

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 03.02.2021 18:22:24  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров



### РЕОЛОГИЯ СЫРЬЯ, ПОЛУФАБРИКАТОВ И ЗАГОТОВОК ИЗДЕЛИЙ

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для студентов направления 19.03.03 «Продукты питания животного  
происхождения»

Курск 2018

УДК: 579.2

Составитель: А.Г. Беляев

Рецензент

Кандидат фармакологических наук, доцент *Л.А. Горбачева*

**Реология сырья, полуфабрикатов и заготовок изделий: методические указания по выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.Г. Беляев. Курск, 2018. 59 с.: Библиогр.: с.59**

Приводится перечень лабораторных работ, цель их выполнения, материальное обеспечение, вопросы для подготовки, краткие теоретические сведения, задания, рекомендуемая литература.  
Предназначены для студентов направления подготовки 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения» очной, формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 15.02.18 Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 3,42 Уч.-изд. л. 3,10 Тираж 50 экз. Заказ. 1675 Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ О.Г. Локтионова

« » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**РЕОЛОГИЯ СЫРЬЯ, ПОЛУФАБРИКАТОВ И ЗАГОТОВОК  
ИЗДЕЛИЙ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для студентов направления 19.03.03 «Продукты питания животного  
происхождения»



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
<b>Правила оформления работ</b>	<b>5</b>
Лабораторная работа №1 Изучение реологических свойств молочных продуктов с помощью ротационного вискозиметра «Реотест».	6
Лабораторная работа №2 Изучение влияния массовой доли жира на структурно-механические свойства продуктов.	18
Лабораторная работа №3 Исследование тиксотропных свойств молочных продуктов.	21
Лабораторная работа №4 Исследование влияния массовой доли сухих веществ на влагоудерживающую способность и структурно-механические показатели молочно-белковых сгустков	24
Лабораторная работа №5 Изучение методики проведения измерений на ротационном вискозиметре Реотест	29
Лабораторная работа №6 Определение степени пенетрации	33
Лабораторная работа №7 Определение сдвиговых свойств мясного фарша на ротационном вискозиметре	38
Лабораторная работа №8 Определение усилия среза для целых тканей мяса	48
Лабораторная работа №9 Определение вязкости жидкообразных продуктов	54
Список рекомендуемой литературы	59

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к выполнению лабораторных работ предназначены для студентов направления для студентов направления подготовки 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения» с целью закрепления и углубления ими знаний, полученных на лекциях и при самостоятельном изучении учебной литературы,

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта. Перечень лабораторных работ, их объем соответствуют учебному плану и рабочей программе дисциплины. При подготовке к занятиям студенты должны изучить соответствующий теоретический материал по учебной литературе, приобрести умения по методам микробиологических исследований; приобрести знания и умения в области санитарии предприятий отрасли, необходимые будущему специалисту для поддержания высокого санитарного состояния производства, строгого соблюдения технологических условий для получения качественной продукции конспекту лекций, выполнить задания для самостоятельной работы. Студенты должны ознакомиться с содержанием и порядком выполнения лабораторной работы.

Каждое занятие содержит цель его выполнения, материальное обеспечение, рекомендуемые для изучения литературные источники, вопросы для подготовки, краткие теоретические сведения, задания для выполнения. При выполнении лабораторных работ основным методом обучения является самостоятельная работа студентов с высоким уровнем индивидуализации заданий под руководством преподавателя. Результаты выполненных каждым студентом заданий обсуждаются в конце занятий. Оценка преподавателем лабораторной работы студента осуществляется комплексно: по результатам выполненного задания, устному сообщению и качеству оформления работы, что может быть учтено в рейтинговой оценке знаний студента

### **Правила оформления работ**

1. Отчеты по каждой теме лабораторного занятия оформляются в отдельной тетради.
2. Перед оформлением каждой работы студент должен четко написать ее название, цель выполнения, краткие ответы на вопросы для подготовки, объекты и результаты исследования. Если предусмотрено оформление работ в виде таблиц, то необходимо все результаты занести в таблицу в тетради. После каждого задания должно быть сделано заключение с обобщением, систематизацией или обоснованием результатов исследований.
3. Каждую выполненную работу студент защищает в течение учебного семестра.

