

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

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

**СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИЩЕВЫХ МАСС**

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

Курган 2004

Кафедра: "Теоретическая механика и сопротивление материалов"

Предметная комиссия по машинам и аппаратам пищевых производств

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

Составили: профессор, доктор техн. наук Пивень В.В.,
доцент, канд. техн. наук Коротовских В.К.

Работа выполнена при равноценном участии авторов

Утверждены на заседании кафедры 29 января 2004 г.

Рекомендованы редакционно-издательским советом университета

" 18 " марта 2004 г.

ВВЕДЕНИЕ

Для успешного решения задач, поставленных перед пищевой и перерабатывающей промышленностью, необходимо создание нового оборудования и технологий.

Разработка эффективных технологических процессов пищевой промышленности; проектирование, модернизация, подбор наиболее рациональных материалов для изготовления деталей и узлов оборудования; контроль качества и т.д. невозможны без учета физико-механических свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции (пищевых масс).

Физико-механические свойства (и структурно-механические, в том числе) характеризуют поведение пищевых масс при переработке, транспортировании, хранении и позволяют связать между собой напряжения, деформации или скорости деформаций. Определив эти свойства, появляется возможность вычислить величину напряжений, деформаций и в итоге получить необходимые параметры технологического процесса или оборудования, т.е. выполнить прочностные и технологические расчеты.

Пищевые массы представляют собой широкий спектр материалов с разнообразными физико-механическими свойствами: от жидких – с истинно ньютоновской вязкостью (вода, спирт, масло) до твердых – с высокой прочностью и жесткостью (карамель, макаронные изделия, морковь и др.).

Многие пищевые массы являются сыпучими. По своей структуре сыпучие материалы не могут быть отнесены ни к твердым телам, ни к жидкости. Однако способность сыпучих сред принимать форму занимаемого сосуда и возможность движения потоком делают их похожими на жидкость. Вместе с тем, каждую отдельную частицу можно рассматривать как твердое тело. Физико-механические свойства сыпучих масс зависят от размеров, аутогезии составляющих их частиц, пористости, плотности и т.д.

Особенностью некоторых пищевых продуктов является то, что в процессе изготовления и хранения при воздействии температуры, влажности и других факторов они могут менять свои свойства. Такие массы могут быть и упругими, и пластичными, либо вязкими (вязкоупругими, вязкопластичными), что требует знания их физико-механических характеристик для конкретных условий операции технологического процесса.

Предлагаемый лабораторный практикум содержит описание методов определения основных структурно-механических характеристик пищевых масс, таких как геометрические параметры частиц сырья, пористость и плотность, предел упругости и прочности, упругие и пластичные деформации, предельное напряжение сдвига пищевых продуктов. Изложены способы измерений, методики проведения лабораторных работ с изучением устройства конструкций и приборов, порядка выполнения и обработки результатов испытаний.

Лабораторная работа № 1

Определение геометрической характеристики и крупности сыпучих пищевых масс

Цель работы: освоение методики определения геометрической характеристики и крупности твердых сыпучих компонентов сырья на примере зерен пшеницы.

Основные сведения

Физические свойства зерна и семян оцениваются геометрической характеристикой, массой 1000 зерен, стекловидностью и плотностью. Для зерна, как сырья для производства муки и крупы, большое технологическое значение имеют структурные параметры сыпучей массы – геометрическая характеристика и крупность.

К геометрической характеристике зерна относятся: форма, линейные размеры, объем, площадь внешней поверхности, соотношение объема и внешней поверхности.

Форма зерна, линейные размеры и объем характеризуют его крупность, определяют выбор схем и параметров процесса очистки, сортирования, дробления, перемещения зерновой массы, параметры рабочих органов соответствующих машин. Площадь внешней поверхности, соотношение объема и внешней поверхности зерна имеют важное значение для процессов тепломассообмена при гидротермической обработке и сушке.

Различают несколько типичных форм зерен. Для пшеницы наиболее характерной является удлиненная форма с тремя линейными размерами: толщиной (расстояние между спинной и брюшной сторонами), шириной и длиной. Линейные размеры зерна определяют непосредственно измерением (с помощью микрометра, штангенциркуля и др.), просеиванием навески зерна на ситах с известными отверстиями, при помощи измерительного микроскопа.

Объем зерна V с достаточной достоверностью может быть рассчитан по формуле

$$V = k \cdot h \cdot b \cdot l, \quad (1)$$

где k – опытный коэффициент (для зерна пшеницы $k = 0,52$); h , b , l – толщина, ширина и длина зерна, соответственно.

Для вычисления площади внешней поверхности F зерна пшеницы предложена следующая зависимость:

$$F = 3,76h^2 + 1,12b^2 + 0,88l^2 - 10. \quad (2)$$

Форму зерна оценивают показателем сферичности ψ , который характеризует степень приближения ее к шару. Зерно пшеницы, более близкое по форме к шару, дает больший выход муки. Показатель сферичности зерна ψ представляет собой отношение площади внешней поверхности шара $F_{ш}$, равновеликого по объему данному зерну, к действительной величине площади его внешней поверхности F :

$$\psi = F_{ш} / F = \frac{4,83 \sqrt[3]{V^2}}{F} \quad (3)$$

Крупность зерна является одним из важнейших признаков, определяющих его технологические свойства. С уменьшением крупности снижается объем, соотношение объема и площади внешней поверхности V/F , коэффициент сферичности, увеличивается зольность зерна в связи с повышенным содержанием оболочек и т.п.. Возрастание суммарной площади внешней поверхности с уменьшением его крупности указывает на более высокую интенсивность процесса теплообмена для более мелких фракций зерна. Мелкое зерно имеет очень низкие мукомольные свойства, его присутствие в перерабатываемом зерне существенно снижает выход и качество муки. Поэтому на мукомольных заводах зерно сортируют по крупности, выделяют и удаляют фракцию мелкого зерна из помольной партии.

Зерно пшеницы по толщине (первый размер, мм) делят на фракции:

крупная – сход с сита с отверстиями размером	2,8 × 20
средняя – проход через сито с отверстиями размером	2,8 × 20
сход с сита с отверстиями	2,2 × 20
мелкая – проход через сито с отверстиями размером	2,2 × 20
сход с сита с отверстиями	1,7 × 20

Под сходом понимают зерна, которые остаются на ситах или застревают в их отверстиях; проходом – зерна, проходящие через отверстия сит.

