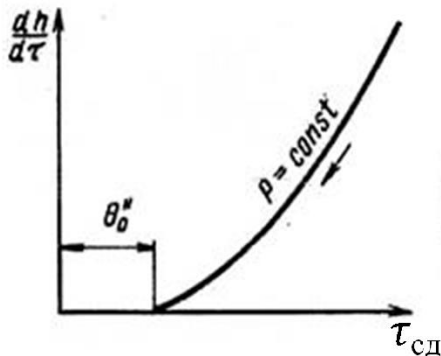


Рисунок 7 - Зависимость скорости движения конуса от напряжения сдвига

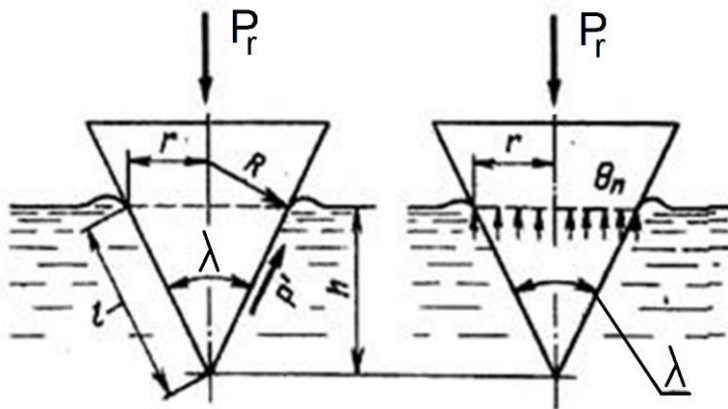


Рисунок 8- Схемы для расчета предельного напряжения сдвига (а) и предельного давления (б).

Ход работы и обработка результатов

Исследуемая масса помещается в сосуд на подъемный столик, вершина конуса приводится в соприкосновение с поверхностью массы. Конус нагружается гирями, и с помощью индикатора определяется глубина конуса до полной его остановки.

Глубина погружения в материал записывается в результаты измерений.

Величина предельного напряжения сдвига τ_0 вычисляется по максимальному погружению конуса h_{max} в исследуемый материал

$$\tau_0 = K_a \frac{P_r}{h_{max}^2},$$

где P_r - нагрузка действующая на конус, т.е. вес груза

$$P_r = M \cdot g$$

где M – масса груза, кг

g - ускорение силы тяжести, м/ с²

K_a - константа конуса, зависящая от угла при вершине;

h_{max} - величина погружения в исследуемый материал.

$$K_a = \frac{1}{\pi} \cos^2 \frac{\lambda}{2} \operatorname{ctg} \frac{\lambda}{2}$$

где λ - угол при вершине конуса.

Значение угла λ определяется из паспорта пластометра или замеряется самостоятельно.

При использовании конусов с различными углами для определения предельного напряжения сдвига многих реальных пищевых материалов в результате опытов получают различные значения τ_0 . Следовательно, величина τ_0 не инвариантна по отношению к форме конуса. В таких случаях, очевидно, определяемая характеристика является не абсолютной физической константой материала, а относительной величиной, характерной только для определённого конуса. Использование таких величин возможно при сравнении физико-механических свойств материалов или при определении иных свойств материалов, если известна связь относительной величины, например, с качественными параметрами материала.

Ошибки измерений в значительной степени зависят от точности изготовления и измерения угла при вершине конуса ($\lambda=30-60^\circ$, точность $0,1^\circ$) и от способа помещения исследуемого продукта в сосуд, исходной позиции конуса и т.д.

Продолжительность опыта составляет 180 с., время измерения должно быть больше времени периода релаксации. Количество повторностей, масса груза, количество и вид исследуемого материала выбирается согласно заданию преподавателя.

Таблица 5 - Результаты измерений и вычислений

№№	Масса груза	Нагрузка	Глубина погружения конуса в материал	Максимальная глубина погружения конуса в материал	Угол при вершине конуса	Константа конуса	Предельное напряжение
	М, кг	P_r , Н	h, мм	h_{max} , мм	λ , °	K_a , (безразмерный)	τ_0 , Па
1	1.1						
	1.2						
	1.3						
	...						
2	2.1						
	2.2						
	2.3						
	...						
3	3.1						
	3.2						
	3.3						
	...						

