

1 Структуры дисперсных систем

Цель работы: изучить классификацию и характеристику структур дисперсных систем, методы определения типа структуры продукта.

Основные теоретические сведения

Структурированные системы имеют сплошной пространственный каркас, образующийся при достаточно высокой концентрации дисперсных частиц благодаря их соприкосновению. Последнее вызывает проявление сил взаимодействия, которые определяют механическую прочность каркаса и его строение. Академик Ребиндер П.А. классифицирует структуры по трем типам: коагуляционные, конденсационные и кристаллизационные, а также встречаются комбинированные, например конденсационно-кристаллизационные структуры. Причем структуры пищевых продуктов, как правило, смешанные, в чистом виде они встречаются редко.

Коагуляционные структуры образуются путем сцепления частиц через тончайшие остаточные прослойки свободной или адсорбционно связанной с ними дисперсной среды. Сцепление осуществляется ван-дер-ваальсовскими силами, которые способствуют протеканию самопроизвольных процессов приближения к более устойчивому термодинамическому состоянию: тиксотропному упрочнению, самоуплотнению - синерезису. Только упрочнение наблюдается обычно у высококонцентрированных систем, синерезис с одновременным упрочнением - у слабоконцентрированных вследствие вытеснения части жидкости из мест контакта. Свободная жидкость отделяется в виде фазы или находится внутри структуры в виде мельчайших капелек. Эти структуры часто обладают очень интересным свойством - способностью к самопроизвольному восстановлению после разрушения (тиксотропия). Нарастание прочности после разрушения происходит постепенно и в определенном пределе. Этот тип структур имеют мясные нежирные фарши, бульоны высокой концентрации и жиры при температуре выше точки плавления.

Конденсационные структуры обладают наибольшей прочностью при данной степени заполнения объема, но после разрушения, так же как и кристаллизационные, не восстанавливаются и являются скорее хрупкими, чем пластичными. Они образуются из коагуляционных при полном удалении жидкой фазы и «срастании» частиц. В процессе образования их прочность постепенно увеличивается, оставаясь затем постоянной. К конденсационным структурам можно отнести, например, фарш готовых вареных и сырокопченых колбас.

Кристаллизационные структуры образуются путем срастания частиц или молекул при их активном химическом взаимодействии из расплава при охлаждении, а также из раствора при повышении концентрации или охлаждении. Хаотическое срастание частиц на свободных участках вначале увеличивает прочность, а в конце приводит к неустойчивому состоянию с наличием внутренних напряжений. При общем стремлении любых систем к термодинамической устойчивости это должно вызвать растворение старых мест срастания и перекристаллизацию с уменьшением прочности. Такой тип структур характерен для животных жиров при температуре ниже точки плавления, замороженных продуктов, сахара и пр.

Все три типа структур имеют хаотическую сетку (без дальнего порядка); для образования первых двух необходимо две фазы.

Конденсационно-кристаллизационные структуры присущи натуральным продуктам, однако они могут образовываться из коагуляционных при удалении дисперсионной среды или срастания частиц дисперсной фазы в расплавах или растворах. В процессе образования эти структуры могут иметь ряд переходных состояний: коагуляционно-кристаллизационные, коагуляционно-конденсационные при непрерывном нарастании прочности. Основные отличительные признаки структур такого типа следующие: большая прочность по сравнению с прочностью коагуляционных структур, что обусловлено высокой прочностью контактов между частицами; отсутствие тиксотропии и необратимый характер разрушения; большая хрупкость и упругость из-за жесткости скелета структуры; наличие внутренних напряжений, возникающих в процессе образования фазовых контактов и вызывающих в дальнейшем

перекристаллизацию и самопроизвольное понижение прочности вплоть до нарушения сплошности, например растрескивание при сушке.

Вискозиметрические исследования свиного жира при температуре 18 - 20°C показали наличие достаточно прочной кристаллизационной структуры. Под действием напряжений она разрушается, приближаясь к коагуляционной вследствие механических разрывов связей и их расплавления, а также в связи с переходом механической энергии разрушения в тепловую. Из этого следует очень важный практический вывод о возможности использования в обрабатывающих машинах жир с коагуляционной структурой, что обеспечивает его транспортабельность при незначительных расходах энергии.

При нагревании до 26 - 27°C жир не обладает текучестью, а структурная сетка пронизывает весь объем. С увеличением температуры кристаллизационная структура интенсивно разрушается.

При термической обработке в воде мяса, фарша и субпродуктов часть содержащихся в них белков переходит в воду, образуя бульон. При высоких температурах бульоны не имеют структурной сетки, но при охлаждении образуют структурный каркас коагуляционного типа. Температура, соответствующая началу застудневания, зависит от концентрации и с ее повышением увеличивается. Скелетом структуры служат белковые частицы и молекулы; нагревание способствует разворачиванию глобулярных молекул; фибриллярные молекулы легче пронизывают весь объем.

Тип структуры и характер ее изменчивости определяют необходимое внешнее воздействие при технологической обработке. Сырье с заранее заданными особенностями структуры позволит получить продукт определенного качества. Внутреннее строение продукта обуславливает его механические, тепловые, электрические и другие свойства. Таким образом, исследование внутренних взаимодействий компонентов является первым шагом к изучению всех остальных свойств и их конкретному применению при расчете машин и аппаратов.

Порядок проведения работы

- 1 Изучить основные теоретические сведения.
- 2 Ответить письменно на вопросы.
- 3 Оформить отчет о выполненной работе.

Контрольные вопросы, упражнения, задачи

- 1 Назовите типы структур дисперсионных систем.
- 2 Характеристика коагуляционной структуры.
- 3 Характеристика конденсационной структуры.
- 4 Характеристика кристаллизационной структуры.
- 5 Характеристика конденсационно-кристаллизационной структуры.
- 6 Метод определения типа структуры сосисочного фарша.
- 7 Характеристика типа структуры животного жира.
- 8 Характеристика типа структуры мясного бульона.

Рекомендуемая литература

- 1 Горбатов А.В., Рогов И.А. Структурно-механические свойства мясных продуктов.- М.: ЦИНТИ пищепром, 1966. – С. 5 – 9.
- 2 Хлебников В.Н. Технология продовольственных товаров. Учебник. 2-е издание. – М.: Изд.дом «Дашков и К», 2002. - С. 393 – 398.

2 Приборы растяжения-сжатия

Цель работы: изучить конструкцию и принцип работы приборов на растяжение-сжатие.

Основные теоретические сведения

В тех случаях, когда исследуемый материал обладает высокой вязкостью и значительной неоднородностью структуры, целесообразно определять его механические свойства при растяжении или сжатии.

Для исследования растяжения (обычно хлебопекарного теста) пользуются экстенсографами, в которых цилиндр из теста закрепляют горизонтально и деформируют его силой, напряженной вертикально и приложенной в середине.

