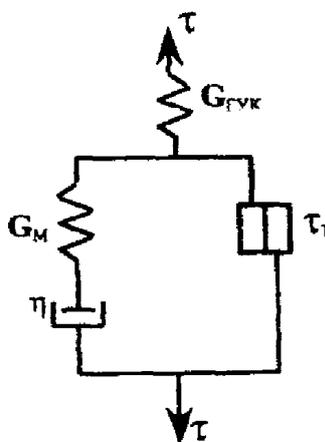


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра теоретической механики и сопротивления материалов
Предметная комиссия по машинам и аппаратам пищевых производств

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПИЩЕВЫХ МАСС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
по дисциплине "Физико-механические свойства
сырья и готовой продукции"
для студентов специальности 260601 (170600)



Курган 2005

Кафедра: "Теоретическая механика и сопротивление материалов"
Предметная комиссия по машинам и аппаратам пищевых производств

Дисциплина: "Физико-механические свойства сырья и готовой
продукции" (специальность 260601 (170600))

Составили: доцент, канд. техн. наук Коротовских В.К. (теоретическая
часть, работы № 5, 6, 7);
профессор, д - р техн. наук Пивень В.В. (общая редакция,
работа № 8).

Утверждены на заседании кафедры 10 февраля 2005 г.

Рекомендованы методическим советом университета

" 22 " марта 2005 г.

ВВЕДЕНИЕ

Пищевые массы (сырье, полуфабрикаты и готовая продукция) при заготовке, транспортировании, хранении и, особенно, в процессе переработки в продукты питания, подвергаются различным механическим воздействиям. При этом выбор технологического оборудования, назначение режимов его работы, контроль качества продуктов определяются физико-механическими, и, прежде всего, реологическими свойствами пищевых масс.

К основным реологическим свойствам материалов относятся прочность, упругость, пластичность и вязкость (внутреннее трение). Кроме того, в экспериментальной реологии (реометрии) используются их твердость, адгезия и внешнее трение с конструкционными материалами, пенетрационная способность, аэродинамические характеристики сыпучих пищевых масс.

Реология занимает важнейшее место в изучении таких процессов как: нагнетание пищевых масс шнеками, валками, плунжерами, шестернями и т.п.;

выпрессовывание масс через формирующие отверстия матриц для придания изделиям необходимой формы;

штампование пищевых масс для придания изделиям требуемой формы или нанесения рельефного рисунка;

транспортирование масс по каналам различного профиля, длины и диаметра;

смешивание двух или нескольких компонентов для получения однородных смесей;

резание полуфабрикатов и готовых продуктов;

дробление, сепарирование, брикетирование, таблетирование.

Лабораторный практикум курса «Физико-механические свойства сырья и готовой продукции» состоит из 8 лабораторных работ. В первых 4 работах (Пивень В.В., Коротовских В.К. Структурно-механические характеристики пищевых масс. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2004. – 26 с.) рассмотрены методы определения геометрических параметров частиц сырья, пористости и плотности, механических характеристик прочности пищевых продуктов. Предлагаемая часть лабораторного практикума (работы с №5 по №8) содержит описание методов определения вязкости пищевых масс, их адгезии с конструкционными материалами, фрикционных характеристик пищевых материалов, аэродинамических свойств сыпучих пищевых сред. Изложены способы измерений, методика проведения лабораторных работ с изучением устройства конструкций и приборов, порядка выполнения и обработки результатов испытаний.

Лабораторная работа № 5

Измерение вязкости пищевых масс с помощью капиллярных вискозиметров

Цель работы: освоение методики определения вязкости жидких пищевых продуктов методом капиллярной вискозиметрии.

Применяемые приборы и материалы: капиллярный вискозиметр типа ВГЖ-2, ареометр общего назначения АОН-1, стеклянный цилиндрический сосуд, мешалка, вода, сахар, соль, подсолнечное масло.

Основные сведения

Важнейшим реологическим параметром жидких пищевых масс является вязкость. Это основное свойство, позволяющее оценить их поведение при прокачивании по трубам, при формовании выдавливанием и других видах течения. По вязкости судят о степени готовности и качестве выпускаемой продукции. Вязкость или внутреннее трение характеризует способность пищевых масс оказывать сопротивление относительно смещению их слоев (сопротивление течению). Величина, обратная вязкости, называется текучестью. Вязкость зависит от температуры, давления, концентрации, величины частиц и т.д. Различают вязкость динамическую η и кинематическую ν .

Для истинно-вязких или ньютоновских жидкостей динамическая вязкость является постоянной пропорциональности между напряжением сдвига τ и его скоростью (закон Ньютона)

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}, \text{ [Па]} \quad \text{или} \quad P = \eta \cdot F \cdot \dot{\gamma}, \quad (1)$$

где η – динамическая или абсолютная вязкость, $\text{Па} \cdot \text{с} = \text{Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2 = \text{кг} / (\text{м} \cdot \text{с})$; $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига или градиент скорости, т.е. интенсивность изменения скорости по нормали к ее вектору ($\dot{\gamma} = dv/dy$), с^{-1} ; P – сила сопротивления между двумя элементарными слоями, Н; F – площадь поверхности соприкосновения этих слоев, м^2 . На практике используется единица измерения динамической вязкости η в пуазах, $\text{П} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$ и сантипуазах, $\text{сП} = 1 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Кинематическая вязкость ν служит мерой сопротивления жидкости течению под действием гравитационных сил. Ее величина равна отношению динамической вязкости к плотности ρ жидкости при той же температуре

$$\nu = \eta / \rho. \quad (2)$$

В системе СИ единицей кинематической вязкости является $\text{м}^2 / \text{с}$. Кроме того, применяется меньшая единица – стокс, $\text{Ст} = \text{см}^2 / \text{с}$ и сантистокс, $\text{сСт} = \text{мм}^2 / \text{с}$.

Исследования пищевых продуктов осуществляются в основном капиллярными, ротационными и шариковыми вискозиметрами. Капиллярные или вискозиметры истечения наиболее просты по конструкции, обладают высокой точностью, требуют малого количества исследуемой жидкости. Все образцовые приборы, по которым производится поверка остальных вискозиметров, являются капиллярными.

Капиллярные вискозиметры – лабораторные приборы для измерения кинематической вязкости, работающие по принципу истечения жидкости под действием собственной силы тяжести. С их помощью контролируют вязкость относительно чистых и однородных жидкостей, не содержащих крупных взвешенных частиц и газовых включений (сахарных растворов, мясокостного бульона, крови, топленого и кондитерского жира, растительных масел и т.п.).

Основной предпосылкой применимости капиллярных вискозиметров является режим ламинарности (параллельности слоев) движения потока, характеризуемый критерием Рейнольдса Re

$$Re = \frac{vd\rho}{\eta}, \quad (3)$$

где v – средняя скорость потока; d – внутренний диаметр капилляра. Для капиллярных вискозиметров критерий Рейнольдса не должен превышать 150.

Действие капиллярных вискозиметров основано на использовании закона Пуазейля:

$$Q = \pi \frac{r^4 \Delta P}{8l\eta}, \quad (4)$$

где Q – объемный расход жидкости (объем жидкости V , протекающий через сечение трубки в единицу времени t); r , l – радиус и длина капилляра; ΔP – перепад давления на концах капиллярной трубки.