Для обеспечения высоких технологических результатов важное значение имеет выравнивание поступающих в переработку партий зерна по размерам. Если относительное содержание зерен крупной и средней фракций в зерновой массе составляет более 80%, то зерно считают однородным или выравненным по крупности. Проход через сито с отверстиями размером 1,7×20 мм относят к неполноценным зернам.

Порядок выполнения работы

1. Определение крупности

1. Выделить навеску зерна массой 100 г.
2. Разделить выбранную навеску зерна на фракции крупности путем просеивания вручную на ситах. Для этого используется поддон с последовательно вставленными (в порядке возрастания) одно в другое ситами с про-

долговатыми отверстиями: 1,7×20; 2,0×20; 2,2×20; 2,5×20; 2,8×20 мм. Направление отверстий всех сит должно совпадать.

3. Комплект сит с поддоном поставить на стол с гладкой поверхностью или на стекло, высыпать навеску с зерном на верхнее сито и провести просеивание продольно-возвратными движениями по направлению отверстий без встряхивания. Размах колебаний сит около 100 мм. Продолжительность просеивания – 3 мин при 100...120 движениях в 1 мин.

4. После просеивания сходы со всех сит отдельно высыпать на листы бумаги. Извлечь зерна, застрявшие в отверстиях сит, и присоединить к соответствующим сходам. Из каждого схода удалить сорную (комочки земли, гальку, шлак, части стеблей, пленки, постороннюю культуру и т.п.) и зерновую (давленные, битые, проросшие зерна и т.д.) примеси.

5. Взвесить остатки чистого зерна с каждого сита и проход мелкого зерна через нижнее.

6. Вычислить процентное содержание зерен конкретных размеров (крупность) в сходе каждого сита

$$x_i = m_i \cdot 100 / m, \quad (\%) \quad (4)$$

где m_i – масса чистого зерна в сходе отдельного сита, г; m – суммарная масса зерна, оставшегося в исходной навеске после удаления примесей, г ($m = \sum m_i$).

7. Определить процентное содержание зерен крупной, средней и мелкой фракций; оценить однородность или выравненность размеров зерен навески.

8. Результаты испытаний представить в таблице 1.

Таблица 1

Рассев зерен пшеницы

Фракции	Размер сит, мм	Масса зерна в сходах сит m_i , г	Крупность x_i , %	Содержание фракций, %	Однородность размеров, %
Крупная	2,8 × 20				
	2,5 × 20				
Средняя	2,2 × 20				
	1,7 × 20				
Мелкая	менее 1,7 × 20				

Суммарная масса навески после удаления примесей $m = \sum m_i =$

2. Геометрическая характеристика

1. Из трех фракций (крупной, средней и мелкой) взять по 10 зерен.
2. Замерить при помощи микрометра или штангенциркуля с точностью до 0,01 мм толщину h_i , ширину b_i и длину l_i зерен (табл. 2).
3. По всем трем показателям вычислить среднеарифметические значения \bar{h} , \bar{b} и \bar{l} .
4. Используя найденные средние величины линейных размеров, рассчитать объем V (формула 1); площадь внешней поверхности F (зависимость 2); их соотношение - V/F ; коэффициент сферичности зерен ψ (формула 3) для каждой из фракций.
5. Проанализировать и представить в таблице 3 полученные результаты.

Таблица 2

Результаты измерений

Фракции	Линейные размеры зерен, мм		
	толщина h_i	ширина b_i	длина l_i
Крупная			
Средняя			
Мелкая			

Таблица 3

Геометрическая характеристика зерна

Фракции	Размеры, мм			Объем V , мм ³	Площадь F , мм ²	Отношение $\frac{V}{F}$, мм	Коэффициент сферичности ψ
	\bar{h}	\bar{b}	\bar{l}				
Крупная							
Средняя							
Мелкая							

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные физические свойства зерен пшеницы.
2. Какие параметры относятся к геометрической характеристике зерна?
3. Каким показателем оценивается форма зерна?
4. С помощью каких методов измеряют линейные размеры зерен?

5. Перечислите основные фракции крупности зерен пшеницы.
6. Какое зерно считается однородным или выравненным по крупности в зерновой массе?

Лабораторная работа № 2

Определение пористости и плотности хлебобулочных изделий

Цель работы: освоение методики измерения пористости и плотности готовой пищевой продукции на примере хлебобулочных изделий.

Основные сведения

Под пористостью понимают объем пор, заключенных в определенном объеме, выраженный в процентах. Если общий объем вырезанного мякиша хлеба с порами обозначить через V , а объем беспористой массы этой же навески мякиша, спрессованного до отказа, – через V_1 , то пористость Π можно рассчитать по формуле

$$\Pi = \frac{V - V_1}{V} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Пористость хлеба с учетом ее структуры (величины пор, однородности, толщины стенок) характеризует важное свойство хлеба – его большую или меньшую усвояемость. Хлеб с хорошей тонкостенной пористостью быстрее пропитывается желудочным соком и лучше усваивается. Низкая пористость обычно присуща хлебу, полученному из плохо выброженного теста или из муки низкого хлебопекарного качества. Государственным стандартом оговаривается, какой должна быть минимальная пористость хлеба. Так, пористость ржаного и ржано-пшеничного хлеба – 45-60%, пшеничного – 65-69%, батонов и булок – 68-72%. Она зависит от сорта хлеба и способа его выпечки. Чем выше сорт муки, из которого изготовлено изделие, тем выше пористость.

Существует несколько способов определения пористости хлеба. Один из них основан на прямом измерении объемов вырезанного куса мякиша и его спрессованной до отказа хлебной массы (метод Якоби), другой (стандартный) – на определении плотности пористого и беспористого мякиша, третий – на получении величины общего объема исследуемого хлеба (по объему хлеба судят о его пористости) и т.п.

Измерение пористости стандартным (ГОСТ 5669-96) методом. Пористость мякиша хлебобулочных изделий массой более 200 г определяют в основном стандартным методом (по Завьялову) на приборе Журавлева (рис.). Прибор позволяет выделить из хлеба образец конкретного объема, по результатам взвешивания которого расчетным путем измеряется пористость хлеба.