Выполнение и успешная защита лабораторных работ являются допуском к сдаче теоретического курса на экзамене.

## **Лабораторная работа №1 Изучение реологических свойств молочных продуктов с помощью ротационного вискозиметра «Реотест».**

Цель работы: *ознакомится с порядком работы на ротационном вискозиметре «Реотест».*

Задание: *определить коэффициент вязкости, касательное напряжение различных молочных продуктов (молока, кефира, сливок) при различных градиентах скорости сдвига. Построить кривые течения продуктов.*

### **Приборы и материалы**

1. Ротационный вискозиметр «Реотест».
2. Термометр.
3. Мерный стакан.
4. Молоко.
5. Кефир.
6. Сливки.

### **Устройство ротационного вискозиметра и порядок работы на приборе**

Прибор «Реотест» произведен в Германии. Схема прибора представлена на рис. 1. Вискозиметр «Реотест» состоит из четырех основных узлов: станины, переключающих приводов, измерительной части и измерительной головки. Внутри станины 1 прибора установлен синхронный электродвигатель, соединенный с двенадцатиступенчатой коробкой передач. Частота питающего тока измеряется прибором 7. Вращающий момент передается от коробки передач на ведущий вал 9 и далее через спиральную пружину 10 на ведомый вал 12, который при помощи муфты 14 соединен с внутренним цилиндром 16. Наружный цилиндр 15 с исследуемым материалом укрепляется на корпус вискозиметра посредством специального зажима 5. Посредством аналогичного зажима 2 к наружному цилиндру подвешивается термостатный сосуд 17, температура жидкости в котором измеряется термометром 13.



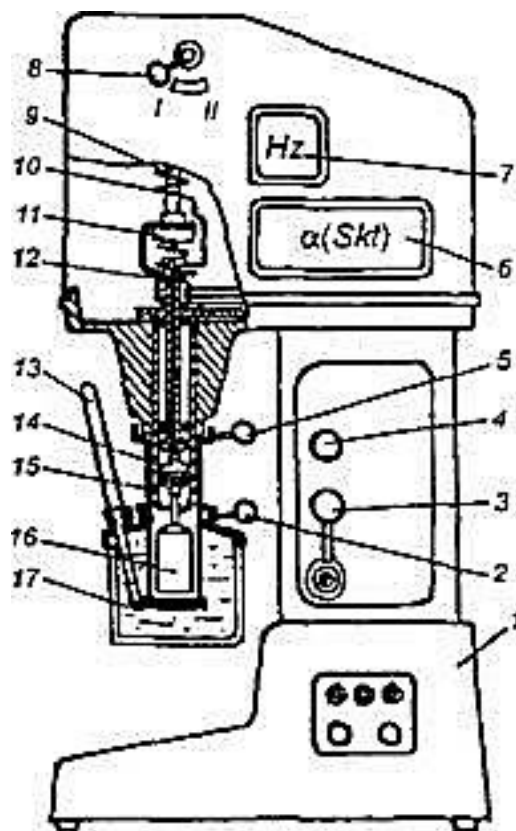


Рис.1. Схема ротационного вискозиметра «Реотест»:

1 – станина; 2 – зажим; 3 – рычаг; 4 – указатель; 5 – зажим;  
 6 – показывающий прибор; 7 – прибор для измерения частоты питающего тока; 8 – рычаг; 9 – ведущий вал; 10 – спиральная пружина; 11 – омические датчики; 12 – ведомый вал; 13 – термометр; 14 – муфта; 15 – наружный цилиндр;  
 16 – внутренний цилиндр; 17 – термостатный сосуд

Отсчет производится: крутящего момента – по шкале 6, частоты вращения – по указателю 4. Требуемая передача устанавливается рычагом 3. Рычагом 8 устанавливается один из двух диапазонов измерения крутящего момента. Измерение угла закручивания торсиона осуществляется посредством омических датчиков 11, соединенных с показывающим прибором 6, проградуированным в единицах момента.