Заменяя в уравнении (4) расход Q через соотношение V/t , получаем зависимость, связывающую динамическую вязкость с размерами капилляра:

$$\eta = \pi \frac{r^4}{8lV} Pt. \quad (5)$$

Учитывая то, что первые сомножители величины постоянные, из формулы (3) следует, что произведение перепада давления P на время t для конкретного прибора данных размеров прямо пропорционально вязкости жидкости. При истечении жидкости под действием сил тяжести, т.е. применительно к кинематической вязкости, формулу (4) можно представить как

$$v = C \cdot t, \quad (6)$$

где C – постоянная для данного прибора величина, не зависящая от природы жидкости (значение C указывается в паспорте вискозиметра).

Для нахождения величины кинематической вязкости исследуемых жидкостей в данной работе применяется капиллярный стеклянный лабораторный вискозиметр типа ВГДЖ-2 (рис.). Данный прибор представляет собой U – образную стеклянную трубку, в узком колене 1 которой имеются измерительный 2 и вспомогательный 3 резервуары сферической формы, капилляр 4 определенного диаметра. В процессе испытания жидкость из верхнего резервуара 3 между метками M_1 и M_2 резервуара 2 течет по капилляру 4 в расширение 5, которое соединено с широким коленом 6.

Если необходимо контролировать значения вязкости при различных заданных температурах, то капиллярный вискозиметр погружают в термостат с водой, в котором температура может меняться и поддерживаться на любом желательном уровне.

Для определения динамической вязкости кроме времени истечения необходимо знать величину плотности пищевых масс. Как следует из формул (2) и (5), при сравнении двух жидкостей (исследуемой и эталонной) в одной и той же системе под одинаковым напором время истечения через капилляр зависит только от их плотностей и коэффициентов динамической вязкости:

$$\eta_1/\eta_2 = \rho_1 t_1 / \rho_2 t_2. \quad (7)$$

Если жидкость с известной вязкостью, например воду, взять в качестве эталона, то уравнение (7) может быть использовано для расчета динамической вязкости любой другой пищевой массы, испытываемой параллельно в тех же условиях

$$\eta_1 = \eta_v \rho_1 t_1 / \rho_v t_v, \quad (8)$$

где η_1 , ρ_1 , t_1 – динамическая вязкость, плотность и время истечения исследуемой жидкости; η_v , ρ_v , t_v – эквивалентные показатели воды, соответственно. Для нормальной температуры (20^0 C) эквивалентные показатели воды равны: вязкость $\eta_v = 1,002$ мПа·с (1 мПа·с = 10^{-3} Па·с); плотность $\rho_v = 0,9982$ г/см³.

Порядок выполнения работы

1. Отмеренный объем (30 см³) исследуемой жидкости влить через широкое колено 6 в нижнее расширение 5 вискозиметра. В данной лабораторной работе рекомендуется начать с измерения вязкости воды, широко применяемой при производстве пищевых продуктов и в качестве эталонной жидкости. Затем изменить вязкость воды за счет введения сахара и соли. Для сопоставления измерить вязкость другой пищевой массы, например, подсолнечного масла.

2. Надеть на узкое колено 1 резиновую трубку с зажимом (краном).

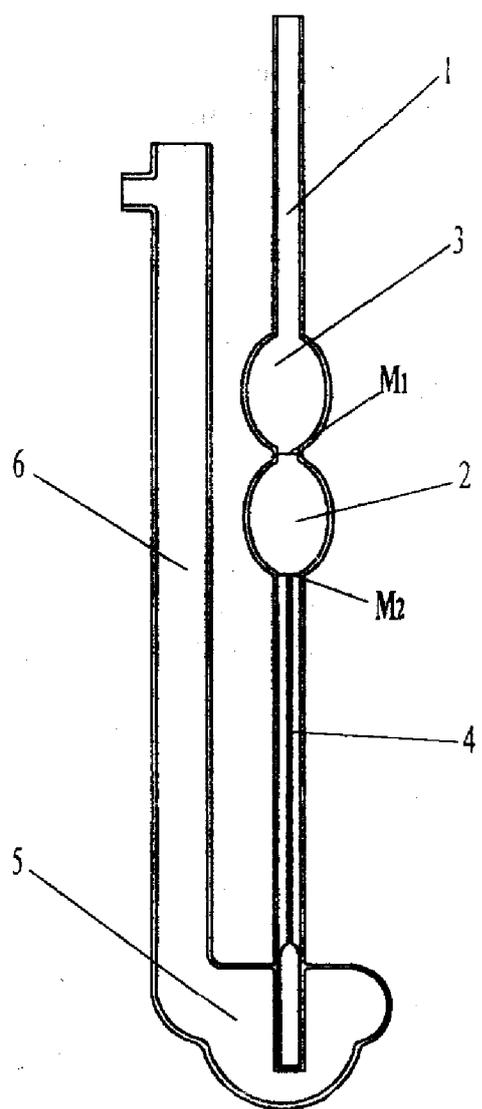


Рис. Капиллярный вискозиметр ВПЖ-2

3. Используя эту трубку, с помощью насоса, груши или иным другим способом втянуть жидкость в верхний резервуар 3 так, чтобы ее уровень был выше метки M_1 примерно на одну треть высоты резервуара. При этом в капилляре не должно быть пузырьков воздуха и разрывов в испытуемой жидкости.

4. Открыть зажим резиновой трубки, т.е. соединить с атмосферой колесо 1 и наблюдать за протеканием пищевой массы в вискозиметре. Когда уровень массы достигнет верхней отметки M_1 , включить секундомер и остановить его при достижении нижней метки M_2 . Записать время истечения жидкости t между метками вискозиметра.

Измерения повторить еще 2 раза. Вычислить среднее арифметическое трех значений времени t_{cp} в секундах (с).

5. Определить кинематическую вязкость в (mm^2/c) применяемой пищевой массы по формуле (6) при среднем значении времени и конкретном значении постоянной C :

$$v = t_{cp} \cdot C.$$

Для данного прибора постоянная (приведенная к местному ускорению свободного падения) $C = 0,00916 mm^2/c^2$.

6. Подготовить водные растворы сахара и соли с массовыми долями $\omega_1 = 20\%$ и $\omega_2 = 40\%$ на объем в $30 cm^3$ жидкости. При приготовлении использовать фильтр. Повторить опыт с этими растворами.

7. Измерить кинематическую вязкость подсолнечного масла.

Результаты испытаний представить в таблице 1.