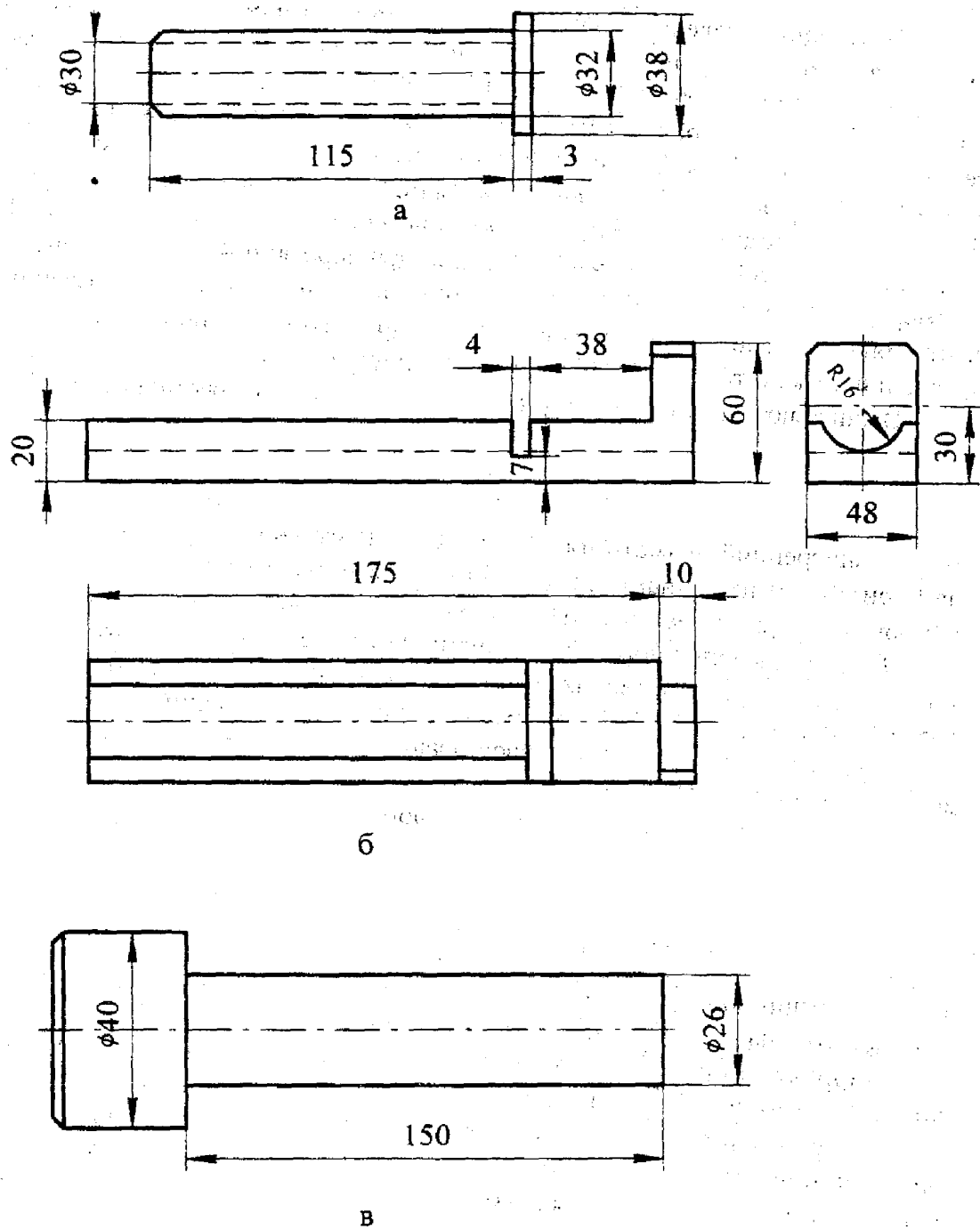


Рис. Прибор Журавлёва для определения пористости хлеба

Из середины изделия вырезают кусок (ломоть) шириной не менее 7-8 см. Из мякиша куса в месте, наиболее типичном для его пористости на расстоянии 1 см и более от корки делают вырезку мякиша калибровочным цилиндром (рис., а). Острый край цилиндра предварительно смазывают растительным маслом. Цилиндр вводят поступательно-вращательным движением в мякиш куса. Заполненный мякишем цилиндр укладывают на лоток (рис., б) так, чтобы ободок его плотно входил в имеющуюся на лотке прорезь. Затем хлебный мякиш выталкивают из цилиндра деревянной втулкой (рис., в) примерно на 1 см и срезают его у края цилиндра острым ножом. Отрезанную часть мякиша удаляют. Оставшийся в цилиндре мякиш выталкивают втулкой до стенки лотка и также срезают у края цилиндра.

Вычисляют объем вырезанного цилиндра хлебного мякиша (выемки):

$$V = \frac{\pi d^2 \cdot H}{4}, \quad (2)$$

где d – внутренний диаметр цилиндра; H – высота цилиндра хлебного мякиша. При внутреннем диаметре цилиндра 3 см и расстоянии от стенки лотка до прорези 3,8 см объем выемки цилиндра мякиша равен 27 см^3 .

Для определения пористости пшеничного хлеба делают 3 выемки, ржаного – 4. В штучных изделиях, где из одного ломтика нельзя получить 3–4 выемки, делают выемки из двух ломтиков или из двух изделий.

Приготовленные выемки взвешивают на технических весах одновременно с точностью до 0,05 г.

Пористость Π (в %) вычисляют по формуле

$$\Pi = \frac{V - \frac{m}{\rho}}{V} \cdot 100, \quad (3)$$

где V – общий объем выемок, см^3 ; m – общая масса выемок, г; ρ – плотность беспористой массы мякиша, взятой по таблице 1, г/см^3 .

Пористость рассчитывают с точностью до 1,0%. Доли до 0,5% включительно отбрасываются; свыше – приравниваются к единице.

Определение пористости хлеба методом Якоби. В мякише, в наиболее типичном для строения пор месте, делают три цилиндрические выемки, используя пробник Журавлева. Измеряют общий суммарный объем хлебных выемок V . Выделенный объем делят на части, которые сжимают до полного удаления пор. Затем закатывают в плотные шарики диаметром не более 1 см. Шарики опускают в градуированный с делением до 0,5 мл сосуд, наполненный маслом или керосином до любого, но строго определенного деления. По разности уровня применяемой жидкости в сосуде до и после опускания спрессованных шариков измеряют объем хлеба без пор V_1 . Вычитая этот объем из общего объема вырезанных частей мякиша, получают или объем пор $(V - V_1)$ или пористость Π (формула 1).