На рисунке 1 представлена **схема экстенсографа фирмы "Брабендер"**. Тесто замешивается на месилке до определенной консистенции, делится и взвешивается на куски по 150 г, затем из них с помощью валков формуют цилиндры, которые в дальнейшем подвергаются отлежке в течение 45 мин в специальном сосуде. Для проведения опыта тестовый цилиндр 1 помещается в держатель 2 аппарата. От перемещения тесто удерживается скобами 6. Рычаг 8 получает движение от электродвигателя 7 и перемещается с постоянной скоростью вертикально вниз перпендикулярно оси исследуемого цилиндра. Усилия, возникающие при растяжении теста, через систему рычагов 3 передаются механизму 4, к которому присоединен пишущий рычаг. Регистрирующее устройство 5 включается одновременно с двигателем 7. На бумаге, перемещающейся со скоростью 390 мм/мин, вырисовывается кривая растяжения теста - экстенсограмма. При обрыве тестового жгута регистрирующее устройство автоматически выключается; для смягчения колебаний рычажной системы служит масляный амортизатор 9.

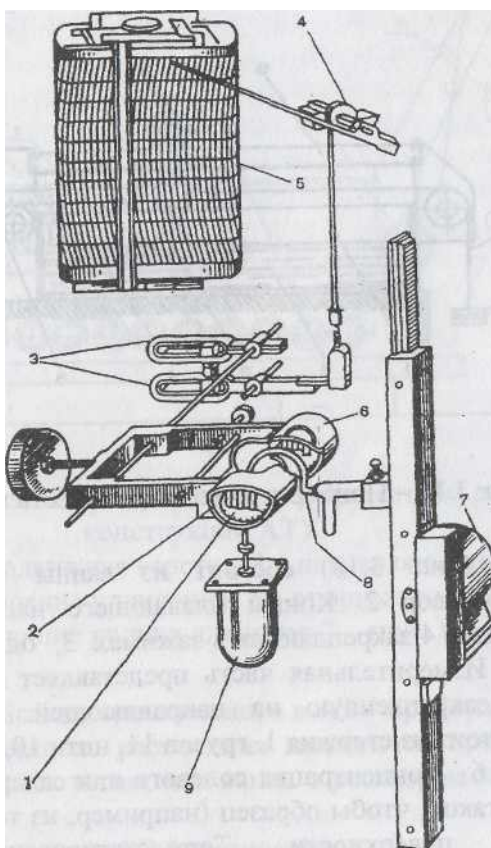


Рисунок 1 - Экстенсограф

В МТИПП создан прибор для испытания вязко-пластичных материалов на растяжение. Деформации подвергают образцы с постоянными размерами: диаметр 10 мм и длина 100 мм, -свободно плавающие на поверхности концентрированного раствора соли или сахара. Максимальное абсолютное удлинение образца - 300 мм.

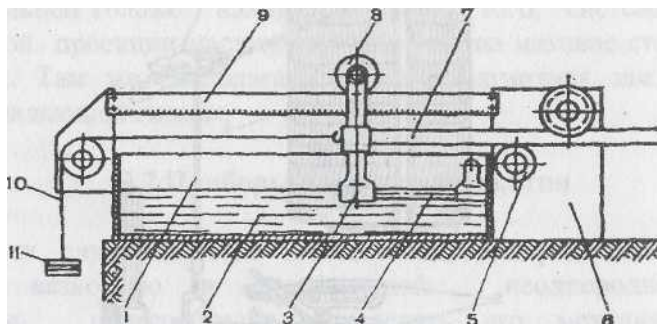


Рисунок 2 - Прибор для испытания теста на растяжение

Прибор (рисунок 2) состоит из ванны 1, в которую наливается раствор 2. Концы плавающего на поверхности раствора образца 4 закрепляются в зажимах 3, один из которых неподвижен. Измерительная часть представляет собой мерную линейку 9, закрепленную на направляющей. Нагружающий механизм состоит из стержня 1, грузов 11, нити 10, роликов 5 и 8, кронштейнов 6. Концентрация солевого или сахарного раствора подбирается такой, чтобы образец (например, из теста) свободно плавал на поверхности. Термостатирование раствора осуществляется с помощью змеевика, соединенного с термостатом.

Образец из теста закрепляется в зажимах 3 пружинного типа. Нагружение образца производится с помощью грузов, которые подвешиваются на нити 10, соединенной со стержнем. Фиксатор (на схеме не показан) освобождает стержень и под действием груза образец удлиняется. После прекращения деформации стержень вновь фиксируется и записывается величина удлинения. Деформация образца производится до разрыва.

Прибор для испытания на ползучесть кремковых конфетных масс показан на рисунке 3. Груз определенной массы устанавливается на площадку 3, соединенную штоком 1 с нажимной пластиной. Площадка нитью 4 соединена с затвором 6. Прибор продукта 9 диаметром 3 см и высотой 3 см подвергается действию мгновенной нагрузки. Деформация определяется в течение 80 - 100 с по индикатору 8, а также по индикатору 7, соединенному кронштейном 2 со штоком 1. Время отсчитывается по секундомеру 5, температура контролируется по термометру 10.

После снятия показаний мгновенной деформации площадка с грузом поднимается и производится мгновенная разгрузка продукта.

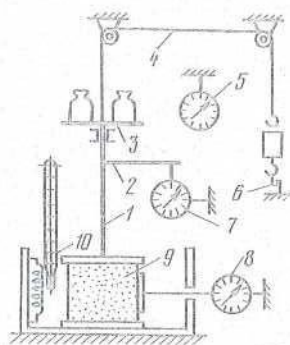


Рисунок 3 – Прибор для испытания на сжатие конфетных масс

3 Сдвигомеры

Цель работы: изучить конструкцию и принцип работы сдвигомеров.

Основные теоретические сведения

Эти приборы служат для измерения сдвиговых характеристик в области практически не разрушенных структур при малых деформациях. В приборах плоскопараллельный зазор может быть расположен вертикально, горизонтально и наклонно.

Прибор с вертикальным расположением предложен С.Я. Вейлером и П.А. Ребиндером.

Он бывает двух видов: в первом (рисунок 1, а) кювета 1 с исследуемым материалом устанавливается неподвижно, в нее помещается пластинка 5, приводимая в движение грузом 4 при помощи нити, переброшенной через блок. Часть груза уравнивает пластину 5, другая - рабочую нагрузку. Между пластиной и нитью установлена микрошкала 3, по которой с помощью микроскопа 2 измеряют деформацию. Время отсчитывают по секундомеру. В модификации прибора (рисунок 1, б) пластинка 5 через шкалу 3 прикрепляется к заранее тарированной пружине 2. При опускании кюветы 1 пружина удлиняется, что измеряется микроскопом 4.