Принцип действия прибора заключается в следующем. Наружный цилиндр неподвижен. Внутренний цилиндр приводится во вращение от электродвигателя со скоростью от 0,3 до 240 об/мин. Исследуемое вещество 1 (рис. 2) помещается в цилиндрический стакан 2 со съёмным дном, после чего стакан надевается на внутренний цилиндр 3 и закрепляется на корпусе прибора.

Помещенный в зазоре между цилиндром материал приходит в движение таким образом, что скорость его частиц на поверхности внутреннего цилиндра оказывается равной скорости этой поверхности, а частицы жидкости на поверхности стакана остаются неподвижными, т. е. течение образуется с градиентом скорости сдвига.

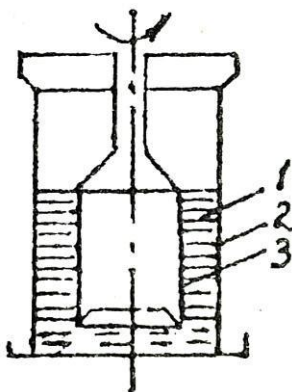


Рис.2. Схема устройства измерительных цилиндров:  
1 – исследуемое вещество; 2 – цилиндрический стакан; 3 – внутренний цилиндр

Это приводит к возникновению сил трения в жидкости, которые оказывают тем большее сопротивление вращению внутреннего цилиндра, чем выше вязкость материала.

Следовательно, о вязкости материала, находящегося в зазоре между цилиндрами, можно судить по величине момента сопротивления вращению внутреннего цилиндра.

Прибор допускает изменение пределов моментов путем модификации постоянной торсиона с помощью рукоятки, расположенной на левой стороне прибора. Так, на первом диапазоне максимальный крутящий момент составляет  $2 \cdot 10^{-2}$  Н·м, а на втором диапазоне  $10^{-1}$  Н·м.

Измерение коэффициента вязкости материала можно осуществлять при различной частоте вращения внутреннего цилиндра, а следовательно, и при различных значениях градиентов скорости сдвига (от  $0,167$  до  $1312$  с<sup>-1</sup>), для чего на станине прибора вмонтирована коробка передач на 12 скоростей. Кроме того, еще 12 промежуточных скоростей вращения цилиндра можно получить путем изменения частоты вращения электродвигателя.

Требуемая передача устанавливается рычагом, расположенным в средней части левой стенки прибора. Изменение частоты

вращения электродвигателя осуществляется переключением из положения «а» в положение «в» и обратно рычагом, расположенным на нижней панели той же стенки прибора. Там же расположены выключатели электродвигателя и показывающего прибора, а также розетка для подключения записывающего устройства.

Прибор допускает измерение коэффициента вязкости в пределах от 0,01 до 10000 Па·с и касательного напряжения от 12 до 3000 Па. Погрешность вязкости ньютоновских жидкостей 3%.

На рис. 3 представлен ротационный вискозиметр «Реотест-2».



Рис.3. Ротационный вискозиметр «Реотест-2»

В модели ротационного вискозиметра «Реотест-2» предусмотрено наличие измерительного цилиндра N, который позволяет исследовать материалы с маленькой вязкостью.

На рис. 4 приведены измерительные емкости и цилиндры, используемые на двух рассмотренных моделях ротационных вискозиметров.