8. С помощью ареометра (денсиметра) общего назначения АОН-1 ГОСТ 18481-81 определить плотность подсолнечного масла (ожидаемая плотность масла и соответствующие пределы измерений шкалы ареометра - $0,90...0,98 g/cm^3$):

- подсолнечное масло налить без вспенивания в стеклянный цилиндрический сосуд. Величина внутреннего диаметра цилиндра должна быть не менее двух диаметров корпуса денсиметра, а высота - несколько больше его длины. Цилиндр перед заполнением промыть теплой водой, насухо вытереть чистым полотенцем и сполоснуть испытуемой жидкостью. Для исключения вспенивания, жидкость при наполнении направлять на стенки, а не на дно. Если пена все же образовалась, ее необходимо удалить фильтровальной бумагой (для удаления пены маловязкой жидкости часто бывает достаточным хлопнуть по верхней кромке цилиндра);

- исследуемую массу тщательно перемешать стеклянной или металлической мешалкой, длина которой превышает высоту цилиндра. Во время перемешивания мешалку не вынимать из сосуда, чтобы в жидкость не попал воздух;

- удерживая за тонкий стержень прибора чистый сухой денсиметр плавно опустить (вертикально) в масло так, чтобы он не задевал стенок ци-

цилиндра. После того как ареометр погрузится в жидкость настолько, что штрих шкалы, соответствующий ожидаемой средней величине плотности, окажется выше на 3-5 мм выше уровня масла, прибор медленно отпустить. Ареометр должен плавать в вертикальном положении, не соприкасаясь со стенками цилиндра;

- выдержать в жидкости 2-3 мин для выравнивания температур масла и прибора;

- зафиксировать показание плотности по шкале денсиметра (без учета мениска).

9. Используя величину плотности и опытные данные измерения времени истечения $t_{\text{ср}}$ испытываемой и эталонной жидкостей (табл. 1), рассчитать по формуле (8) динамическую вязкость подсолнечного масла. Принять значения динамической вязкости и плотности воды для нормальной (20°C) температуры: $\eta_{\text{в}} = 1,002 \text{ мПа}\cdot\text{с}$; $\rho_{\text{в}} = 0,9982 \text{ г/см}^3$. Полученные данные представить в таблице 2.

Для учета влияния температуры на вязкость, необходимо после выполнения пунктов 1 и 2 установить вискозиметр с исследуемой жидкостью на штативе в строго вертикальном положении, полностью погрузив расширение 5 и резервуары 3 и 4 в термостат. Подогреть до требуемой температуры и выдержать при ней в термостате не менее 15 минут. Далее опыт проводить по пунктам 3-5.

Пересчет плотности жидкости ρ_t , измеренной при некоторой температуре $t, ^{\circ}\text{C}$, на плотность ρ_{20} при нормальной температуре, может быть осуществлен по следующей формуле

$$\rho_{20} = \rho_t [1 - \beta(20 - t)],$$

где β – средний коэффициент объемного температурного расширения жидкости в исследуемом интервале температур, $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Внимание. При работе с хрупкими стеклянными вискозиметрами, ареометрами следует быть осторожными, чтобы не допустить поломки приборов. После проведения опыта или при смене пищевых масс необходимо промывать капилляр вискозиметра, используемую посуду.

В отчете о проведенной работе следует представить:

1. Название и цель работы.
2. Схему применяемого вискозиметра.
3. Испытываемые жидкости.
4. Результаты опыта (таблицы 1 и 2).
5. Выводы.

Таблица 1

Результаты испытаний по определению кинематической вязкости

Испытываемая жидкость		Время истечения t_i , с	Среднее значение t_{cp} , с	Кинематическая вязкость ν , мм ² /с
Вода				
Водный раствор сахара	$\omega = 20\%$			
	$\omega = 40\%$			
Водный раствор соли	$\omega = 20\%$			
	$\omega = 40\%$			
Подсолнечное масло				

Таблица 2

Величины измерения плотности и
расчета динамической вязкости подсолнечного масла

Плотность ρ , г/см ³	Динамическая вязкость η , мПа·с

Контрольные вопросы

1. Какие свойства жидкости характеризует ее вязкость?
2. Чем динамическая вязкость отличается от кинематической? Их размерность?
3. Сформулируйте закон Ньютона для истинно-вязких жидкостей.
4. На каком законе основано действие капиллярных вискозиметров? Условие его применимости?
5. Объясните принцип работы капиллярного вискозиметра, используемого в лабораторной работе.
6. Как массовая доля соли и сахара влияет на вязкость их водных растворов?
7. Каким образом с помощью эталонной жидкости можно определить величину динамической вязкости пищевых масс?

Лабораторная работа № 6

Измерение адгезии пищевых масс с конструкционными материалами

Цель работы: определить прочность адгезии упругопластических пищевых масс (на примере теста) с конструкционными материалами, используемыми в пищевой промышленности.

Применяемые приборы и материалы: адгезиометр, тесто.

Основные сведения

Адгезия или прилипание наблюдается на всех стадиях технологического процесса – при транспортировке и переработке сырья, на промежуточных стадиях, при упаковке и хранении готового продукта. Для повышения эффективности работы технологического оборудования необходимо учитывать прилипание пищевых масс (сырья, полуфабрикатов и продуктов питания) к поверхностям транспортеров, трубопроводов, шнеков, арматуры, различных емкостей и т.п.

Адгезией называют поверхностное явление, характеризующее величину взаимосвязи двух разнородных тел на границе раздела, например пищевого продукта и конструкционного материала, при их контакте. Адгезия пищевых масс имеет свои особенности и зависит от их физико-химических свойств. В связи с этим различают три группы масс – жидкие, сыпучие и упруго-пластические. В настоящей лабораторной работе оценивается адгезионная способность теста, которое относится к упруго-пластическим массам. Такие массы, как и жидкие, образуют на гладких поверхностях сплошную пло-

щадь контакта, только за более длительный период времени, не растекаясь и сохраняя компактную форму. Кроме адгезии двух разнородных тел на границе их раздела, существует когезионное взаимодействие, при котором учитывается связь только внутри данного пищевого продукта.

На формирование адгезии между пищевым и конструкционным материалами основное влияние оказывают их реологические свойства, зависящие от вида и состояния материалов; длительность и напряжение контакта; способ и скорость отрыва; шероховатость поверхностей и наличие между ними промежуточного слоя.

Адгезия проявляется в процессе контакта. Для этого пищевой продукт подводят к поверхности конструкционного материала и плавно сжимают силой, называемой усилием контакта P_k , до полного соприкосновения. Выдерживают в контакте определенное время.

Приборы и методы измерения адгезии основаны на разрушении адгезионного соединения путем приложения внешнего усилия. По способу приложения усилия различают методы равномерного и неравномерного отрыва и сдвига. Для определения адгезии упругопластических масс используются в основном способы равномерного нормального отрыва с фиксацией усилия отрыва $P_{отр}$. В связи с этим адгезия упругопластических пищевых масс оценивается величиной адгезионного напряжения (прочности адгезии) $\sigma_{адг}$ - силы при которой происходит отрыв массы от поверхности $P_{отр}$, отнесенной к единице площади контакта F_k

$$\sigma_{адг} = P_{отр} / F_k \quad (1)$$

Определение фактической площади контакта вызывает большие затруднения. В связи с этим в качестве площади контакта F_k принимают обычно площадь поверхности конструкционного материала.

Разделение контактирующих тел может быть по границе контакта (адгезионный отрыв), по слою продукта (когезионный отрыв) и смешанный (адгезионно-когезионный отрыв). Для пищевых продуктов чистый адгезионный отрыв наблюдается редко, поэтому в опытах усилие отрыва определяют без конкретизации его вида.