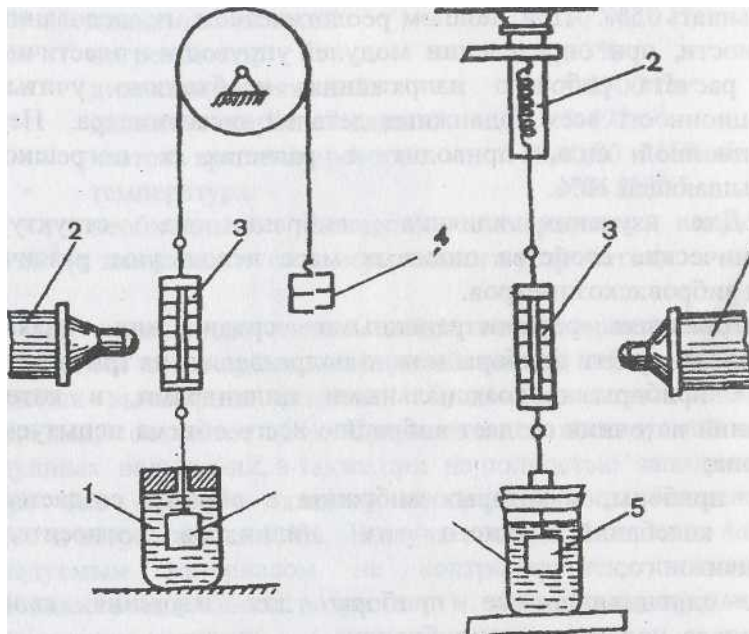


Рисунок 1 - Сдвигомер С.Я. Вейлера - П.А. Ребиндера (а) и его модификация (б)

Напряжение сдвига τ вычисляют по деформации пружины, соответствующей этой деформации нагрузке P и боковой поверхности пластины F

$$\tau = \frac{P}{2F} \quad (1)$$

Предельное напряжение сдвига τ_0 , характеризующее прочность структуры исследуемого материала, определяется по наибольшей нагрузке

$$\tau_0 = \frac{P_{\max}}{2F} \quad (2)$$

Метод тангенциального смещения пластины позволяет находить не только τ_0 , но и модули упругости, эффективную вязкость, изучать процесс релаксации, а также снимать полные деформационные кривые при различных скоростях деформации. Приборы, основанные на этом методе, обладают большой чувствительностью и применимы для исследования свойств в большом диапазоне - от слабоструктурированных зелей и суспензий до твердообразных систем с высокопрочной структурой.

На приборах, аналогичных описанным выше, определяли структурно-механические свойства мучного теста, крахмальных клейстеров, амилазы и амилопектина, конфетных масс.

Методы определения структурно-механических свойств дисперсных систем позволяют по кривым ползучести и восстановления упругой деформации получить основные константы исследуемого материала, которые необходимы для расчета процессов пищевых производств.

Определение структурно-механических характеристик проводят на **пластометре Д.М. Толстого** с параллельно смещающейся пластиной. Пластометр служит для нахождения констант упруго-пластично-вязких свойств масс с практически не разрушенными структурами, наиболее полно оценивающих их технологические свойства. С помощью

пластометра определяют модуль быстрой эластической деформации сдвига G_1 , модуль медленной эластической деформации G_2 , наибольшую пластическую вязкость и условный статический предел текучести τ_k .

Эти константы материала рассчитывают по формулам

$$G_1 = \frac{\tau \cdot a}{\varepsilon_o}, \quad G_2 = \frac{\tau \cdot a}{\varepsilon_m - \varepsilon_o}, \quad \eta_1 = \frac{\tau - \tau_k}{\dot{\gamma}} \quad (3)$$

где $\tau = \frac{P \cdot g}{F}$ - напряжение сдвига, Па;

P - нагрузка, Н;

F - площадь пластин, m^2 ;

a — толщина слоя массы, м;

ε_o - начальная (условно-мгновенная) деформация, м;

ε_m - эластическая деформация, м;

$\dot{\gamma}$ - скорость сдвига, s^{-1} .

Основными деталями пластометра (рисунок 2) являются пластины 5, между которыми помещается образец массы 6. Плоскости пластин, примыкающие к массе, имеют рифление, направленное в сторону, противоположную направлению усилий, деформирующих массу.

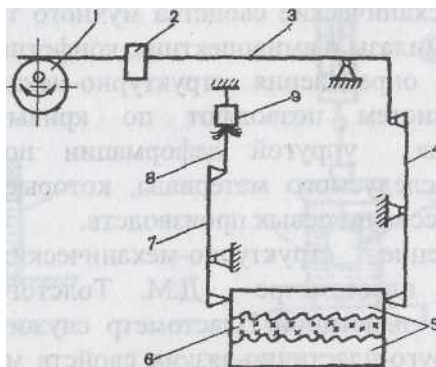


Рисунок 2 - Пластометр Д. М. Толстого

Деформацию образцов массы измеряют при помощи рычага 7 и упругой балочки 8 с наклеенными на нее тензорезисторами 9, включенными в цепь усилителя. Сдвигающее усилие на образец создают поворотом эксцентрика 1 гирями 2, которые устанавливают на неравноплечем рычаге 3 прибора. От этого рычага усилие на массу передается через равноплечий рычаг 4 и верхнюю пластину 5. Показания резисторов записывают на осциллографе. Образец массы помещают между пластинами так, чтобы зубчики их полностью погрузились в массу.

Конические пластометры. Предельное напряжение сдвига, как одна из важных реологических характеристик материала, оценивающих прочность его структуры, просто находится при помощи конического пластометра.

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

$$\tau_o = K_a \frac{P}{h_{max}^2} \quad (4)$$

где P - нагрузка, действующая на конус, Н;

K_a - константа конуса, зависящая только от угла при его вершине.

Исследуемая масса помещается в сосуд 1 (рисунок 3) на подъемный столик, вершина конуса 2 приводится в соприкосновение с поверхностью массы. Конус нагружается гирями 4 и с помощью индикатора 3 определяется величина погружения конуса до полной его остановки.

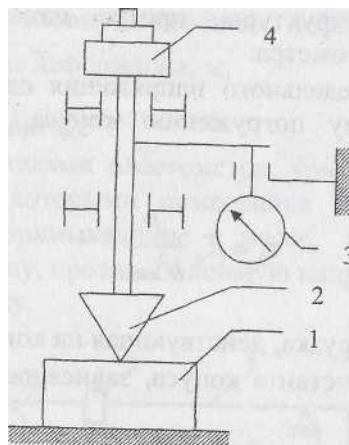


Рисунок 2 - Конический пластометр КП-3

В МТИПП совместно с ВНИИХП разработан **малогабаритный пенетрометр** (рисунок 3). Прибор состоит из основания 1, на котором закреплен подвижный столик 2 и вертикальная стойка 3. На последнюю устанавливается скоба 12 с датчиком 11 дифференциально-трансформаторной системы передачи и кронштейном 7 на стойке 6 и блоками 5. Через блоки переброшена нить 8. К одному концу прикреплен подвижный шток 10 датчика 11. На штоке закреплена тарелка 9, служащая для установки дополнительных грузов, и сменная насадка 14. На другом конце нити закреплен груз 4 для уравнивания массы штока с тарелкой и насадкой, в нижней части скобы установлено механическое стопорное устройство 13. В комплект насадок входят конусы с углами при вершине (в град.): 30, 45, 60, 90, 120, а также диски.