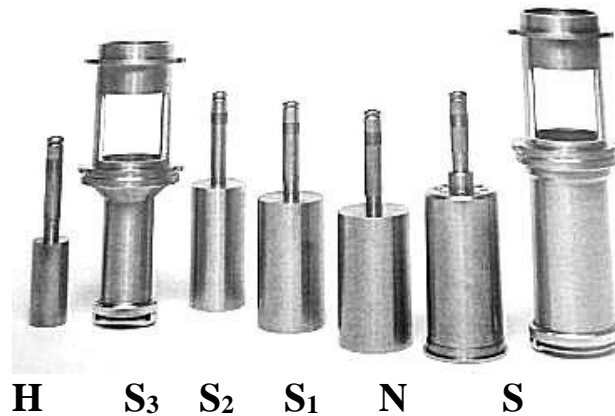


Рис. 4. Измерительные емкости и цилиндры

### Подготовка к измерениям

1. Ознакомиться с устройством прибора.
2. Выбрать измерительное устройство, используя данные, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

**Диапазон использования измерительных устройств**

Измерительное устройство	Соотношение радиусов	Положение рукоятки изменения постоянной торсионной	Диапазон измерений касательного напряжения, $\tau$	Градиент скорости сдвига $\dot{\gamma}$ , $\text{с}^{-1}$	Коэффициент эффективной (динамической) вязкости $\eta$ , Па·с	
					общие пределы	предпочтительно
S <sub>1</sub>	0,98	I	11–110	1,5–1310	0,01–75	0,01–60
		II	55–550		0,05–375	
S <sub>2</sub>	0,94	I	12–120	0,5–437	0,03–240	0,10–200
		II	60–600		0,15–1200	
S <sub>3</sub>	0,81	I	16–160	1,6–146	0,12–1000	0,50–1000
		II	80–800		0,60–5000	
H	0,81	I	60–600	1,6–146	0,40–3600	2,50–10000
		II	300–3000		2,00–18000	

С измерительной емкостью 15 (см. рис. 1) можно по выбору комбинировать три измерительных цилиндра (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> и S<sub>3</sub>) с различными пределами касательного напряжения, градиента скорости сдвига и вязкости исследуемого вещества. Измерительное устройство H с измерительной емкостью H и измерительным цилиндром H предназначено для материалов большей вязкости. В табл. 1 наряду с указанием общих пределов коэффициентов эффективной (динамической) вязкости приведены данные

о рекомендуемой области применения соответствующего измерительного устройства (пределы коэффициентов вязкости для отдельных измерительных устройств перекрывают друг друга).

3. Тщательно очистить и высушить измерительное устройство и запорную крышку измерительной емкости. Перед каждой загрузкой необходимо также снимать и очищать уплотнения запорной крышки.

4. Наполнить стакан измерительного устройства исследуемым материалом в необходимом количестве (табл. 2).

Таблица 2

**Количество исследуемого образца для различных измерительных устройств**

Измерительное устройство	N	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	H
Объем наполнения, см <sup>3</sup>	10	25	30	50	17

Необходимое количество вещества часто определяют взвешиванием вместо определения объема. Массу вещества в килограммах определяют по формуле

$$M = \rho \cdot V$$

, где  $\rho$  – плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – объем, м<sup>3</sup>.

5. Закрепить в цанговом зажиме внутренний цилиндр.

6. Осторожно надеть на внутренний цилиндр стакан с исследуемым веществом, подать его вверх до упора. Слегка поворачивая по часовой стрелке и в обратном направлении, ввести стакан в специальные пазы, после чего он уже не будет проворачиваться. Обозначение S или H должно находиться спереди. Стопорный рычаг 5 должен указывать налево при продвижении измерительной емкости вверх. Измерительную емкость стопорят путем поворота рычага направо.

7. Подсоединить термостатную емкость 17 с термометром 13 к термостату. Термостатную емкость 17 с вложенными уплотнениями надо посадить на измерительную емкость 15. При продвижении вверх емкости 17 отвести стопорный рычаг 2 направо. Термостатную емкость можно стопорить путем поворота стопорного рычага налево.

8. Включить термостат. Следует наблюдать за тем, чтобы включение термостата производилось только тогда, когда термостатная емкость насажена на измерительную емкость и застопорена. При насадке термостатной емкости следует обратить внимание на уровень жидкости во избежание ее перелива.

9. Установить контактный термометр термостата на нужное значение температуры. Измерения могут проводиться в интервале температур от  $-30$  до  $+150$  °С.