Плотность различных сортов хлеба

Сорт хлеба	Плотность ρ , г/см ³
Ржаной; ржано-пшеничный и пшеничный из обойной муки	1,21
Ржаной заварной	1,27
Пшеничный 1 сорта	1,31
Пшеничный 2 сорта	1,26

К недостаткам стандартного метода измерения пористости относится то, что плотность беспористой массы принимается постоянной, в то время как она может колебаться в зависимости от влажности и условий приготовления хлебных изделий. Поэтому в данной работе предусмотрено оценить фактическую плотность ρ^* беспористого испытываемого хлеба опытным путем с помощью градуированной посуды и затем сравнить ее с рекомендуемой по стандартному методу ρ (табл.1). Для этого необходимо измерить массу спрессованных шариков хлеба m^* и поместить их в градуированный стеклянный цилиндр или бюретку с маслом или керосином. По изменению уровня жидкости в цилиндре определить объем спрессованных шариков V^* и, соответственно, плотность беспористой массы мякиша ρ^* :

$$\rho^* = m^* / V^* \quad (4)$$

Порядок выполнения работы

1. Взять хлеб одного сорта, например ржаной из обойной муки.
2. Стандартным способом с помощью прибора Журавлева найти объемы V_1 , V_2 , и V_3 трех вырезанных цилиндрических выемок хлеба и их суммарный объем V .
3. Определить общую массу m полученных выемок хлебного изделия.
4. В соответствии с методом Якоби, выемки хлеба разделить на части и сжать в шарики диаметром не более 1 см до удаления пор.
5. Замерить объем беспористой массы мякиша V^* , используя объем вытесненной жидкости градуированного сосуда.
6. Рассчитать пористость Π мякиша испытываемого хлебного изделия по двум способам – стандартному (формула 3) и Якоби (зависимость 1).
7. Определить массу беспористых выемок хлеба m^* .

8. Вычислить по соотношению 4 плотность ρ^* беспористого мякиша хлеба.

9. Сравнить фактическую плотность ρ , полученную из опыта, с плотностью ρ , приведенной в таблице 1.

10. Взять хлебное изделие другого сорта, например батон. Опыт повторить.

11. Сопоставить результаты испытаний хлеба двух сортов (табл. 2).

Таблица 2

Результаты испытаний

Сорт хлеба	Объем выемок хлеба, см ³			Суммарная масса выемок, г		Пористость П, измеренная по методам, %		Плотность, г/см ³	
	с порами		без пор	с порами	без пор	стандартному	Якоби	ρ	ρ^*
	V_1	V	V^*	m	m^*				
	$V_1=$								
	$V_2=$								
	$V_3=$								
	$V_1=$								
	$V_2=$								
	$V_3=$								

Контрольные вопросы

1. Что понимается под пористостью хлебных изделий? Запишите формулу для ее расчета.

2. Какие свойства хлеба характеризует пористость? От чего она зависит?

3. Какой по ГОСТ должна быть минимальная пористость ржано-пшеничного, пшеничного хлеба, батонов и булок?

4. Перечислите основные способы измерения пористости хлебных изделий.

5. В чем заключается стандартный метод определения пористости с помощью пробника Журавлева?

6. Как в данной работе измеряется объем и плотность беспористой массы мякиша хлеба?

7. С какой целью в лабораторной работе оценивается фактическая плотность хлеба?

Лабораторная работа № 3

Измерение сопротивления пищевых продуктов срезу и сжатию

Цель работы: освоение методики определения предела прочности при срезе и сжатии; упругих и пластичных (остаточных) деформаций при сжатии пищевых продуктов.

Основные сведения

Сырье, полуфабрикаты растительного и животного происхождения при заготовке, транспортировании, хранении и особенно при переработке в продукты питания (резке, дроблении, выдавливании и т.п.) подвергается различным механическим воздействиям. При этом производственные процессы должны быть организованы так, чтобы обеспечить высокое качество готовой продукции. Все это требует знания механических свойств, характеризующих прочность и жесткость пищевых масс.

В настоящей лабораторной работе определяются такие характеристики прочности и жесткости, как предел прочности при срезе и сжатии, упругие и остаточные деформации при сжатии.

Предел прочности при срезе τ_v (при сжатии σ_v) рассчитывается по формуле

$$\tau_v = \frac{P_v}{F}, \quad (1)$$

где P_v – величина силы, при которой происходит срез продукта; F – площадь среза (при сжатии – площадь поперечного сечения).

Прибор для измерения разрушающей нагрузки или усилия среза (рис. 1) состоит из основания 1, двух стоек 2, соединенных пластинами 3, между которыми имеется паз. В пазу вертикально перемещается нож 4 толщиной 1 мм с квадратным 10×10 мм отверстием 5 для размещения пищевого продукта. Нож 4 соединен со штоком 6. На пластинах 3 закреплена стойка 7, которая является упором для насадки, состоящей из двух втулок 8 и пружины 9. Наружный диаметр втулок 8 является фиксатором для пружины 9, а внутренний для штока 6. В комплект прибора входят две насадки с пружинами разной жесткости (величина нагрузки, приводящая к деформации единицы длины пружины), обеспечивающие усилия среза до 5-ти и 10-ти кг. На резьбовую часть штока 6 накручена гайка 10. Гайка при вращении давит на верхнюю втулку 8, сжимая пружину 9. Зная жесткость пружины и ее осадку (перемещение штока), можно вычислить необходимое усилие P_a :