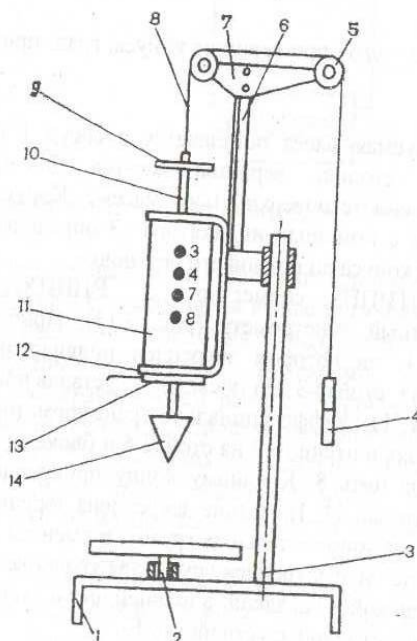


Рисунок 3 – Малогабаритный пенетрометр

Для проведения измерений пенетрометр соединяется проводами с измерительной частью. Подвижный шток с выбранной насадкой ставится в крайнее положение и застопоривается. Переменным резистором измерительного прибора устанавливают его стрелку на последнюю отметку шкалы. Далее снимают стопор, плавно опускают шток до упора и устанавливают стрелку на нулевую отметку. Затем производят калибровку измерительной части прибора. После этого на подвижный столик устанавливают оправку с тестом и поднимают столик до тех пор, пока поверхность теста не соприкоснется с насадкой, затем на тарелку устанавливается груз необходимой массы и убирается стопор. По истечении определенного времени система уравнивается, и по шкале измерительного прибора считываются показания.

Порядок проведения работы

- 1 Изучить основные теоретические сведения.
- 2 Ответить письменно на вопросы.
- 3 Оформить отчет о выполненной работе.

Контрольные вопросы, упражнения, задачи

- 1 Конструкция и принцип работы сдвигомера С.Я. Вейлера - П.А. Ребиндера (зарисовать рисунок).
- 2 Конструкция и принцип работы пластометра Д. М. Толстого (зарисовать рисунок).
- 3 Конструкция и принцип работы конического пластометра КП 3 (зарисовать рисунок).
- 4 Конструкция и принцип работы малогабаритного пенетрометра (зарисовать рисунок).
- 5 По какой формуле определяют модуль быстрой эластической деформации сдвига G_1 ?
- 6 По какой формуле определяют модуль медленной эластической деформации G_2 ?
- 7 По какой формуле определяют наибольшую пластическую вязкость?
- 8 По какой формуле определяют величину предельного напряжения сдвига τ_0 , зная максимальное погружение конуса h_{max} в исследуемый материал?

Рекомендуемая литература

- 1 Еркебаев М.Ж., Кулажанов Т.К., Медведков Е.Б. Основы реологии пищевых продуктов. – Алматы, 2006. – С. 145 – 151.
- 2 Мачихин Ю.А. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник.- М.: Агропромиздат, 1990. – С. 175 - 180.

4 Технологические приборы

Цель работы: изучить конструкцию и принцип работы технологических приборов.

Основные теоретические сведения

В некоторых приборах, применяемых в пищевой промышленности, не производится непосредственное измерение вязкости продукта, но получаемая на них диаграмма, ее форма и размеры зависят от этой величины. Таким прибором, в частности, является **амилограф фирмы "Брабендер"** (рисунок 1).

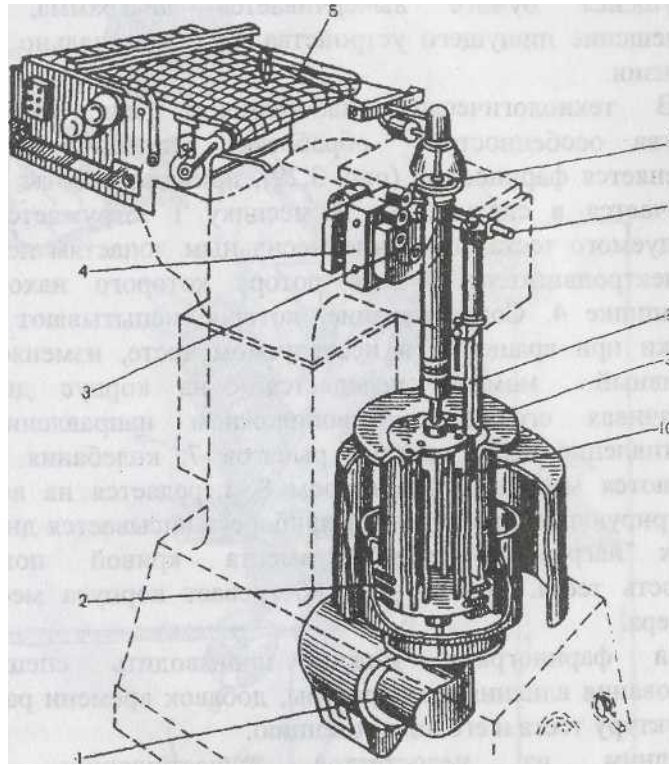


Рисунок 1 – Амилограф

Этот прибор позволяет косвенным путем записывать изменение вязкости в процессе замеса теста. Работает он следующим образом. Смеситель 9 заполняется суспензией муки в воде, в него погружается деталь, которая связана с чувствительной измерительной системой 6. С помощью электродвигателя 1 смесителю 9 придается равномерное вращение, при этом наличие вязкого материала заставляет поворачиваться деталь 10 на некоторый угол. Возникающий таким образом момент через измерительную систему регистрируется записывающим приспособлением 5.

При необходимости может производиться подогревание суспензии электрическим обогревателем 2, температура контролируется контактным термометром 8, установка необходимой температуры производится вращением рукоятки 7. Исследование можно проводить как при постоянной, так и при непрерывно и равномерно повышающейся температуре. В последнем случае для автоматического управления присоединяется специальное устройство 3 с небольшим синхронным двигателем 4. Таким образом, на непрерывно движущейся бумаге вычерчивается диаграмма, причем перемещение пишущего устройства пропорционально вязкости суспензии.

В технологических лабораториях для определения качества особенностей обработки пшеничного теста применяется **фаринограф** (рисунок 2), принцип работы которого заключается в следующем. В месилку 1 загружается 450 г исследуемого теста, движение месильным лопастям передается от электродвигателя 3, ось ротора которого находится в подшипнике 4. Сопротивление, которое испытывают лопасти месилки при вращении в исследуемом тесте, изменяется как реактивный момент: передается на корпус двигателя, поворачивая его в противоположном направлении. Это сопротивление через систему рычагов 7, колебания которых смягчаются масляным демпфером 8, передается на весы 5 и регистрирующий прибор 6. На приборе записывается диаграмма в осях "нагрузка - время", высота кривой показывает плотность теста. Термостат 2 обогревает корпуса месилки и демпфера.

На фаринографе можно производить специальные исследования влияния температуры, добавок времени расстойки на структуру теста и его консистенцию.