Для термостатирования используют: при температуре от  $+1$  до  $+95$  °С – дистиллированную воду; при температуре от  $+80$  до  $+150$  °С – глицерин чистый или смешанный с водой в соответствующих пропорциях; при температуре от  $-30$  до  $+30$  °С – этиловый спирт чистый или в смеси с водой.

Для термостатирования необходимо время от 10 до 20 мин в зависимости от исследуемого материала и зазора между цилиндрами.

10. Выполнить измерение коэффициента вязкости. Вязкость текучих веществ в значительной степени зависит от температуры. Поэтому измерение коэффициента вязкости должно производиться параллельно с определением температуры. Такая возможность имеется в данном вискозиметре, где измерительная емкость 15 находится внутри термостатной емкости 17, благодаря чему при подключении жидкостного циркуляционного термостата гарантируется термостатирование измерительного зазора.

11. Выключить термостат и отсоединить от него прибор.

12. Снять сосуд с термостатом. Термостатная емкость, снятая с измерительной емкости, должна отключаться от термостата с незакрытым насосом и располагаться выше уровня термостата для того, чтобы жидкость не вытекала из отверстия термостатной емкости.

13. Снять стакан с исследуемым веществом и удалить последнее.

14. Снять внутренний цилиндр, тщательно вымыть цилиндры и насухо протереть мягкой тканью.

### **Порядок проведения измерений**

1. Установить рычаг переключателя скоростей в первое положение, которое соответствует наименьшей частоте враще-

ния ци- линдра.

2. Переключатель частоты вращения ротора электродвигателя повернуть в положение «в».

3. Включить электродвигатель.

4. Включить показывающий прибор и записать в журнал наблюдений его показателя.

5. Перевести рычаг коробки скоростей во второе положение и вновь записать показания прибора.

6. Остановить мотор, изменить его частоту вращения, поставить переключатель в положение «а», а рычаг коробки скоростей – в первое положение.

7. Включить мотор и записать показания прибора.

8. Не выключая мотор, поставить переключатель в положение «в», а рычаг коробки скоростей в третье положение, записать показания прибора.

9. Заносить показания прибора в журнал наблюдений после каждого изменения частоты вращения внутреннего цилиндра, изменяя ее в таком порядке, какой указан в первой и второй верхних строках таблицы в паспорте прибора (1в, 2в, 1а, 3в, 2а и т. д.) (см. Приложение).

Изменение частоты вращения цилиндра можно осуществить переключением рычага коробки скоростей и переключателя частоты вращения электродвигателя без выключения электродвигателя. Однако при этом надо следить, чтобы градиент скорости сдвига изменялся последовательно, в том порядке, как это указано в таблице, приведенной в паспорте. При измерении коэффициента вязкости ньютоновской жидкости переключение скоростей не имеет значения. Его следует строго соблюдать только при измерении коэффициента вязкости структурированных веществ.

Например, за частотой вращения под номером 4в следует частота вращения под номером 3а. Переключать частоту вращения надо с такой последовательностью: сначала понизить ее, переводя рычаг переключателя частоты из четвертого в третье положение, и лишь после этого изменить (увеличить) число оборотов электродвигателя, переводя ручку переключателя из положения «в» в положение «а».

Тогда градиент скорости сдвига увеличится от 8,1 (для измерительного устройства S) до 9,0 с<sup>-1</sup>.

Если же сначала повысить число оборотов электродвигателя, переводя ручку переключателя частоты вращения из положения «в» в положение «а», то частота вращения цилиндра окажется той, которая соответствует скорости под номером 4а, и в исследуемой структурированной системе возникает градиент скорости сдвига 16,2, а не 9,0 с<sup>-1</sup>; т. е. некоторое время, пока будет переводиться рычаг коробки скоростей из четвертого положения в третье, исследуемая среда будет испытывать большее механическое воздействие, чем при скорости, соответствующей номеру 3а, и структура исследуемой системы разрушится больше, чем следует. Показания прибора при скорости под номером 3а окажутся заниженными.