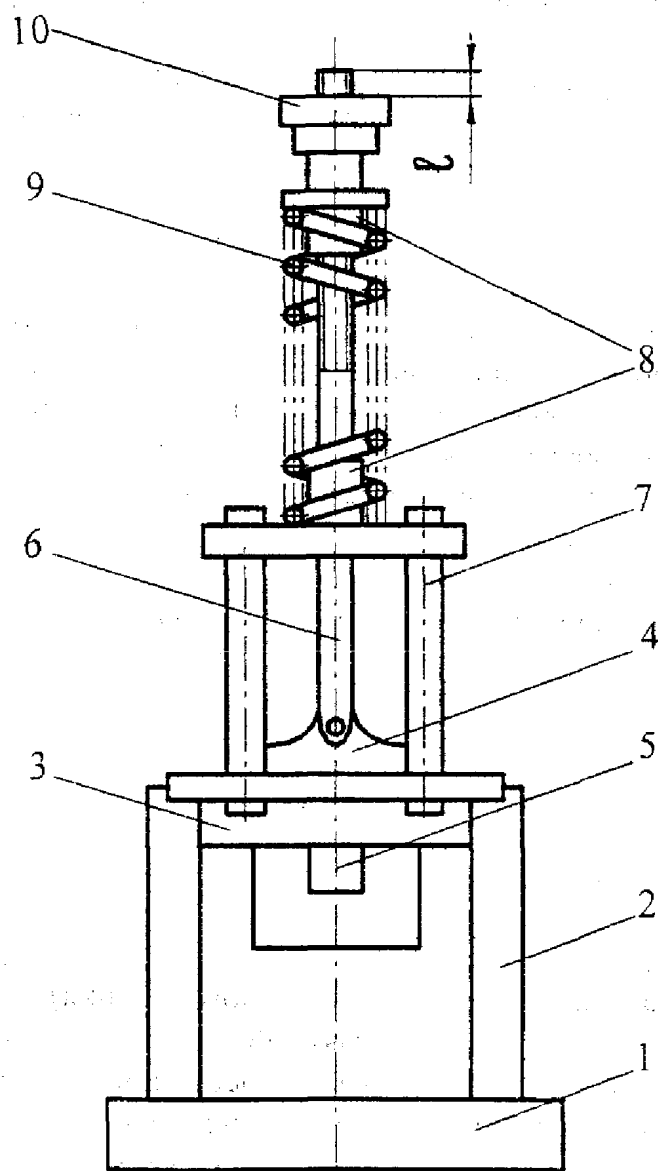


Рис.1. Прибор для определения усилия среза

$$P_a = Z \cdot l, \quad (2)$$

где Z , l – жесткость и осадка пружины, соответственно.

Кроме того, в данной лабораторной работе определяются предел прочности, упругие (исчезающие после снятия нагрузки) и пластические или остаточные деформации хлебных изделий при сжатии. В качестве упругопластических свойств используются модуль упругопластических деформаций $E_{уп}$, относительные упругость $У$ и пластичность $П$:

$$E_{уп} = P \cdot h / F \cdot \Delta h_{полн}; \quad (3)$$

$$У = [(\Delta h_{полн} - \Delta h_{ост}) / h] \cdot 100; \quad \% \quad (4)$$

$$П = (\Delta h_{ост} / h) \cdot 100. \quad \% \quad (5)$$

где P – сжимающая нагрузка, при которой произошло разрушение ($P = P_a$); h – первоначальный размер образца в направлении действия усилия; F – площадь нагружения; $\Delta h_{полн}$ – полная деформация (укорочение) в направлении приложения нагрузки; $\Delta h_{ост}$ – остаточное укорочение после снятия сжимающего усилия.

Полученные данные могут быть применены при расчете параметров рабочих органов хлебоукладочных машин, размеров тары и допускаемых усилий.

Для измерения величины предела прочности, упругих и пластических деформаций хлебных изделий используется прибор, работающий на принципе сжатия образца (рис. 2). Прибор состоит из основания 1 со стойкой 2 на которой закреплен суппорт 3. В направляющих суппорта свободно перемещается в вертикальном направлении шток 4, уравновешенный противовесом 5. Величина перемещения штока фиксируется стрелкой 6 шкалы 7. На штоке 4 закреплена площадка 8 для установки груза и подпятник-индентор 9. При приложении нагрузки на шток, происходит внедрение индентора 9 в хлебное изделие 10. Для установки продукта в направлении сжимающего усилия применяется наклонная плоскость 11. Угол наклона плоскости 11 зависит от формы продукта, который должен быть расположен таким образом, чтобы его исследуемая поверхность была параллельна опорной площадке индентора 9. Угол наклона регулируется гайкой 12 на винте 13.

Порядок выполнения работы

1. Измерение сопротивления срезу

1. Подготовить образцы овощей (например, картофеля, моркови и свеклы) поперечным сечением 10×10 мм длиной $15 \div 20$ мм.