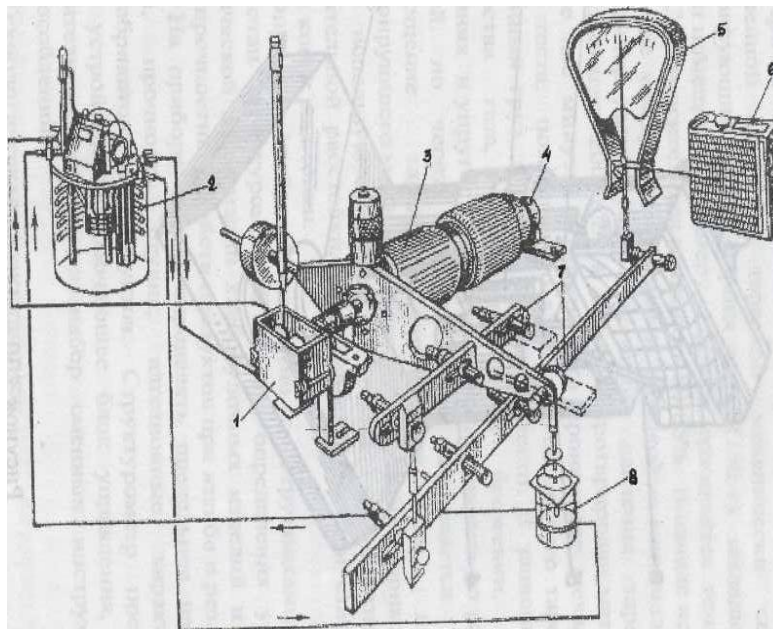
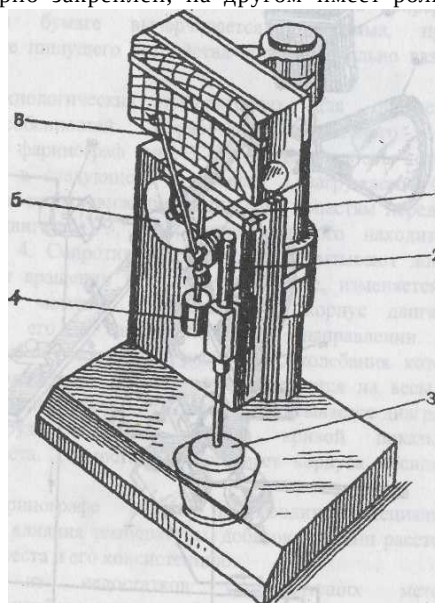


Рисунок 2 - Фаринограф

Одним из недостатков существующих методов исследования хлебопекарных свойств муки является то, что в исследуемом образце теста нет такого важного компонента, как дрожжи. Это устраняется использованием прибора фирмы "Брабендер" - матурографа (рисунок 3): тесто готовят по той же рецептуре, что и в производственных условиях.

Прибор состоит из корпуса, микроэлектродвигателя, регистрирующего устройства, системы автоматической настройки и камеры, в которую помещается чашка с тестом.

Рычаг на одном конце шарнирно закреплен, на другом имеет ролик, находящийся в контакте с кулачковой



1 - рычаг; 2 - вал; 3 - диск;
4 - груз; 5 - кулачок;
6 - регистрирующее перо.

Рисунок 3 - Матурограф

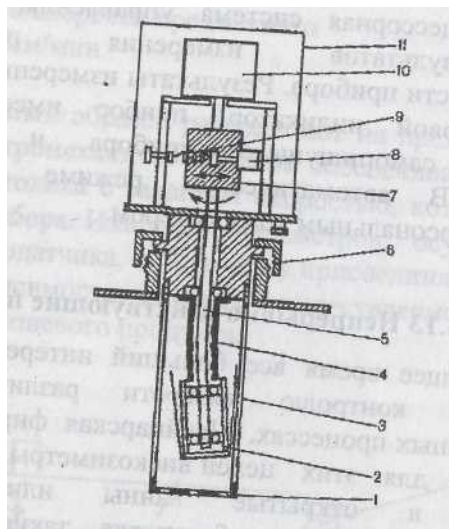
шайбой. Усилие замыкания кинематической пары создается грузом, асимметрично установленным на рычаге. Вал с жестко закрепленной на нем тарелкой механически связан с регистрирующим пером. Порция теста (150 г) закладывается в чашку и помещается в камеру, где поддерживается температура 30 - 50°C и относительная влажность 80 - 85%. В начале испытания расстояние между дном чашки и тарелкой - минимальное (35 мм). Прибор регулируется так, чтобы давление тарелки на тесто достигло 200 ед., в которых протарирован матурограф. Каждые две минуты автоматически происходит механическое сжатие теста, помещенного в чашку, после чего тарелка, как постоянный груз, давит на бродящее тесто. В зависимости от количества газа, выделенного при брожении, газового удержания и упругости теста, тарелка поднимется до различных уровней, но через 2 мин. опять вдавливаются в тесто. Перемещение тарелки фиксируется на диаграмме регистрирующего механизма. Для оценки хлебопекарных свойств муки используются три величины: продолжительность окончательной расстойки, сопротивление теста и стабильность теста в конце расстойки.

5 Непрерывно-действующие приборы

Цель работы: изучить конструкцию и принцип работы непрерывно-действующих приборов.

Основные теоретические сведения

Представляют интерес автоматические вискозиметры, выпускаемые фирмой «Брабендер» (ФРГ) и позволяющие испытывать неньютоновские жидкости при различной температуре (20 - 97°C), постоянной и переменной во времени. Этой же фирмой производится **конвиграф** — устройство для непрерывного измерения вязкости суспензий и эмульсий, паст, теста, шоколадных масс (рисунок 1).



- 1 - защитный кожух с прорезями; 2 - головка измерителя; 3 - обечайка;
4 - гибкая рубашка; 5 - изогнутый вал; 6 - накидная гайка;
7 - измеритель крутящего момента; 8 - задатчик;
9 — переключатель диапазона измерения; 10 - электродвигатель;
11 - верхняя крышка

Рисунок 1 – Конвиграф

Цилиндрическая головка измерителя, смонтированная на изогнутом валу, помещается в трубопровод, по которому непрерывно движется материал. Для повышения точности замера вязкости продукта (путем исключения воздействия скоростного напора движущейся массы) головка измерителя заключается в защитный кожух с продольными прорезями. Гибкая рубашка предотвращает попадание массы в корпус прибора и в опоры вала измерителя. Синхронный электродвигатель, имеющий две частоты вращения (15 и 120 об/мин), приводит во вращение вал головки измерителя, движению которой препятствуют силы вязкостного трения материала. Когда измеряют вязкость масс малой консистенции, на головке измерителя закрепляется обечайка. В результате увеличиваются рабочая поверхность головки и равнодействующая сил вязкостного сопротивления, что повышает точность определения консистенции.

Прибор крепится к материалопроводу накидной гайкой. Устанавливая переключатель диапазона измерения момента сопротивления в определенное положение и задавая соответствующую частоту вращения головке, можно определять вязкость в широких пределах. Точность измерения составляет $\pm 1\%$ от предельного значения шкалы. Прибор может также быть использован в системах автоматического регулирования вязкости дисперсных систем, транспортируемых по различным каналам.