Иногда бывает достаточно произвести измерения при каком-либо одном положении переключателя частоты вращения (или «а», или «в»).

Чтобы охватить большой диапазон изменения градиента скорости сдвига, целесообразно установить этот переключатель в положение «в». Записать показания прибора при всех двенадцати скоростях, переключить рычаг коробки скоростей на одиннадцатую скорость, переключить частоту вращения электродвигателя, повернуть переключатель из положения «в» в положение «а», измерить коэффициент вязкости при скоростях, соответствующих номерам 11а и 12а.

10. Не выключая электродвигателя, выполнить измерения коэффициента вязкости, изменяя частоту вращения цилиндра в обратном порядке.

11. Для регистрации изменения вязкости веществ во времени целесообразно к вискозиметру подключить электрический записывающий прибор.

12. Если стрелка показывающего прибора зашкаливает, то следует изменить постоянную торсиона, переводя рукоятку из положения I в положение II.



### Обработка результатов измерений

По результатам измерений вычисляются реологические показатели, на основании которых для структурно-вязких веществ строятся кривые текучести, определяющие зависимость касательного напряжения от градиента скорости сдвига.

Вычислить касательные напряжения  $\tau$  в паскалях, возникающие в коаксиальном зазоре при каждой из имевших место частот вращения цилиндра, по формуле

$$\tau = Z \cdot \alpha \cdot 0,1,$$

где  $Z$  – постоянная измерительного устройства, Па/дел. шкалы;

$\alpha$  – показания прибора в делениях шкалы (учитывает момент сопротивления магнитной муфты измерительного узла).

Значения, зависящие от размеров системы цилиндров и постоянной пружины динамометра, указаны для каждого измерительного устройства отдельно в пределах касательного напряжения областей I и II в табл. 3.

Таблица 3

Значения постоянной измерительного устройства

Измерительное устройство	Постоянная для положения рычага	
	I	II
S <sub>1</sub>	11,5	56,2
S <sub>2</sub>	12,2	60,1
S <sub>3</sub>	15,9	78,1
H	56,8	283,6

Градиент скорости сдвига показывает изменение скорости в кольцевой цепи. Она зависит от размера системы цилиндров, а также пропорциональна частоте вращения внутреннего цилиндра. Приведенные в табл. 3 показатели градиента скорости сдвига соответствуют частоте переменного тока 50 Гц. Отклонения частоты сети от этого значения корректируются согласно формуле

$$\dot{\gamma}_K = \dot{\gamma}_{\text{табл}} \cdot \nu / 50,$$

где  $\dot{\gamma}_k$  – градиент скорости сдвига после коррекции,  $\text{с}^{-1}$ ;  
 $\dot{\gamma}_{\text{табл}}$  – градиент скорости сдвига по паспорту,  $\text{с}^{-1}$ ; – частота,  
 $\nu$  Гц.

Определив касательное напряжение  $\tau$  и градиент скорости сдвига  $\dot{\gamma}$ , построить на миллиметровке первичную реограмму  $\tau = f(\dot{\gamma})$ . По точке пересечения этой кривой с осью абсцисс ( $\dot{\gamma} = 0$ ) принимаем значение предельного касательного напряжения.

Вычислить значения коэффициента эффективной вязкости, соответствующие ранее найденным значениям касательного напряжения, по формуле

$$\eta = \tau / \dot{\gamma}$$

где  $\eta$  – коэффициент эффективной вязкости,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ .

После вычисления коэффициента эффективной вязкости для каждого измерения в логарифмических шкалах построить графики зависимости  $\eta = f(\dot{\gamma})$ .

Полученные данные занести в журнал наблюдений (табл. 4).