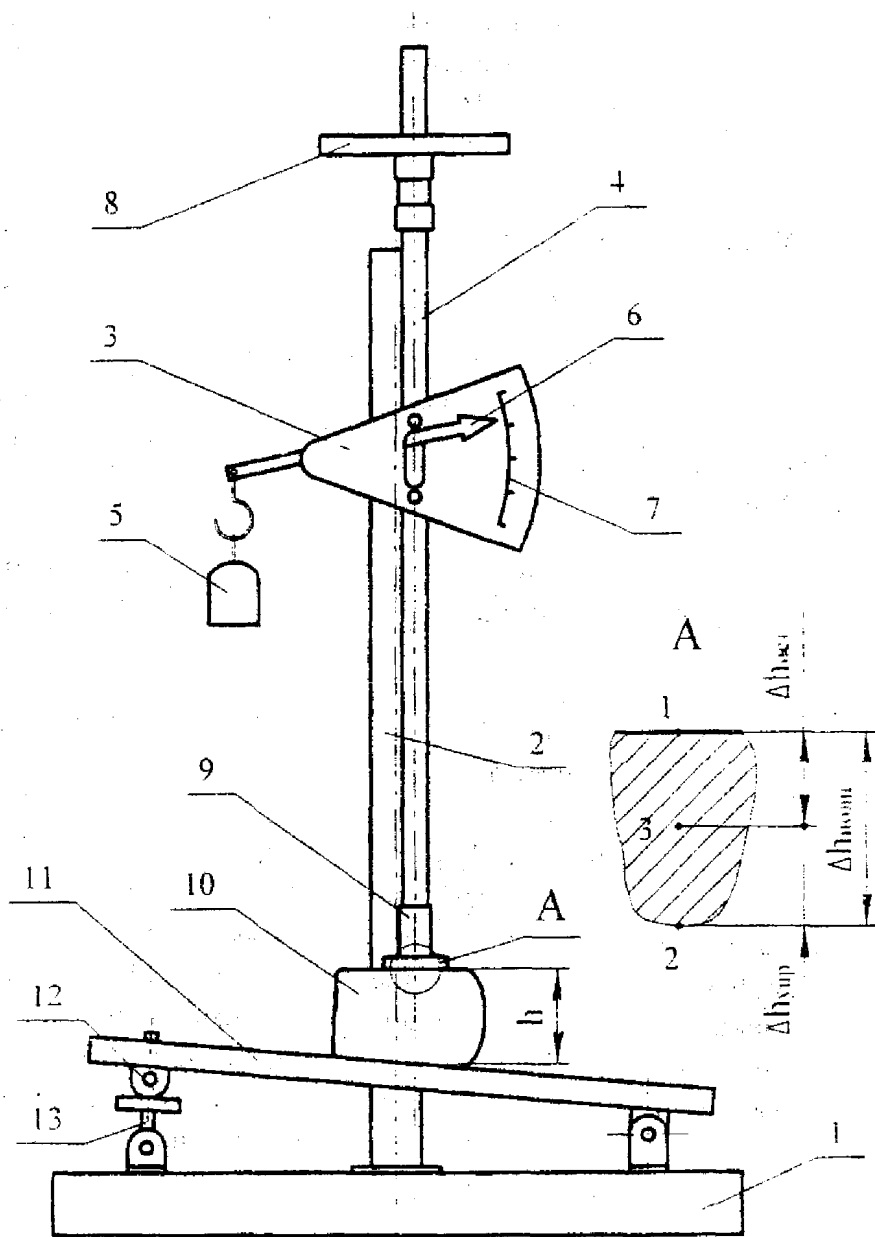


Рис. 2. Прибор для измерения предела прочности, упругих и пластических деформаций при сжатии

2. Установить насадку для осуществления необходимого усилия среза P_v (для $P_v \leq 50$ Н с пружиной жесткостью $Z = 1140$ Н/м; для $P_v \leq 100$ Н – жесткостью $Z = 1520$ Н/м).

3. Навернуть на шток 6 гайку 10 без сжатия пружины 9.

4. Вставить пищевой продукт в отверстие 5 ножа 4.

5. Плавным вращением гайки 10 на ввертывание поднимать нож 4 до среза продукта.

6. Замерить с помощью линейки или штангенциркуля осадку пружины l , при которой произошел срез продукта. Для насадки с максимальным усилием среза до 50 Н это выступание штока 6 над гайкой (рис. 1). Для насадки до 100 Н величина $l = 55 - l^*$. Здесь l^* – измеряемое при проведении опыта, расстояние от верхнего края гайки до штока.

7. Опыт повторить еще два раза. Найти среднее арифметическое трех измерений осадки пружины l .

8. Вычислить по формуле 2 для среднего значения осадки пружины величину усилия среза P_v .

9. Для найденного значения P_v рассчитать (формула 1) предел прочности τ_v при срезе.

10. Заменить продукт. Определить усилие среза и предел прочности для него.

11. Полученные результаты представить в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний на срез

Продукт	Осадка пружины при срезе, мм			Средняя осадка \bar{l} , мм	Усилие среза P_v , Н	Предел прочности τ_v , КПа
	l_1	l_2	l_3			

2. Измерение сопротивления сжатию

1. На наклонную плоскость установить продукт.

2. Регулируя положение плоскости, совместить поверхности индентора и хлебного изделия (точка 1, рис.2).

3. Подвести индентор к поверхности продукта (показание шкалы 7 прибора должно быть равно нулю).

4. Замерить первоначальный размер продукта h в направлении перемещения штока.

5. Положить на площадку 8 штока предварительный груз P_0 , например 10 Н. Груз плавно увеличивать до $P = P_s$, т.е. до тех пор пока не произойдет разрыва хлебной корки по всему периметру индентора 9 (точка 2 на рис. 2).

6. В момент разрушения зафиксировать с помощью шкалы 6 и стрелки 7 полную абсолютную деформацию продукта $\Delta h_{\text{полн}}$.

7. Снять с площадки 8 штока 4 прикладываемый груз и, наблюдая за показанием стрелки 7, найти величину остаточной $\Delta h_{\text{ост}}$ (разность между первоначальным и конечным показаниями стрелки – точки 1 и 3 на рис. 2) и упругой $\Delta h_{\text{упр}}$ деформаций.

8. Опыт повторить, измерив усилие разрушения, первоначальный размер h и деформацию продукта еще в двух его точках.

9. Определить предел прочности продукта (хлебной корки) при сжатии σ_s для среднего значения разрушающего усилия. В качестве площади поперечного сечения принять площадь поверхности индентора 9, замерив предварительно его диаметр.

10. Рассчитать по формулам 3-5 модуль упругопластичных деформаций $E_{\text{уп}}$ и величину относительных упругости U и пластичности Π , используя средние арифметические величины первоначального размера h и деформаций.

11. Представить в таблице 2 результаты испытаний продуктов на сжатие.

Таблица 2

Результаты испытаний на сжатие

№ опыта	Усилие сжатия P_s , Н	Предел прочности σ_s , КПа	Размер h , мм	Деформация, мм			Модуль E , КПа	Упругость U , %	Пластичность Π , %
				полная $\Delta h_{\text{полн}}$	упругая $\Delta h_{\text{упр}}$	остаточная $\Delta h_{\text{ост}}$			
1									
2									
3									
Среднее значение: $\bar{P}_s =$; $\bar{h} =$; $\bar{\Delta h}_{\text{полн}} =$; $\bar{\Delta h}_{\text{упр}} =$; $\bar{\Delta h}_{\text{ост}} =$									

Контрольные вопросы

1. Перечислите определяемые в работе характеристики прочности и жесткости?
2. Приведите формулу для расчета предела прочности при срезе и сжатии?
3. Каким образом измеряется усилие среза опытным путем? Объясните принцип работы прибора для его измерения.
4. Что понимается под жесткостью пружины и как она влияет на усилие среза?
5. Какие деформации называются упругими, какие пластическими?
6. Как определяются пластические деформации при сжатии?

Лабораторная работа № 4

Определение предельного напряжения сдвига пищевых продуктов способом пенетрации

Цель работы: освоить методику измерения предельного напряжения сдвига пищевых масс с помощью пенетрации.

Основные сведения

Пенетрацией или прониканием называется метод исследования структурно-механических свойств пищевых масс (хлебных, мясных продуктов, овощей, фруктов и т.п., различных порошкообразных сред) с помощью измерения сопротивления продуктов проникновению в них инденторов типа конус, шар, игла, цилиндр конкретных размеров и массой при заданной температуре и за определенное время. Исследование может производиться с постоянным усилием пенетрации (при этом определяется глубина проникновения); с постоянной глубиной погружения (измеряется усилие); с постоянной скоростью внедрения (регистрируется усилие в зависимости от глубины погружения). На этой основе оцениваются различные параметры, имеющие отношение к консистенции, т.е. степени твердости, плотности изучаемого продукта.