Содержание отчета:

- Цель работы
- Краткая теория
- Результаты измерений и вычислений. Вычисления.
- Краткие выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Определение силы адгезии и аутогезии сыпучих масс

Цель работы: Определить силы адгезии и аутогезии зерновых масс.

При проектировании и расчете механизмов и машин и технологических процессов, а также для выбора конструкционного материала и определения технологических режимов работы оборудования, необходимо знать силы взаимодействия между обрабатываемой пищевой массой и поверхностью рабочих органов.

Адгезия (липкость), определяющая поверхностные свойства пищевых масс, проявляется на границе раздела между продуктом и твёрдой поверхностью. Адгезия имеет существенное значение в процессе производства пищевых масс, особенно в тех случаях, где возможен контакт между массой и поверхностью обрабатывающей машины. В настоящее время адгезии уделяют большое внимание, особенно при проектировании нового оборудования. Адгезия пищевых масс изучена сравнительно мало, т.к. на её величину влияют многие факторы, такие как температура и влажность массы, геометрические, кинематические и динамические условия, время контактирования массы с поверхностью машины.

Частным случаем адгезии является **аутогезия** — связь между однородными конденсированными телами при их молекулярном контакте. При аутогезии сохраняется граница раздела между телами; этим аутогезия отличается от когезии, относящейся к связи между частицами внутри тела в пределах одной фазы и характеризующей прочность конденсированных тел, то есть их способность противодействовать внешнему усилию.

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

По принципу действия адгезиометры делятся на две

группы. Первая группа приборов характерна тем, что нарушение контакта происходит одновременно на всех участках площади. Во второй группе нарушение контакта происходит путём последовательного отрыва отдельных участков, т.е. расслоением. Оба метода определения адгезионной прочности нашли практическое применение. При первом методе нагрузка может быть приложена в направлении как перпендикулярном к плоскости контакта поверхностей, так и параллельном ей. Нагрузку в данном случае относят к единице площади поверхности контакта. Во втором методе нагрузку, необходимую для расслоения склейки, относят к единице длины.

Методика выполнения работы и обработка результатов измерений

Изучение адгезии

В кювету, стоящую на горизонтальной поверхности засыпается сыпучий материал заданной влажности. Сверху укладывается пластина. При помощи блоков пластина связана с системой нагружения. Постепенно необходимо увеличивать нагрузку до тех пор, пока пластина не оторвется от сыпучей массы.

$$F_{отр}^{\tau} = \mu(F_{ад}^N + P_{вд})$$

где μ - коэффициент внутреннего трения (берется из справочника)

$P_{вд}$ - усилие, действующее на пластину, Н, (определяется во время опыта)

$$F_{отр}^{\tau} = \mu F_{ад}^N + \mu P_{вд}$$

Т.е. сила адгезии составит:

$$F_{ад}^N = \frac{F_{отр}^{\tau} - \mu P_{вд}}{\mu}$$

Напряжение адгезии

$$\sigma_{адг} = \frac{F_{ад}^N}{S}$$

Количество повторностей опыта и вид исследуемых матери-

алов выбирается согласно заданию преподавателя.

Результаты измерений и вычислений заносятся в таблицу 6.

Результат лабораторной работы должен быть отражен на графике зависимости напряжения адгезии от действующего нормального напряжения.