Таблица 4

Шаблон записи результатов измерений

№ п/п	Исследуемый продукт	Область касательного напряжения	Степень скорости	Постоянная цилиндра, Z (см. табл. 3)	Градиент скорости сдвига, $\dot{\gamma}$ , $\text{с}^{-1}$	Показания измерительного прибора $\alpha$	Касательное напряжение $\tau = Z \cdot \dot{\gamma} \cdot \alpha$ , Па	Коэффициент эффективной вязкости $\eta = \tau / \dot{\gamma}$ , $\text{Па} \cdot \text{с}$

### Контрольные вопросы

1. Из каких основных узлов состоит ротационный вискозиметр?
2. Опишите порядок работы на «Реотесте».
3. На чем основан выбор измерительного устройства при

проведении измерений?

4. Что такое вязкость; каким образом проводят вычисление коэффициента эффективной вязкости?

## **Лабораторная работа № 2 Изучение влияния массовой доли жира на структурно-механические свойства продуктов.**

Цель работы: *исследовать каким образом влияет массовая доля жира в продуктах на структурно-механические свойства.*

Задание: *определить устойчивость структуры продуктов с различной массовой долей жира (кефир, сметана, творог с разной массовой долей жира) к механическому воздействию, исследовать как меняется эффективная вязкость при увеличении массовой доли жира. Определить такие показатели, как коэффициент потерь вязкости (%), коэффициент механической стабильности, восстановление структуры (%).*

### **Приборы и материалы**

1. Ротационный вискозиметр «Реотест».
2. Мерный стакан.
3. Термометр.
4. Весы.
5. Два образца кефира с различной массовой долей жира.
6. Образцы сметаны с м.д. жира 15% и 20%.
7. Два образца творога с разной массовой долей жира.

В предложенных образцах молочных продуктов определить коэффициент вязкости при постоянном действии однородного поля сдвига (при двух значениях градиента скорости сдвига) в течение 2 мин. Показания прибора снимаются через каждые 15 сек. После этого оставить образец в покое на 15 мин для восстановления структуры (при выключенном приборе), а затем снова измерить коэффициент вязкости. Результаты занести в таблицу (табл. 5).

По полученным данным построить кривую изменения коэффициента эффективной вязкости в процессе разрушения структуры (пример приведен на рис. 5).

Таблица 5

**Шаблон для записи результатов исследования изменения коэффициента эффективной вязкости во времени (при двух градиентах скорости сдвига)**

Градиент скорости сдвига = (указать значение, при котором проводили измерения)

Показателя прибора	Время, с									
	5	0	5	0	5	0	05	20	900 (через 15 мин)	
$\alpha_1$										
$\alpha_2$										
$\alpha_{\text{ср}}$										
$\eta$ , Па·с										

Градиент скорости сдвига = (указать значение, при котором проводили измерения)

Показателя прибора	Время, с									
	5	0	5	0	5	0	05	20	900 (через 15 мин)	
$\alpha_1$										
$\alpha_2$										
$\alpha_{\text{ср}}$										
$\eta$ , Па·с										