Для измерения адгезии используются приборы, называемые адгезиометрами. Применяемый в лабораторной работе, адгезиометр (рис.1) состоит из основания 1 со стойкой 2, на которой закреплены индикатор часового типа 3, гибкий элемент 4 и кронштейн 5. На основание 1 может устанавливаться сменный подъемный столик 6 с емкостью 7 для пищевого продукта 8. Подъем или опускание столика осуществляется с помощью винта 9. В отверстии кронштейна 5 свободно подвешен шток 10 с грузом 11 весом P , который предназначен для создания напряжения предварительного контакта. При этом груз 11, соприкасаясь со стержнем 12, не оказывает на него давления.

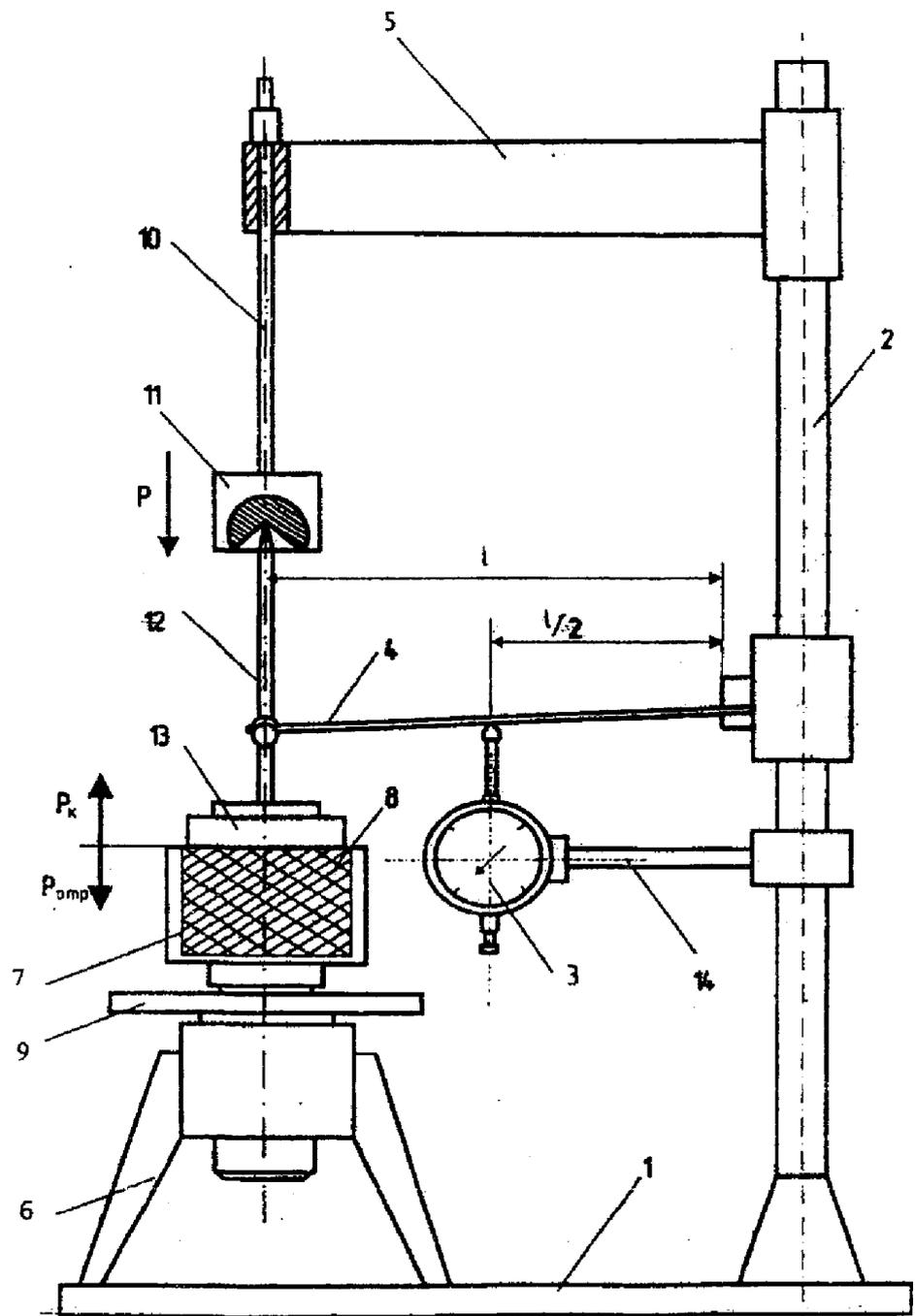


Рис.1. Схема адгезиометра

На стержне 12 могут закрепляться диски испытываемых конструкционных материалов 13. Стержень 12 шарнирно соединен с гибким стальным элементом 4 консольного типа. К среднему сечению элемента с натягом установлен на кронштейне 14 индикатор 3, позволяющий найти значение перемещения сечения при изгибе. В целом под действием всех сил (и контакта P_k , в том числе) гибкий элемент 4 находится в равновесии, которое может измениться только при воздействии на элемент усилия отрыва $P_{отр}$.

Для нахождения величины усилия отрыва из опыта используем формулу прогиба среднего сечения Y_B консольной балки 4 длиной l (рис. 2):

$$Y_B = \frac{5P_{отр} l^3}{48EJ_{н.о.}}, \quad (2)$$

где $P_{отр}$ — усилие отрыва; $EJ_{н.о.}$ — жесткость поперечного сечения гибкого элемента при изгибе. Для вывода зависимости (2) могут быть использованы известные из курса сопротивления материалов интеграл Мора или правило Верещагина.

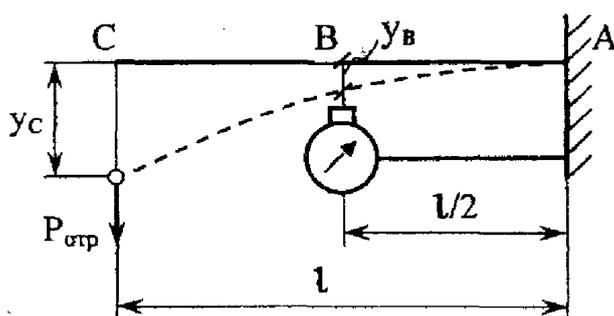


Рис. 2. Схема деформации гибкого элемента

Тогда, при известном значении Y_B , усилие отрыва продукта от конструкционного материала (определяемое в сечении C) будет равно

$$P_{отр} = \frac{48EJ_{н.о.} \cdot Y_B}{5l^3}. \quad (3)$$

Порядок выполнения работы

1. Замерить длину l гибкого элемента 4, размеры его прямоугольного поперечного сечения b и h . Вычислить осевой момент инерции сечения относительно нейтральной оси $J_{н.о.} = \frac{bh^3}{12}$.

2. В емкость 7 сменного столика 6 уложить тесто, наполнив емкость "с верхом".

3. Взять диск 13 испытываемого конструкционного материала. В данной лабораторной работе предлагается оценить адгезионную способность к тесту таких материалов как пищевой алюминий, резина и фторопласт. Замерить диаметр диска d , вычислить его площадь. Принять найденную величину площади равной площади контакта F_k .

4. Закрепить диск 13 на стержне 12.

5. Установить столик на основание 1 под диском 13.

6. С помощью кронштейна 14 создать предварительное натяжение индикатора 3. Зафиксировать его нулевое положение, отметив число полных оборотов натяжения (не менее двух).