Различают собственно пенетрацию, когда глубина погружения индентора не превышает его высоты, и зондирование – способ, при котором глубина проникновения превышает высоту индентора. Результаты пенетрационных испытаний являются объективными характеристиками, отражающими сопротивление материала смятию или сдвигу. При исследовании пищевых материалов, и особенно при технологических испытаниях, широкое применение нашла собственно пенетрация.

Пенетрационный способ испытаний, как наиболее простой и легко воспроизводимый, часто используется для сравнительной оценки (иногда в условных единицах) физико-механических свойств пищевых масс при оптимизации их состава и содержания; для изучения влияния различных технологических факторов, таких как температура, влажность, время воздействия и др. на качество готовой продукции.

В настоящей лабораторной работе с помощью метода пенетрации определяется одна из важнейших структурно-механических характеристик пищевых масс – предельное напряжение сдвига неразрушенной структуры. Это такое наибольшее напряжение до которого не происходит разрушения структуры материала (появления трещин, выпирания некоторых объемов продукта на поверхность, смещения слоев вдоль индентора и т.п.). Предельное напряжение сдвига позволяет косвенно оценить прочность структуры пищевого продукта и, соответственно, уровень его консистенции.

Предельное напряжение сдвига неразрушенной структуры τ_0 , Па при использовании конического индентора рассчитывают по формуле П.А. Ребиндера:

$$\tau_0 = K_\alpha P/h^2, \quad (1)$$

где K_α – константа конуса, зависящая только от угла при его вершине α , град; P – усилие пенетрации, равное весу прикладываемого груза, Н; h – глубина погружения конуса в исследуемый материал, м; отношение P/h^2 – удельное сопротивление пенетрации.

Величина константы конуса K_α определяется по следующей зависимости

$$K_\alpha = \frac{1}{\pi} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (2)$$

Для наиболее применяемых конусов константу конуса K_α обычно выбирают, используя опытные данные Н.Н. Агранат (табл. 1).

Таблица 1

Значения константы конуса K_α

Угол α , град	30	40	45	60	90
K_α	0,94	0,52	0,41	0,21	0,067

Воспроизводимость результатов испытаний удовлетворительна, когда глубина внедрения h изменяется в пределах от 7,5 до 20 мм.

На основе значения предельного напряжения сдвига τ_0 предложена классификация консистенции пищевых продуктов (табл. 2).

Таблица 2

Классификация консистенции пищевых материалов по предельному напряжению сдвига неразрушенной структуры

Напряжение τ_0 , КПа	Оценка материала
< 50	Очень мягкий, почти текучий
50 ÷ 100	Очень мягкий, но не размазывающийся
100 ÷ 200	Мягкий, размазывающийся
200 ÷ 800	Пластичный, размазывающийся
800 ÷ 1000	Твердый, но не со способностью к размазыванию
1000 ÷ 1500	Слишком твердый с ограниченной способностью к размазыванию
> 1500	Слишком твердый

Предельное напряжение сдвига находится при помощи конического пластомера представленного на рисунке. В основании прибора 1 закреплен штатив 2 с кронштейном 3. На основание 1 устанавливается переносной подъемный столик 4 с емкостью 5 для исследуемой пищевой массы. Подъем столика осуществляется с помощью вращающегося винта 6. На кронштейне 3 закреплены уравновешенный рычаг 7, имеющий ось вращения; направляющая 8 и индикатор часового типа 9. Для уравновешивания рычага 7 используется пружина 10. В направляющей 8 может перемещаться и фиксироваться сменная насадка, состоящая из штока 11, фиксатора 12 и индентора 13 типа конуса. Сменные насадки отличаются только углом конуса α индентора при его вершине ($\alpha = 30; 45; 60$ или 90 град). Для увеличения усилия проникновения в пищевую массу на индентор 13 могут прикладываться дополнительные грузы. С целью закрепления сменных насадок в направляющей 8 последняя имеет возможность поворачиваться при ослаблении винта 14 вокруг оси 15. Фиксация насадки производится с помощью стопорной планки 16, входящей в паз фиксатора 12. При освобождении сменная насадка будет перемещаться под действием собственного веса P_n и веса дополнительных грузов P_d , проникая индентором 13 в пищевую массу. Усилие пенетрации P ($P = P_n + P_d$) передается при повороте рычага 7 на ножку индикатора часового типа 9 с соотношением плеч $L \times l = 4,41$. Используя указанное соотношение и