В МТИММПе разработано устройство для исследования структурно-

механических свойств колбасного фарша в потоке (рисунок 2). Оно включает корпус, имеющий неподвижную часть 14 и подвижную часть 6. На неподвижной части укреплены рама 15 с роликами 2 и проушина 11, связанная с подпружиненным кронштейном 5. Внутри рамы 15 установлена катушка 13 с первичной обмоткой 10 и вторичными встречновключенными обмотками 9 и 12, подключенными через преобразователь к потенциометру (на чертеже не показаны). Встречное включение вторичных обмоток необходимо для компенсации начальной э. д. с. при отсутствии внешней нагрузки. Подвижная часть 6 корпуса имеет рифления 1 для контактирования с исследуемым продуктом, нагревательные элементы 4, поддерживающие постоянную температуру в месте контакта, каналы 3, служащие направляющими для роликов 2, сердечник 7 из магнитного материала и возвратную пружину 8.

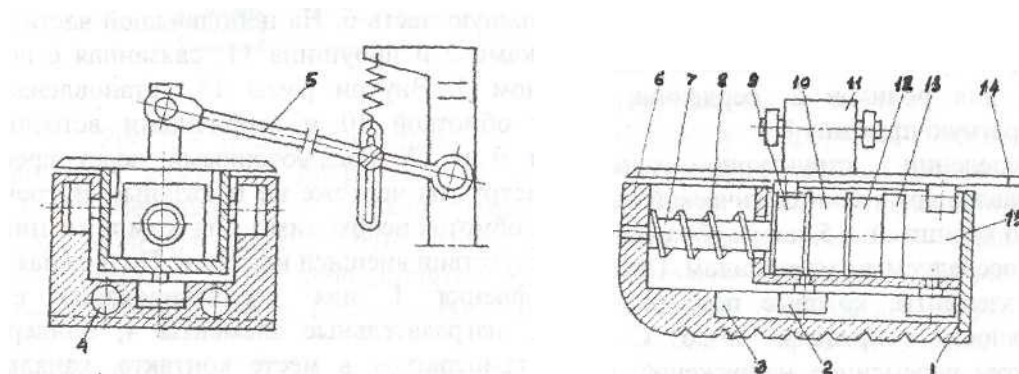


Рисунок 2 — Устройство для измерения реологических свойств материала в потоке

При определении структурно-механических свойств устройство устанавливают в технологической машине при помощи подпружиненного кронштейна 5 таким образом, чтобы рифления 1 соприкасались с исследуемым материалом. После этого включают нагревательные элементы, которые поддерживают температуру рифленой поверхности в пределах 35-36°C. Затем подают на первичную обмотку переменное напряжение, что вызывает возникновение э.д.с. во вторичных обмотках, фиксируемое контрольными приборами, например, автоматическим потенциометром.

При движении продукта относительно устройства он взаимодействует с рифлениями 1 подвижной части корпуса, при этом происходит ее перемещение относительно неподвижной части. Сердечник 7, перемещаясь в катушке, меняет э.д.с. вторичных обмоток, что фиксируется контрольным прибором.

Контроль может осуществляться в течение всей технологической операции или периодически.

При использовании автоматического записывающего потенциометра в качестве контрольного прибора возможно фиксирование изменения структурно-механических свойств исследуемого материала во времени.

Порядок проведения работы

- 1 Изучить основные теоретические сведения.
- 2 Ответить письменно на вопросы.
- 3 Оформить отчет о выполненной работе.

Контрольные вопросы, упражнения, задачи

- 1 Конструкция и принцип работы конвиграфа (зарисовать рисунок).
- 2 Конструкция и принцип работы устройства для измерения реологических свойств материала в потоке (зарисовать рисунок).

Рекомендуемая литература

1 Еркебаев М.Ж., Кулажанов Т.К., Медведков Е.Б. Основы реологии пищевых продуктов. – Алматы, 2006. – С. 183 – 187.

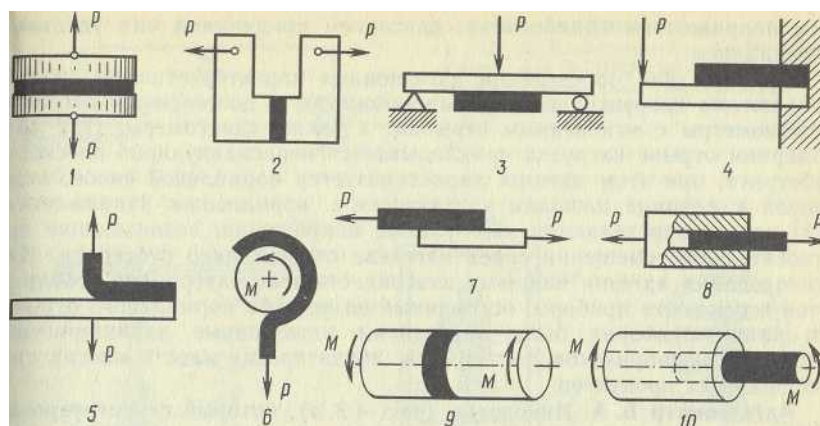
2 Мачихин Ю.А. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник.- М.: Агропромиздат, 1990. – С. 199 - 205.

6 Методы и приборы для измерения адгезионных характеристик

Цель работы: изучить способы измерения адгезионной прочности, требования предъявляются к адгезиометрам, конструкцию и принцип действия адгезиометра Николаева, МТИММПа, адгезиометра для измерения адгезии формового мармелада.

Основные теоретические сведения

Приборы и методы измерения адгезии основаны на разрушении адгезионного соединения путем приложения внешнего усилия. По способу приложения усилия различают методы отрыва (равномерного и неравномерного) и сдвига (рисунок 1). Адгезив (пищевой продукт) на рисунке обозначен темным, субстрат - светлым.



1 - отрыв нормальной силой при растяжении; 2 - отрыв при внецентренном растяжении (сжатии);
3, 4 - отслаивание материалов при изгибе; 5, 6 - отслаивание при отдирании;
7,8 - разрушение соединения при сдвиге; 9, 10 - сдвиговое разрушение при кручении

Рисунок 1 - Способы измерения адгезионной прочности

Разделение контактирующих тел в зависимости от их природы и технологических условий может быть по границе контакта (адгезионный отрыв), по слою продукта (когезионный отрыв) и, наконец, смешанным (адгезионно-когезионный отрыв). Это обстоятельство заставляет экспериментаторов перед испытаниями тщательно подготавливать образцы субстрата и адгезива. При адгезионном отрыве нарушаются внешние связи между субстратом и продуктом, которые характеризуют энергию свободной поверхности. При когезионном отрыве нарушаются внутренние связи в продукте, которые зависят от энергии взаимодействия между элементами структуры в условиях объемного напряженного состояния. Для пищевых продуктов чистый адгезионный отрыв наблюдается редко, поэтому в опытах измеряют усилие отрыва субстрата, часто без конкретизации его вида.

На величину адгезии, кроме технологических свойств самого продукта (температуры, влажности, состава и т. д.) и марки конструкционного материала, влияют условия измерения - геометрические, кинематические и динамические параметры прибора. Поэтому к адгезиометрам предъявляются особые требования.

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

2) Перед измерением продукт должен прижиматься к субстрату для установления контакта и удаления из него воздушных пузырьков. Чем больше усилие и продолжительность

контакта, тем лучше продукт заполняет микровыступы поверхности. Усилие и длительность предварительного контакта должны меняться в широком диапазоне.