7. Вращая винт 9 столика, сжать тесто до полного соприкосновения с поверхностью диска 13. Выдержать в контакте в течение одной минуты. При этом гибкий элемент 4 должен находиться в первоначальном состоянии, т.е. усилие контакта P_k не должно превышать веса P груза 11 при нулевом показании индикатора 3. Если равновесие элемента будет нарушено, вес груза следует увеличить.

8. Приложить к элементу 4 изгибающую нагрузку. Медленно раскручивая винт 9 и, наблюдая за отклонением стрелки индикатора 3, опускать емкость 7 до тех пор, пока не произойдет адгезионного или когезионного отрыва теста от диска 13 конструкционного материала (когда стрелка индикатора 3 начнет перемещаться в обратную сторону).

9. Зафиксировать показание индикатора в момент отрыва, равное величине прогиба $U_{в}$ консольной балки 4.

10. Опыт повторить еще 2 раза. Вычислить среднее арифметическое трех измерений прогиба $U_{в}$.

11. Рассчитать по выражению (3) усилие отрыва $P_{отр}$, используя среднее значение прогиба и модуль продольной упругости для стали $E = 2 \cdot 10^5$ МПа. При расчетах рекомендуется учесть, что $1 \text{ МПа} = 1 \text{ Н/мм}^2$.

12. Вычислить по формуле (1) величину адгезионного напряжения $\sigma_{адг}$.

13. Заменить конструкционный материал (диск 13). Определить для него прогиб, усилие отрыва и прочность адгезии.

14. Проанализировать и представить в таблице результаты испытаний.

Результаты опыта

Конструкционный материал	Прогиб $U_{\text{пi}}$, мм	Средний прогиб $U_{\text{в}}$, мм	Усилие отрыва $P_{\text{отр}}$, Н	Площадь контакта $F_{\text{к}}$, мм ²	Напряжение адгезии $\sigma_{\text{адг}}$, МПа

Отчет о работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Испытываемые конструкционные материалы и пищевой продукт.
3. Схему определения усилия отрыва (рисунок 2).
4. Длину l и размеры поперечного сечения b , h гибкого элемента.
5. Величину осевого момента инерции поперечного сечения $J_{\text{н.о.}}$.
6. Диаметр диска испытываемого материала d .
7. Площадь контакта $F_{\text{к}}$.
8. Результаты опыта (таблицу).
9. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называется адгезией? На какие три группы подразделяются пищевые массы с точки зрения их адгезионной способности?
2. Чем адгезионное взаимодействие отличается от когезионного?
3. С какой целью прикладывается усилие предварительного контакта?
4. Как различаются методы измерения адгезии по способу приложения усилия разрушения адгезионного соединения?
5. По какой формуле рассчитывается прогиб среднего сечения консоль-

ной балки длиной l при изгибе? Как она получена?

6. Запишите формулу для вычисления адгезионного напряжения.
7. Объясните принцип работы адгезиометра.

Лабораторная работа № 7

Определение фрикционных характеристик пищевых материалов

Цель работы: экспериментальное определение статических коэффициентов трения скольжения зерновых масс и хлебных продуктов.

Применяемые приборы и материалы: прибор для измерения трения скольжения, сыпучие пищевые массы (зерна пшеницы или мука), хлебные продукты (корка, мякиш, сухарь), тесто, вода, подсолнечное масло.

Основные сведения

Во всех механических и термомеханических процессах пищевых производств происходит контактное взаимодействие обрабатываемого продукта с поверхностью рабочих органов машин, устройств и аппаратов. Учет фрикционных характеристик пищевых масс необходим при изучении и совершенствовании многих технологических процессов и позволяет правильно выбирать конструкционные материалы и кинематические схемы оборудования, сократить непроизводительные материальные затраты.

Здесь, в качестве примера, можно привести гравитационный (самотечный) транспорт, состоящий из системы труб, по которым продукты перемещаются от выхода из одной машины до входа в другую. К самотечным трубам предъявляются определенные требования: они должны иметь конкретный угол наклона для каждой пищевой массы; быть износостойкими, особенно в местах изменения направления ее движения; не забиваться продуктом, не выделять пыль и т.д. Данные о величинах углов наклона самотечных труб, обеспечивающих перемещение различных пищевых масс, приводятся в соответствующей литературе. Причем, для каждой пары «продукт – материал рабочего органа» указывается две цифры: меньшая - для продуктов, имеющих начальную скорость, большая – без начальной скорости. Так, для самотечных труб из оцинкованной стали углы наклона в зависимости от перемещаемых пищевых масс имеют следующие величины (град): зерно - 24...27; средняя крупка - 31...34; сортовая мука - 39...42; отруби - 32...35.

Коэффициенты трения пищевых материалов в зависимости от их реологических свойств, состояния фрикционных поверхностей определяются различными методами. Классический тип прибора для измерения силы

внешнего трения представляет собой пару тел, соприкасающихся плоскими поверхностями, площадь которых может быть от долей квадратных миллиметров до десятков квадратных сантиметров. При этом одно из тел смещается относительно другого. Сила смещения (трения) измеряется тензометрическими, динамометрическими или другими датчиками. Для малых скоростей трения реализуется прямолинейное смещение поверхности. Известные методы определения коэффициента трения делятся на три группы - при поступательном перемещении продукта относительно плоскости, вращение плоскости относительно неподвижного продукта и вращение плоскости относительно гибкого продукта.

Сопротивление, возникающее при скольжении одного тела по поверхности другого, называется трением скольжения. Для трения скольжения установлены следующие закономерности и соотношения :

1. Сила трения скольжения $P_{тр}$ находится в общей касательной плоскости соприкасающихся тел и направлена в сторону, противоположную направлению скольжения тела под действием активных сил. Модуль силы трения покоя заключен между нулем и ее максимальным значением $P_{тр. макс}$, достигаемым в момент начала движения

$$0 \leq P_{тр} \leq P_{тр. макс} \quad (1)$$

2. Максимальная сила трения скольжения при прочих равных условиях не зависит от площади соприкосновения трущихся поверхностей.

3. Максимальная сила трения скольжения пропорциональна нормальному давлению N , которое прижимает одно тело к другому, т.е.

$$P_{тр. макс} = f \cdot N, \quad (2)$$

где f - коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом трения скольжения (безразмерный). Коэффициент трения скольжения зависит от материала, физического состояния трущихся поверхностей (шероховатости, влажности, температуры и других условий) и наличия смазки между ними.