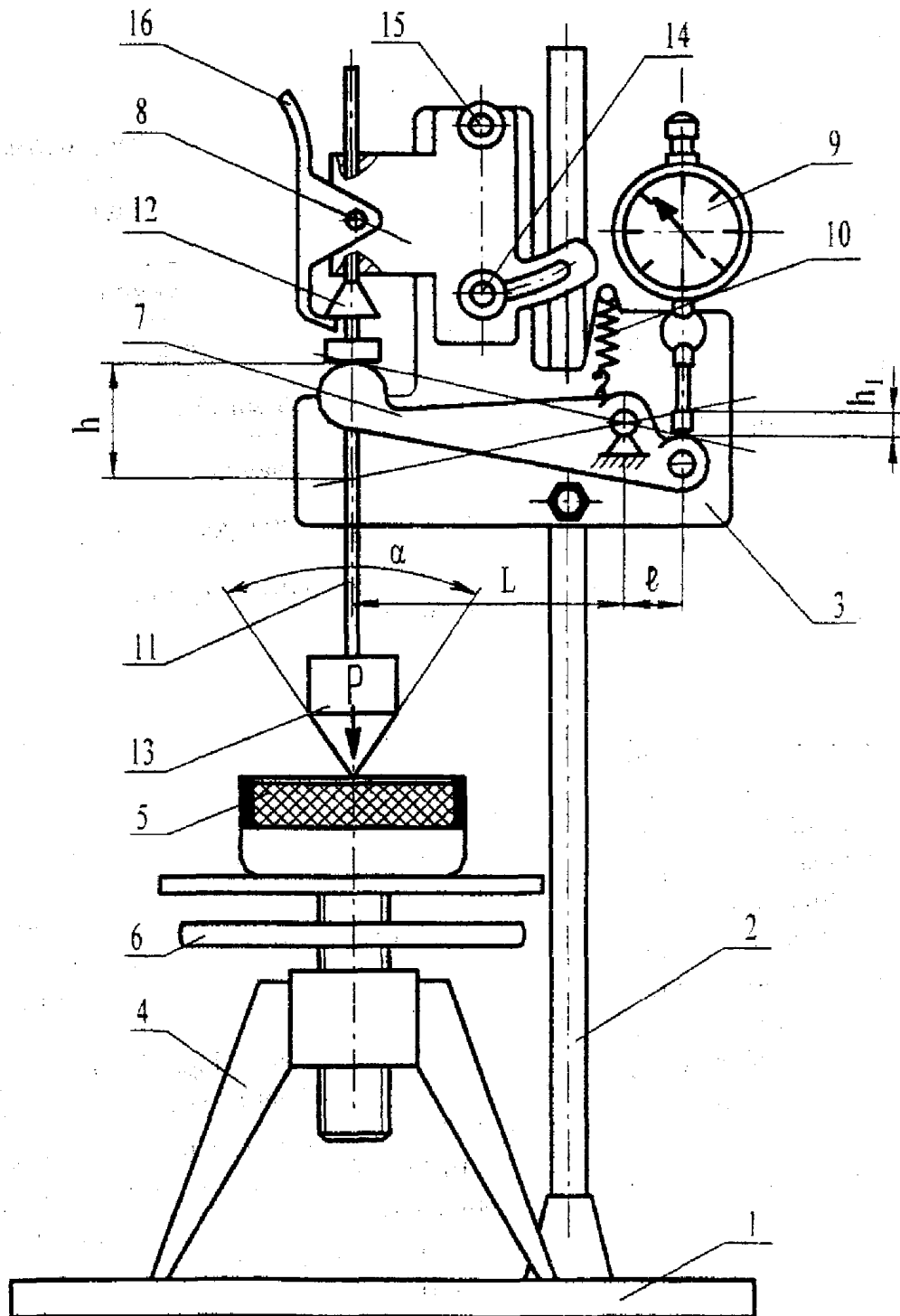


Рис. Конический пластомер

показание h_1 индикатора 9, появляется возможность определить глубину погружения h индентора 13 в пищевую массу:

$$h = 4,41 \cdot h_1 = 4,41 \cdot n \cdot K, \quad (3)$$

где n , K – число и цена делений индикатора, соответственно.

Порядок выполнения работы

1. Уложить в емкость 5 переносного столика 4 исследуемую пищевую массу (в работе предлагается испытать три продукта различной консистенции, например мармелад, тесто и пряник или другие).

2. Выбрать сменную насадку с определенным углом α при вершине конуса индентора – 30, 45, 60 или 90 градусов (чем большей прочностью обладает пищевой продукт, тем меньше должен быть угол).

3. Замерить вес насадки P_n .

4. Ослабить винт 14 и повернуть направляющую 8 вокруг оси вращения 15 по часовой стрелке до горизонтального положения. Установить в направляющей выбранную сменную насадку. Повернуть направляющую 8 против часовой стрелки до вертикального положения и закрепить насадку с помощью стопорной планки 16 и фиксатора 12.

5. Положить на конус-индентор 13 дополнительный вес P_d , учитывающий прочность исследуемого продукта.

6. Переносной столик 4 с емкостью для пищевой массы установить на основание 1 под сменным штоком 11.

7. С помощью вращающегося винта 6, поднять емкость 5 до соприкосновения пищевой массы с индентором 13.

8. Установить стрелку индикатора 9 на нуль.

9. Освободить шток 11 сменной насадки от фиксации, обеспечив проникновение индентора 13 в пищевой продукт. Держать расторможенный фиксатор до полной остановки сменной насадки. Выдержать после остановки в течение 1 минуты.

10. Определить число и цену делений индикатора 9, а затем глубину проникновения h конического индентора 13 в пищевую массу (формула 3). Для воспроизводимости результатов испытаний желательно, чтобы глубина внедрения индентора была не менее 5 мм.

11. Зная усилие пенетрации, равное полному весу прикладываемого груза P (вес насадки P_n и дополнительного груза P_d), и, выбрав по таблице 1 константу конуса K_α , рассчитать предельное напряжение сдвига неразрушенной структуры (соотношение 1).

12. Опыт повторить. За окончательный результат принять среднее арифметическое трех последовательных измерений. Если конус с выбранным углом α полностью пройдет весь объем пищевой массы до дна емкости 5, то испытания следует повторить, заменив угол конуса индентора на больший.

Если усилия пенетрации P недостаточно для проникновения в пищевой продукт, то вес дополнительного груза P_d требуется увеличить.

13. Согласно классификации (табл. 2) оценить степень консистенции рассматриваемой пищевой массы.

14. Заменить пищевую массу, опыт повторить. Результаты представить в таблице 3.

Сравнить по консистенции испытываемые продукты.

Таблица 3

Результаты опыта

Пищевой продукт	Угол конуса α , град и константа K_α	Усилие пенетрации $P, Н$	Число делений индикатора n	Глубина погружения $h, мм$	Средняя глубина $h, мм$	Напряже-ние $\tau_0, КПа$
	$\alpha =$ $K_\alpha =$					
	$\alpha =$ $K_\alpha =$					
	$\alpha =$ $K_\alpha =$					

Цена делений индикатора $K =$

Контрольные вопросы

1. Что называется пенетрацией? Чем пенетрация отличается от зондирования?
2. Перечислите основные способы проведения пенетрационных испытаний.
3. Какие свойства материала характеризует предельное напряжение сдвига?
4. Запишите формулу для расчета предельного напряжения сдвига неразрушенной структуры по П.А. Ребиндеру и поясните смысл входящих в нее величин?
5. Объясните принцип работы конического пластомера.
6. Как в данной работе определяется глубина погружения индентора в пищевой продукт?

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, А.В. Горбатов, А.С. Максимов и др.; Под ред. Ю.А. Мачихина. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 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.

Пивень Валерий Васильевич
Коротовских Валентин Константинович

**СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИЩЕВЫХ МАСС**

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

Редактор Н.М. Кокина

Подписано к печати 18.03.04	Бумага тип. № 1
Формат 60×84 1/16	Усл.п.л. 1,75
Заказ 79	Тираж 50
	Цена свободная

Издательство Курганского государственного университета.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет, ризограф.