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

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

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

Характеристикой адгезии могут быть следующие величины: сила отрыва, отнесенная к площади контакта; работа отрыва, отнесенная к площади контакта; время, необходимое для разрушения связи между субстратом и адгезивом под действием заданной нагрузки. Удельную минимальную силу иначе называют адгезионной прочностью, адгезионным напряжением (давлением), давлением прилипания или удельным прилипанием.

Приборы для определения адгезионных характеристик по способу приложения нагрузки делят на адгезиометры с постепенным отрывом, адгезиометры с мгновенным отрывом, а также сдвигомеры. При равномерном отрыве нагрузка прикладывается перпендикулярно плоскости субстрата, при этом адгезия характеризуется нормальной силой, отнесенной к единице площади контакта, т. е. нормальным напряжением. При сдвиге определяются касательные напряжения, возникающие при относительном смещении слоев адгезива относительно субстрата. Для исследования адгезии пищевых вязкопластичных материалов используются в основном приборы, основанные на способе нормального отрыва. На таких приборах были определены адгезионные характеристики мясных полуфабрикатов, теста, муки, кондитерских масс и многих других пищевых продуктов.

Адгезиометр Б. А. Николаева (рисунок 2), который сконструирован по принципу рычажных весов, является простейшим прибором для изучения адгезии вязких пищевых материалов. К рычагу 2 с одной стороны подвешен субстрат в виде диска 1, с другой стороны груз 3. Между диском 1 и основанием 5 намазывается адгезив 4 (в опытах Б. А. Николаева - тесто). Постепенно увеличивая массу груза 3, добиваются отрыва диска 1 от адгезива 4.

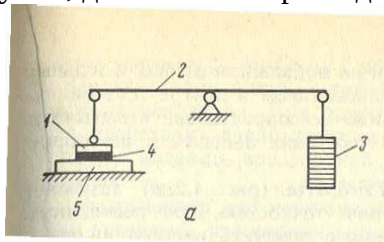


Рисунок 2 - Адгезиометр Б. А. Николаева

Малогобаритный адгезиометр МТИММПа (рисунок 3) позволяет проводить опыты быстро, с повышенной точностью, при постоянных условиях эксперимента. Слой исследуемого продукта наносят на нижнюю пластину 2, которая при помощи электродвигателя 1 подводится к верхней пластине. Продукт между пластинами сжимается, таким образом возникает предварительное напряжение контакта, величину которого можно наблюдать на регистрирующем приборе 3. При достижении заданной величины усилия стрелка прибора 3 замыкает контакт, отключая тем самым электродвигатель и включая реле времени. По истечении времени предварительного контакта (180 с) автоматически включается реверсивный двигатель и шток потенциометрического датчика 4, перемещается в обратном направлении, изменяя сопротивление цепи и вызывая перемещение стрелки прибора 3. Максимальное усилие фиксируется за время, достаточное для того, чтобы записать данную величину, которая пропорциональна адгезионному напряжению.

Адгезиометр для измерения адгезии формового мармелада (рисунок 4) работает по

принципу отрыва конструкционного материала от поверхности массы после ее застудневания. Усилие отрыва измеряется вакуумметром. Основной частью прибора является корпус 1 с крышкой 4, на которой имеется штуцер для подсоединения шланга. Корпус соединяется с крышкой гайкой 3. В центральное отверстие вставляется втулка 7. Для предотвращения выскальзывания мармеладной массы стенка корпуса 1 с внутренней стороны выполнена конусообразной. После заполнения массой 2 в корпус вкладывают пластину 6, изготовленную из исследуемого материала. После окончания процесса студнеобразования втулку 7 вынимают, чтобы образовалось отверстие внутри студня, затем собирают корпус с крышкой, и прибор с помощью шланга 5 подсоединяют к вакуум-насосу и вакуумметру. При достижении определенного разрежения происходит отрыв пластины 6 от мармеладной массы, при этом величина разрежения резко уменьшается. По показаниям вакуумметра в момент отрыва пластины с учетом площади контакта массы с пластиной определяют величину адгезии.

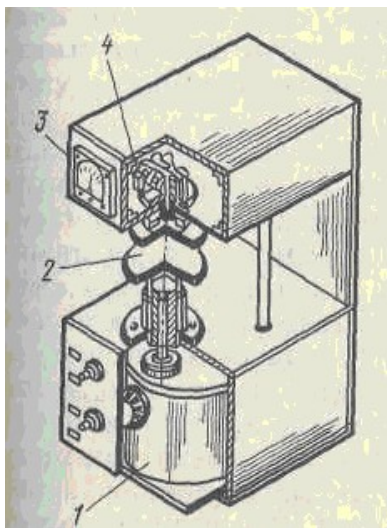


Рисунок 3 - Малогабаритный адгезиометр МТИММПа

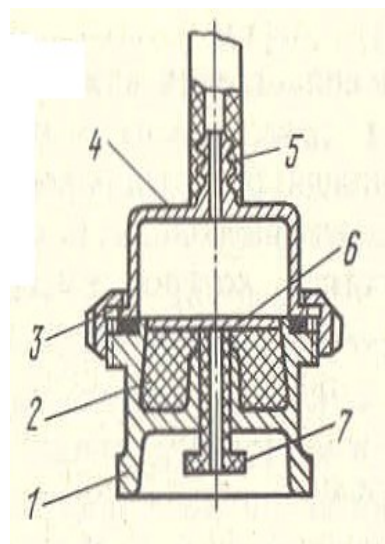


Рисунок 4 - Адгезиометр для измерения адгезии формового мармелада

Порядок проведения работы

- 1 Изучить основные теоретические сведения.
- 2 Ответить письменно на вопросы.
- 3 Оформить отчет о выполненной работе.

Контрольные вопросы, упражнения, задачи

- 1 Назовите и изобразите графически способы измерения адгезионной прочности.
- 2 Назовите виды разделения контактирующих тел.
- 3 Какие требования предъявляются к адгезиометрам?
- 4 Классификация приборов для определения адгезионных характеристик по способу приложения нагрузки.
- 5 Конструкция и принцип действия адгезиометра Николаева.
- 6 Конструкция и принцип действия адгезиометра МТИММПа.
- 7 Конструкция и принцип действия адгезиометра для измерения адгезии формового мармелада.

Рекомендуемая литература

- 1 Мачихин Ю.А. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник.- М.: Агропромиздат, 1990. – С. 138 – 144.

Цель работы: изучить классификацию методов определения коэффициента трения, устройство и принцип работы трибометров различных конструкций.

Основные теоретические сведения

Коэффициенты трения пищевых материалов в зависимости от реологических свойств, состояния фрикционных поверхностей и скорости скольжения 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 какими-либо другими датчиками. И. В. Крагельский распределил известные методы определения коэффициента трения на четыре группы, положив в основу геометрический и кинематический принципы.