Пусть пищевой продукт (рис.) лежит на плоской и однородной по своим свойствам поверхности 1, угол наклона α которой может изменяться. На продукт действуют три силы: вес P , сила трения скольжения $P_{тр.}$, направленная вдоль плоскости соприкосновения в сторону, противоположную относительному движению и реакция N , перпендикулярная к этой плоскости, по величине равная нормальному давлению:

Для равновесия продукта (влиянием опрокидывающего момента пренебрегаем) необходимо, чтобы удовлетворялось равенство

$$P_1 = P_{тр.} \quad (3)$$

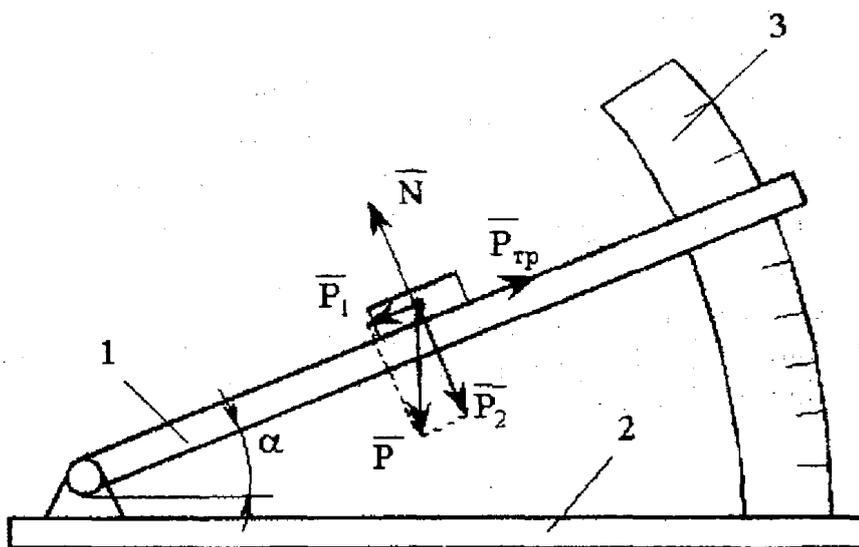


Рис. Схема прибора для определения трения скольжения

Наблюдения показывают, что равновесие возможно, пока угол наклона α не превышает некоторого предельного значения (обозначим его φ), т.е. пока

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{tg} \varphi. \quad (4)$$

При превышении угла φ продукт начнет двигаться вниз по плоскости. Тот минимальный угол наклона поверхности, при котором начинается скольжение или нарушается состояние равновесия, называют углом трения покоя $\alpha_{\text{тр}}$ для данной пары материалов. При этом тангенс угла трения покоя равен измеряемому в работе коэффициенту трения. Очевидно, что, определяя опытным путем предельное значение угла α , можно найти величину угла φ и величину коэффициента трения скольжения покоя

$$\operatorname{tg} \varphi = f. \quad (5)$$

Прибор для определения коэффициента трения скольжения (рис.) представляет собой наклонную поверхность 1, которая может поворачиваться вокруг шарнира O, связанного с неподвижной горизонтальной станиной 2. Плоскость 1 может быть установлена и закреплена под требуемым углом при помощи дугообразной линейки 3, на которой нанесены градусные деления. Плавное изменение угла наклона поверхности 1 позволяет найти тот угол φ , при котором продукт вышел из состояния покоя (равновесия) и, соответственно, коэффициент трения.

Для сыпучих пищевых масс вводится понятие внутреннего коэффициента трения. Внутреннее трение возникает при взаимном перемещении час-

тиц, т.е. внутри сыпучей массы. На его величину основное влияние оказывает аутогезия (связь между частицами сыпучей массы).

Хлеб и сухари по своим адгезионным (аутогезионным) и фрикционным свойствам иногда сопоставляют с сыпучими пищевыми массами. Это объясняют следующим. Поверхность хлеба неровная, имеет выступы и выемы. У черствого хлеба на ней образуются крошки. Сама поверхность среза хлеба в некотором смысле подобна слою частиц. Аналогично несвязным сыпучим массам основным показателем взаимодействия поверхностей конструкционных материалов и хлеба будет коэффициент внешнего трения, определяемый в данной лабораторной работе.

Порядок выполнения работы

1. Установить незначительный (градусов 5-10) угол наклона α поверхности 1 (рис.).

2. Закрепить на поверхности пластину испытываемого конструкционного материала (сталь, текстолит, ДВП, резину; допускаются и другие материалы).

3. Положить на пластину хлебную корку.

4. Плавнo увеличивая угол наклона α , определить его минимальную величину φ , при которой корка начнет скользить по пластине.

Для статистической достоверности опыт повторить еще два раза.

5. Вычислить, как среднее арифметическое трех измерений, тангенс угла $\operatorname{tg} \varphi$, равный коэффициенту трения скольжения f для данной пары "конструкционный материал - пищевой продукт".

6. Найти для этого же конструкционного материала коэффициент трения хлебного мякиша, сухаря, теста (или других пищевых масс, назначенных по усмотрению преподавателя). Для сопоставимости результатов испытаний их размеры должны быть соизмеримы.

7. Установить пластину с другим конструкционным материалом.

Определить для нее коэффициенты трения скольжения применяемых пищевых продуктов.

8. Осуществить измерения для всех рассматриваемых в работе поверхностей скольжения.

9. На примере стальной пластины рассмотреть влияние на коэффициент трения воды и подсолнечного масла. Для этого найти коэффициенты трения корки, мякиша, сухаря и теста со стальной пластиной, смоченной в воде и смазанной маслом.

10. Результаты испытаний представить в таблице.

Сделать выводы.

Результаты испытаний

Конструкционный материал	Пищевой продукт	Угол наклона φ_i , град			Средний угол φ , град	Коэффициент трения $f = \tan \varphi$

Отчет по работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Испытываемые конструкционные материалы и пищевые массы.
3. Линейные размеры продуктов.
4. Схему прибора.
5. Результаты испытаний (таблицу).
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой классический тип прибора для измерения силы внешнего трения?
2. Перечислите основные методы определения коэффициентов трения скольжения.
3. Что называется трением скольжения?
4. Какие требования предъявляются к гравитационному (самотечному) транспорту?
5. Какие закономерности установлены для трения скольжения?
6. Чему равен коэффициент трения скольжения и от чего он зависит?
7. Каким образом в данной лабораторной работе определялся коэффициент трения скольжения?

Лабораторная работа № 8

Определение аэродинамических характеристик сыпучих пищевых масс

Цель работы: опытным путем определить скорость витания и коэффициент парусности сыпучих пищевых масс на примере зерновой смеси пшеницы.

Применяемое оборудование и материалы: парусный пневмоклассификатор, весы, зерновая смесь.

Основные сведения

При очистке зерна производится выделение из зерновой смеси примесей (слабых, неразвитых зерен, пленок, оболочек, соломы, кусков стебля, так называемых отноров), отличающихся от основной культуры. При сепарировании зерновые массы разделяются на фракции, различающиеся физически-

ми и геометрическими размерами. Принцип воздушной очистки и сепарации основан на различии аэродинамических свойств частиц разделяемых компонентов и осуществляется, как правило, в вертикальном восходящем воздушном потоке. Основными аэродинамическими характеристиками частиц смеси, определяющими ее делимость в потоке, являются коэффициент парусности и критическая скорость или скорость витания.

Под парусностью понимают способность частиц сопротивляться воздушному потоку. Эту способность при очистке и сепарировании зерновых смесей наиболее часто характеризуют коэффициентом парусности.

В восходящем потоке воздуха каждая частица зерновой смеси находится под действием аэродинамической силы сопротивления воздушной среды и силы тяжести.