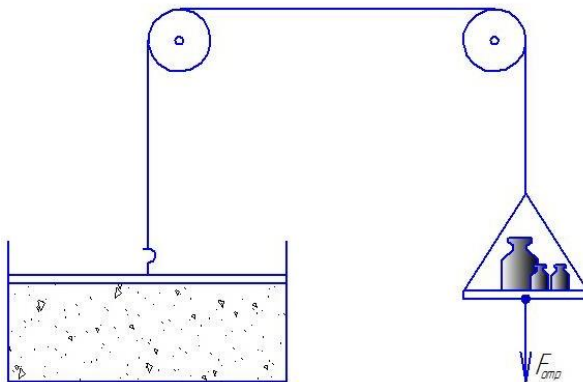


Рисунок 9 – Установка для определения параметров адгезии

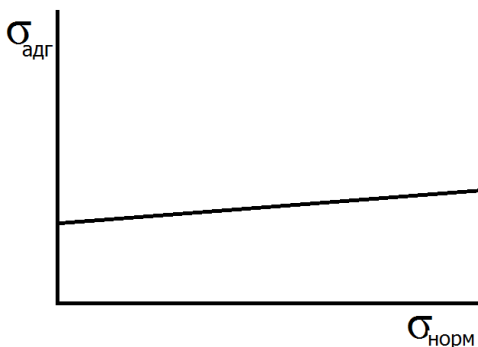


Рисунок 10 – Пример графика зависимости напряжения адгезии от действующего нормального напряжения

Таблица 6 - Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Усилие	Площадь контакта	Влажность материала	Напряжение адгезии
	$F_{отр}^{\tau}$ Н	S , м ²	W , %	$\sigma_{адг}$, Па
1				
2				
3				
n				

Изучение аутогезии

В кювету без дна (в отличии от предыдущей работы), стоящую на горизонтальной поверхности засыпается сыпучий материал заданной влажности. Сверху укладывается пластина. Как и в предыдущей части работы, при помощи блоков система связана с системой нагружения. Только в этом случае система нагружения перемещает не пластину, а кювету. Постепенно необходимо увеличивать нагрузку до тех пор, пока кювета не сдвинется по горизонтальной оси.

Количество повторностей опыта и вид исследуемых материалов выбирается согласно заданию преподавателя.

Результаты измерений и вычислений заносятся в таблицу 7.

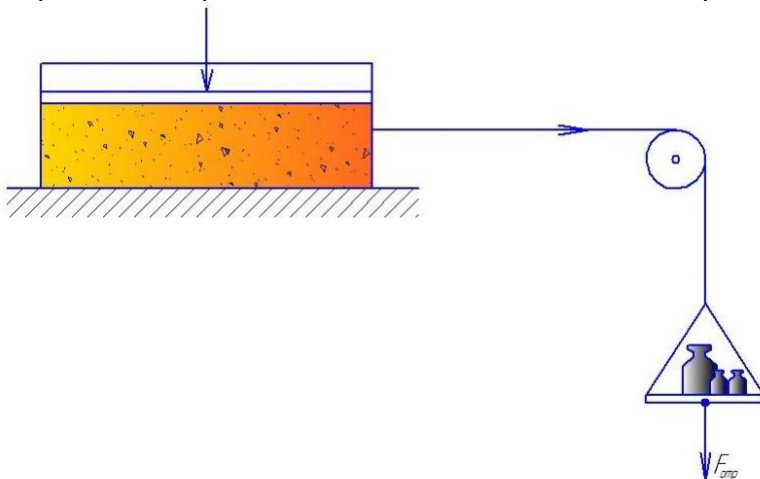


Рисунок 11 - Установка для определения параметров аутогезии

Силу отрыва $F_{отр}^{\tau}$ можно представить в виде.

$$F_{отр}^{\tau} = \mu(F_{аум}^N + P_{ад}) \quad (2)$$

где $F_{аум}^N$ - аутогезия в расчете на 1 м² сыпучего материала,

μ_{ϵ} - коэффициент внутреннего трения

$$F_{аум}^N = \frac{F_{отр}^{\tau} - \mu P_{ад}}{\mu}$$

С учетом того, что

$C_{аум} = \mu F_{аум}^N$ ($C_{аум}$ – сцепление при аутогезии), и равенство (1) можно записать:

$$M \cdot g \cdot \sin \alpha = C_{аум} + \mu_B \cdot M \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

При отсутствии аутогезии, что характерно для зерна, формула (3) принимает вид:

$$M \cdot g \cdot \sin \alpha = \mu_B \cdot M \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

откуда

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$

Значение коэффициента μ выбирается из справочника

Таблица 7 - Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Усилие	Площадь контакта	Влажность материала	Напряжение сцепления при аутогезии
	$F_{отр}^{\tau}$, Н			
1				
2				
3				
...				
n				

Содержание отчета:

- Цель работы
- Краткая теория
- Результаты измерений и вычислений. Вычисления.
- Краткие выводы.