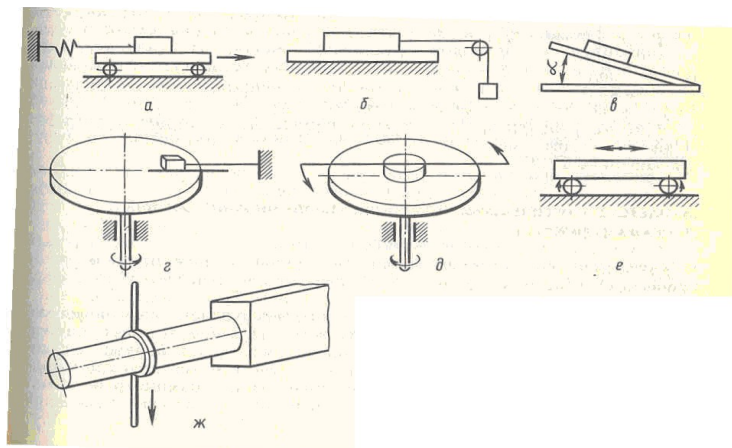


Рисунок 1 - Методы измерения силы трения скольжения:

а, б, в - при поступательном перемещении плоскостей; г, д - при вращательном движении одной из фрикционных пар; е - при соприкосновении образующей цилиндра с плоскостью; ж - при перемещении цилиндрической или плоской гибкой поверхности по цилиндрической поверхности

К первой группе методов относятся такие, в которых одна плоскость поступательно перемещается относительно другой плоскости (рисунок 1, а, б, в). По схеме а продукт перемещается по движущейся исследуемой поверхности, при этом сила трения измеряется динамометром любого типа. Таким наиболее распространенным методом определяют трение твердообразных материалов: сухарей, хлеба, мяса, рыбы, зерна и т. п. По схеме б продукт перемещается с помощью груза по исследуемой неподвижной поверхности. Сила трения в этом случае равна минимальной массе груза, необходимой для равномерного перемещения продукта. Этим методом определяют коэффициент трения таких твердых продуктов, как сыр, рыба, кондитерские изделия. По схеме в продукт скользит по наклонной плоскости. Коэффициент трения определяется по минимальному углу наклона α поверхности испытуемого конструкционного материала, по которому скользит пищевой продукт. Такой метод позволил определить статический коэффициент трения сыра, сухарей, сыпучих продуктов. Определение коэффициента трения по углу наклона плоскости, при котором начинается движение продукта по поверхности, недостаточно точно, так как угол наклона плоскости в момент движения определяют приблизительно, к тому же невозможно установить изменение коэффициента трения с изменением скорости скольжения.

Ко второй группе относятся такие методы, при которых одна из фрикционных пар совершает вращательное движение. По схеме г продукт, закрепленный на упругой балочке, скользит по вращающейся поверхности из исследуемого материала. Этим методом определяли коэффициент трения мяса, рыбы, таблеток кофе и чая, сухарных плит, формового хлеба. По схеме д определяли коэффициент трения конфетных масс пралине. Продукт лежит на вращающемся диске, исследуемый конструкционный материал скользит по вращающемуся продукту. Сила трения определяется по крутящему моменту, передаваемому от диска образцу.

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

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

Изменение давления допускают методы, изображенные на всех схемах, кроме *ж*; изменение размера поверхности - методы *a* – *д*. Изменение скорости скольжения допускают все методы, кроме *в*.

Трибометр с тележкой (рисунок 2) позволяет определить силу трения и вычислить истинный и эффективный коэффициент внешнего трения. Исследуемый продукт 3 помещается в рамку, установленную на плоскую поверхность тележки 4. При помощи устройства 2 создается напряжение контакта между продуктом и поверхностью тележки. Тележка перемещается от электродвигателя 5 посредством тянущей нити. Рамка соединена с тензометрической балкой 1.

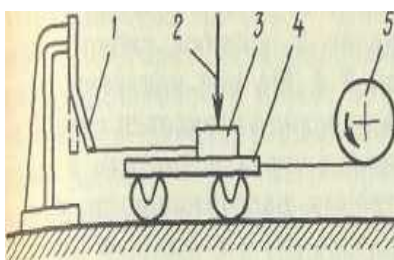


Рисунок 2 – Трибометр с тележкой

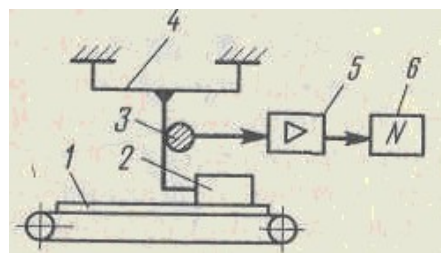


Рисунок 3 - Трибометр
УкрНИИпродмаша

Трибометр УкрНИИпродмаша предусматривает тензометрический способ определения коэффициентов трения штучных изделий. Суть его заключается в следующем. На конвейер 1 (рисунок 3) с испытуемой поверхностью устанавливается изделие 2, которое гибкой нитью связывается с консольной упругой балочкой 4. На ней наклеены тензорезисторы 3. При перемещении конвейера изделие увлекается силой трения, изгибая измерительную балочку. Сигнал через усилитель 5 поступает на осциллограф 6. Коэффициент трения рассчитывается как от ношение силы трения к массе изделия.

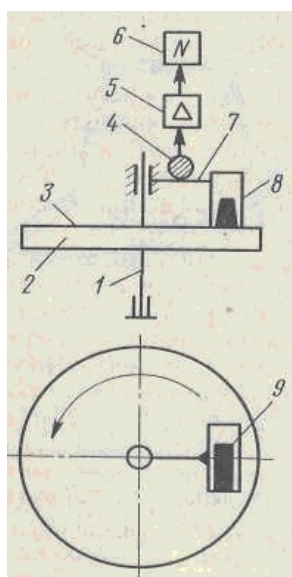


Рисунок 4 - Устройство А2-ШКФ

Устройство А2-ШКФ (рисунок 4) выполнено с вращающимся столом, на котором устанавливаются накладки 3 из разных фрикционных материалов. Стол 2 может вращаться с различной скоростью, что обеспечивается регулируемым приводом. Вал 1, на котором

смонтирован стол, полый, через него проходит стойка с прикрепленными к ней кронштейнами со штоками. К кронштейнам крепятся упругие измерительные балочки 7 с тензорезисторами 4 и рамки 8 для установки в них исследуемых изделий. При вращении стола изделия 9 увлекаются силами трения и изгибают измерительные балочки. Величина деформации балочек, пропорциональная силе трения, усиливается прибором 5 и фиксируется регистрирующей аппаратурой 6. Зная силу трения и массу изделия, можно определить коэффициент трения. Скорость скольжения изделия по столу может регулироваться и составлять 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 м/с.

Порядок проведения работы

- 1 Изучить основные теоретические сведения.
- 2 Ответить письменно на вопросы.
- 3 Оформить отчет о выполненной работе.

Контрольные вопросы, упражнения, задачи

- 1 Классификация И. В. Крагельского методов определения коэффициента трения.
- 2 Устройство и принцип работы трибометра с тележкой (зарисовать схему).
- 3 Устройство и принцип работы трибометра УкрНИИпродмаша (зарисовать схему).
- 4 Конструкция и принцип работы устройства А2-ШКФ (зарисовать схему).

Рекомендуемая литература

- 1 Мачихин Ю.А. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник.- М.: Агропромиздат, 1990. – С. 144 - 149.