При турбулентном режиме движения воздушного потока сила сопротивления R в основном зависит от динамического воздействия потока на частицу и ее величина может быть рассчитана по формуле Ньютона

$$R = c \cdot S_m \cdot \frac{\rho v_{отн}^2}{2}, \quad (1)$$

где c – коэффициент аэродинамического сопротивления, зависящий от формы частицы, состояния ее поверхности и режима потока, обтекающего ее, т.е. от числа Рейнольдса Re ;

S_m – миделево сечение, т.е. площадь проекции частицы на плоскость, перпендикулярную к направлению скорости движения;

ρ – плотность воздуха (при нормальных условиях: давлении 760 мм рт. ст.; температуре $20^\circ C$; относительной влажности 50% – $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$);

$v_{отн}$ – относительная скорость частицы.

В вертикальном восходящем воздушном потоке аэродинамическая сила R направлена вертикально вверх, сила тяжести частицы G вниз. Очевидно, что соотношением этих сил и обеспечивается направление движения частиц:

при $R/G > 1$, частица движется вверх с некоторой абсолютной скоростью $v_{абс}$, отличающейся от скорости воздуха v_v . При этом относительная скорость частицы равна $v_{отн} = v_v - v_{абс}$;

$R/G < 1$, частица будет перемещаться вниз с $v_{отн} = v_v + v_{абс}$;

$R/G = 1$ – частица находится в равновесии (витает, парит в потоке воздуха). В этом случае $v_{абс} = 0$ и относительная скорость частицы соответствует скорости воздушного потока $v_{отн} = v_v$.

Следовательно, для осуществления операций очистки, сепарирования, пневмотранспортирования сыпучих пищевых масс необходимо, чтобы аэродинамическая сила сопротивления превышала силу тяжести. Непосредственно определить аэродинамическую силу сложно, т.к. она зависит от многих

факторов (миделевого сечения, коэффициента сопротивления c , концентрации смеси, состояния внутренней поверхности трубопроводов и др.). На практике сопоставимость сил сопротивления и тяжести, определение коэффициента парусности осуществляется с помощью критической скорости или скорости витания $v_{\text{вит}}$.

Под скоростью витания понимают такую относительную скорость движения частиц зерновой смеси в воздушном потоке, при которой сопротивление среды уравнивает силу тяжести, т.е. частица находится во взвешенном состоянии. Как отмечалось выше, при этом $R = G$ и $v_{\text{отн}} = v_{\text{в}} = v_{\text{вит}}$. И тогда зависимость (1) можно записать в следующем виде:

$$R = mk_{\text{п}} v_{\text{вит}}^2 \quad (2)$$

Здесь m – масса частицы;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент пропорциональности силы аэродинамического сопротивления, называемый коэффициентом парусности:

$$k_{\text{п}} = c \frac{\rho S}{2m} \quad (3)$$

При $R = G = mg$ из выражения (2) следует:

$$k_{\text{п}} = \frac{g}{v_{\text{вит}}^2}, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

Таким образом, коэффициент парусности $k_{\text{п}}$ можно вычислить, зная скорость витания $v_{\text{вит}}$. Известно несколько способов нахождения численного значения скорости витания опытным путем, в том числе и разделение компонентов сыпучей массы на фракции (классы) с помощью парусного классификатора.

Парусный классификатор (рис.) смонтирован на столе 1, над которым установлена вертикальная труба 4 из прозрачного материала. Воздух засасывается в трубу 4 вентилятором 5, проходит циклон 2 и выбрасывается в атмосферу. Циклон 2 служит для улавливания унесенных воздушным потоком частиц зерновой смеси. Навеска испытуемой сыпучей массы (50 – 100 г) помещается на сетку 3 обечайки, закрепленной зажимом в нижней части трубы 4. Вентилятор 5 приводится во вращение электродвигателем 8. При его включении воздух поступает снизу в трубу 4 и, пройдя сетку 3, оказывает силовое воздействие на находящиеся на ней частицы. При наличии определен-

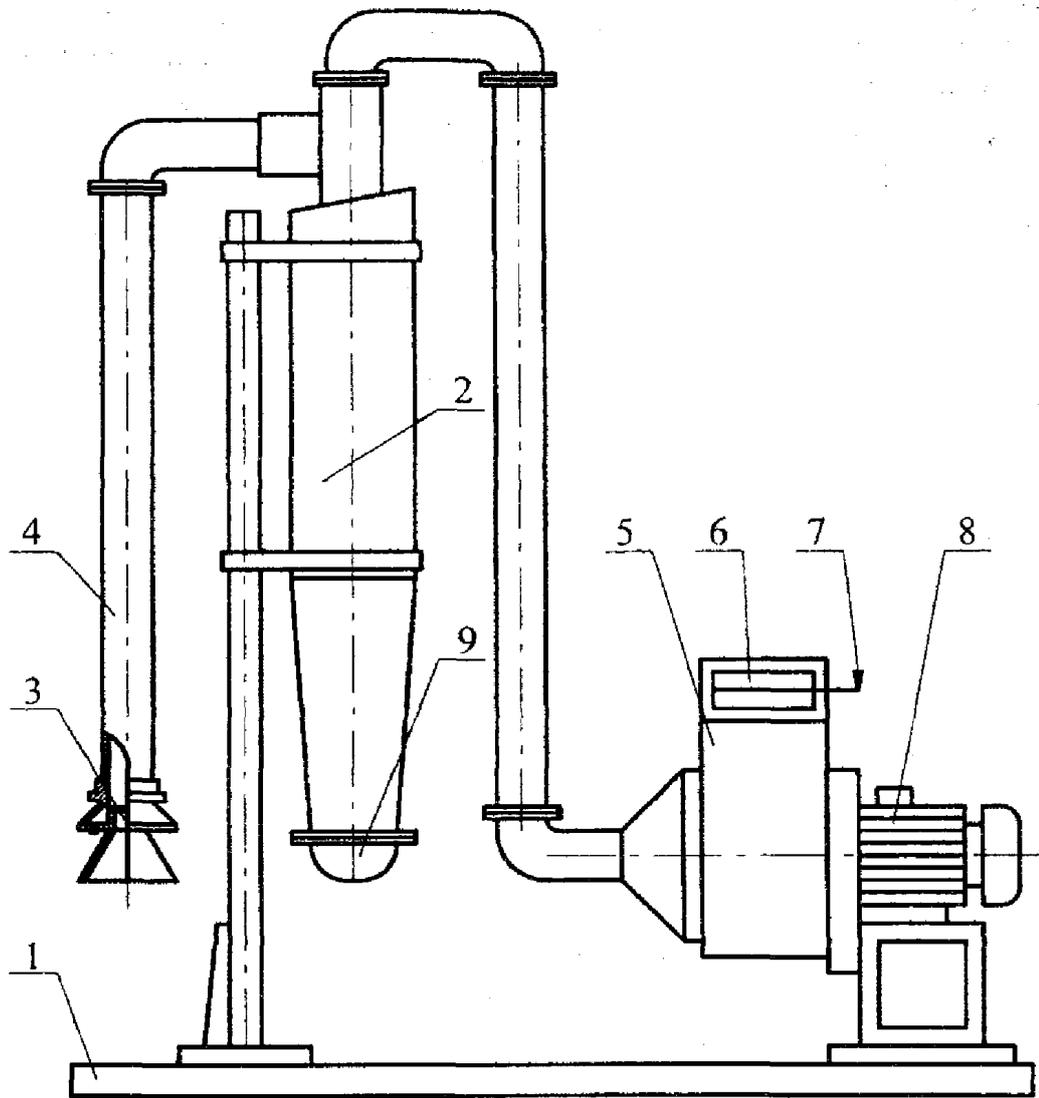


Рис. Схема парусного классификатора

ной величины скорости воздушного потока отдельные частицы смеси поднимаются вверх, некоторое время находясь во взвешенном состоянии. Затем уносятся дальше в циклон 2, где из-за резкого снижения скорости потока падают под действием сил тяжести в емкость 9. Емкость 9 – съемная, что позволяет измерить вес каждой порции (класса) сыпучей массы при задаваемой скорости воздуха. Начальную скорость воздушного потока устанавливают минимальной и затем скорость последовательно увеличивают до тех пор, пока все частицы не будут вынесены из трубы. Величина скорости воздуха v_v (со шкалой от 0 до 14 м/с) регулируется дроссельной заслонкой 6, положение которой изменяется рукояткой 7.

Воздушный поток характеризуется статическим, динамическим и полным давлением. Статическое – выражает внутреннюю энергию 1 м² воздуха без учета его движения и одинаково воздействует по всем направлениям. Динамическое давление действует в направлении скорости и выражает кинетическую энергию 1 м² воздуха.

Расчет необходимой скорости воздуха, в том числе и скорости витания $U_{\text{внт}}$, обычно производят, исходя из найденного динамического давления $P_{\text{дин}}$:

$$P_{\text{дин}} = \frac{\rho v_v^2}{2} \quad (5)$$

Откуда

$$v_v = \sqrt{\frac{2P_{\text{дин}}}{\rho}} \quad (6)$$

Величина динамического давления определяется как разность полного и статического давлений. В данной лабораторной работе для измерения давления использовались: микроманометр с наклонной поворотной шкалой типа ММН-240.(5) - 1,0 и комбинированная пневмометрическая трубка Пито-Прандтля (ее центральный канал служит приемником полного давления, а кольцевой с отверстиями по периметру наружной стенки – статического). В микроманометре наклонная шкала имеет возможность поворачиваться относительно неподвижного корпуса и устанавливаться под различными углами. В зависимости от угла наклона шкалы принимается коэффициент K (0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8), необходимый для пересчета показаний манометра L_m при вычислении динамического давления:

$$P_{\text{дин}} = g K L_m \quad (7)$$

С учетом формулы (6) скорость воздушного потока по показаниям манометра равна

$$v_{\text{в}} = \sqrt{\frac{2P_{\text{дин}}}{\rho}} = \sqrt{\frac{2gKL_{\text{м}}}{\rho}} = 4,04 \sqrt{KL_{\text{м}}} \quad (8)$$

С помощью указанных приборов была протарирована шкала дроссельной заслонки 6 по показаниям манометра $L_{\text{м}}$ в стеклянной трубке 4 (при цене деления шкалы 100 Па и угле наклона трубки 20° к горизонту, т.е. при $K = 0,2$) и затем пересчитана с помощью формулы 8 в единицы скорости воздуха $v_{\text{в}}$.

Порядок выполнения работы

1. Закрывать дроссельную заслонку 6, т.е. вывести ее положение на нуль (отвернуть винт до упора).
2. Приготовить навеску зерновой смеси ($G_{\text{н}} = 100$ г).
3. Высыпать навеску на сетку обечайки 3. Закрепить последнюю к стеклянной трубке 4.
4. Проверить наличие в нижней части конуса 2 съемной емкости 9.
5. Включить классификатор и, плавно открывая дроссельную заслонку 6 с помощью рукоятки 7, увеличить скорость воздуха (скорость витания) до $v_{\text{вит.1}} = 2$ м/с.
6. Выдержать в течение 1 минуты в этом воздушном потоке испытываемую массу. Выключить классификатор.
7. Снять емкость 9 с первой порцией самых легких частиц зерновой смеси (первого класса).
8. Измерить вес выделившейся фракции G_1 в граммах (для данной выборки это частота повторения p_1) и внести результат в таблицу.
9. Постепенно равными ступенями ($\Delta v_{\text{в}} = 2$ м/с) увеличивать скорость воздушного потока до тех пор, пока вся навеска зерновой смеси не окажется в емкости 9.
10. Для каждой ступени найти вес G_i выделившейся фракции (частоту повторения). Результаты наблюдений представить в таблице.
11. Рассчитать среднее арифметическое значение скорости витания компонентов зерновой массы $v_{\text{вит. ср.}}$.
12. Определить среднюю величину коэффициента парусности $k_{\text{п. ср.}}$ (формула 4) частиц испытываемой навески, используя среднеарифметическую скорость витания $v_{\text{вит. ср.}}$.
13. Построить гистограмму распределения компонентов смеси по скоростям витания и полигон частот, отложив по оси ординат частоту повторения p_i , а по оси абсцисс значения скорости $v_{\text{вит. i}}$.

Результаты испытаний

№ класса, i	1	2	3	4	5	6	7
Границы класса, м/с	0–2	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–14
Середина класса $v_{\text{вит. } i}$, м/с							
Вес выделившейся фракции (частота повто- рения) G_i (p_i), г							
Среднее арифметическое значение скорости витания $v_{\text{вит. ср.}}$, м/с	$v_{\text{вит. ср.}} = \frac{\sum_{i=1}^n v_{\text{вит. } i} \cdot p_i}{G_n} =$						
Средняя величина коэффициента парусности k п. ср.							

Отчет по работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Схему установки.
3. Результаты испытаний и их статистической обработки (таблицу).
4. Гистограмму и полигон частот полученной выборки.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что характеризует парусность компонентов зерновой смеси?
2. Какая скорость воздушного потока называется критической или скоростью витания?
3. Что такое миделево сечение частиц?
4. По какой зависимости рассчитывается сила аэродинамического сопротивления воздушного потока?

5. Приведите формулы для определения коэффициента парусности теоретическим и экспериментальным путем.

6. Запишите формулу для вычисления скорости витания частиц смеси при ее нахождении из опыта?

7. С помощью каких приборов произведена тарировка шкалы дроссельной заслонки для измерения динамического давления в данной лабораторной работе?

Список литературы

1. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 215 с.

2. Николаев Б.А. Измерение структурно-механических свойств пищевых продуктов. – М.: Экономика, 1964. – 224 с.

3. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник / Ю.А. Мачихин и др.; Под ред. Ю.А. Мачихина. – М.: Агропромиздат, 1990. – 270 с.

4. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов: Справочник / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин и др.; Под ред. А.В. Горбатова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 294 с.

5. Малис А.Я., Касторных М.Г. Пневматический транспорт для сыпучих материалов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 344 с.

Коротовских Валентин Константинович
Пивень Валерий Васильевич

**РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПИЩЕВЫХ МАСС**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**
по дисциплине "Физико-механические свойства
сырья и готовой продукции"
для студентов специальности 260601 (170600)

Редактор Н.М. Кокина

Подписано к печати	Формат 60×84 1/16	Бумага тип. № 1
Заказ 84 22.03.05	Усл.печ.л. 2,0	Уч.изд.л. 2,0
Печать трафаретная	Тираж 50	Цена свободная

Редакционно-издательский отдел КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.