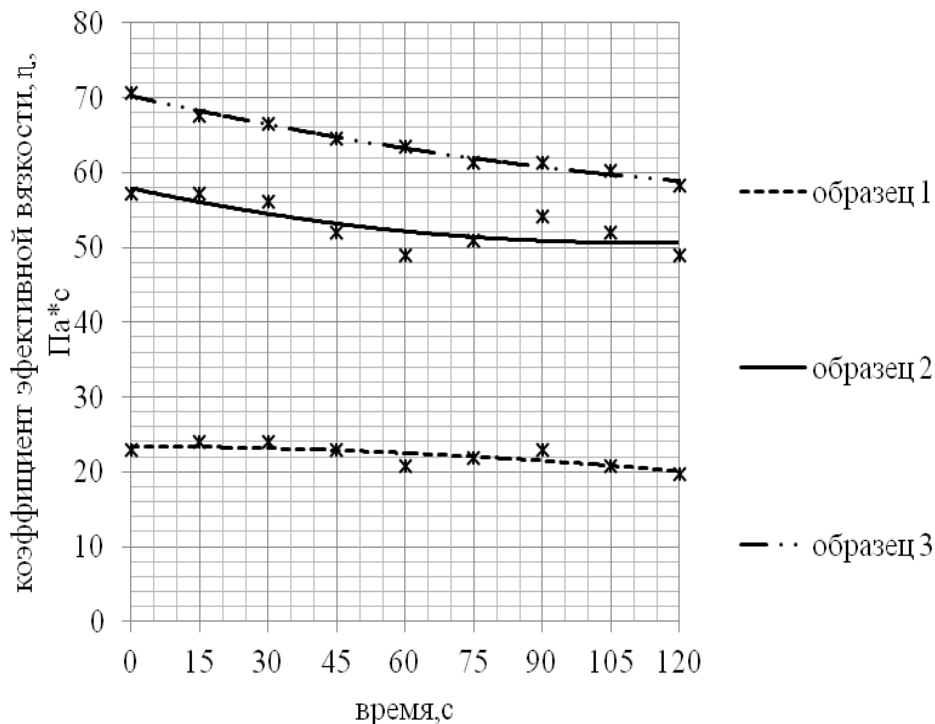


Рис. 5. Изменение коэффициента эффективной вязкости во времени

Рассчитать показатели, характеризующие устойчивость структуры и ее тиксотропные свойства:

1. Коэффициент потерь вязкости, %:

$$\Pi_{\eta} = (\eta_n - \eta_p) \cdot 100 / \eta_n,$$

где  $\eta_n$  – первоначальная вязкость неразрушенной структуры (вязкость в момент включения прибора);

$\eta_p$  – вязкость максимально разрушенной структуры (последнее измерение).

2. Коэффициент механической стабильности:

$$\text{КМС} = \eta_n / \eta_p.$$

3. Восстановление структуры, %:

$$V_{\eta} = \eta_v \cdot 100 / \eta_n,$$

где  $\eta_v$  – вязкость, измеренная после восстановления структуры в течение 15 мин.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие показатели характеризуют устойчивость структуры продуктов?
2. Опишите методику определения устойчивости структуры к механическому воздействию.
3. Как определить коэффициент механической стабильности?

### **Лабораторная работа № 3 Исследование тиксотропных свойств молочных продуктов.**

Цель работы: *исследовать тиксотропные свойства различных образцов молочных продуктов.*

Задание: *определить коэффициент эффективной вязкости при различных градиентах скорости сдвига (на прямом и обратном ходу) и построить кривые течения (для каждого образца продукта построить нисходящую и восходящую ветви).*

#### **Приборы и материалы**

1. Ротационный вискозиметр «Реотест».
2. Весы.
3. Термометр.
4. Мерный стакан.
5. Образцы молочных продуктов (кефир, сметана, творог).

В исследуемых образцах молочных продуктов определить коэффициент эффективной вязкости при различных градиентах скорости сдвига – результаты измерений занести в таблицу по форме, представленной в табл. 6.

При этом в таблицу заносят средние значения  $\alpha$ , полученные от трех измерений. По ним вычисляют предельное напряжение сдвига и коэффициент эффективной вязкости, и строят кривые течения (зависимость коэффициента вязкости от градиента скорости сдвига) в логарифмических координатах (пример приведен на рис. 6).

По площади между нисходящей и восходящей ветвями для каждого отдельного продукта судят о способности структуры продукта к восстановлению – чем меньше площадь между ветвями, тем больше способность структуры продукта к восстановлению, т.е. более выражены тиксотропные свойства.

Таблица 6

**Шаблон для записи результатов исследования образца продукта при различных градиентах скорости сдвига**

Наименование образца (продукта)	Степень скорости	Градиент скорости сдвига, с <sup>-1</sup>	Показание прибора		Касательное напряжение, Па		Коэффициент эффективной вязкости, Па·с	
			$\alpha_1$ (1a-12a)	$\alpha_2$ (11a-1a)	$\tau_1$ (1a-12a)	$\tau_2$ (11a-1a)	$\eta_1$ (1a-12a)	$\eta_2$ (11a-1a)
а	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
0а	1							
	1а							
	2а							



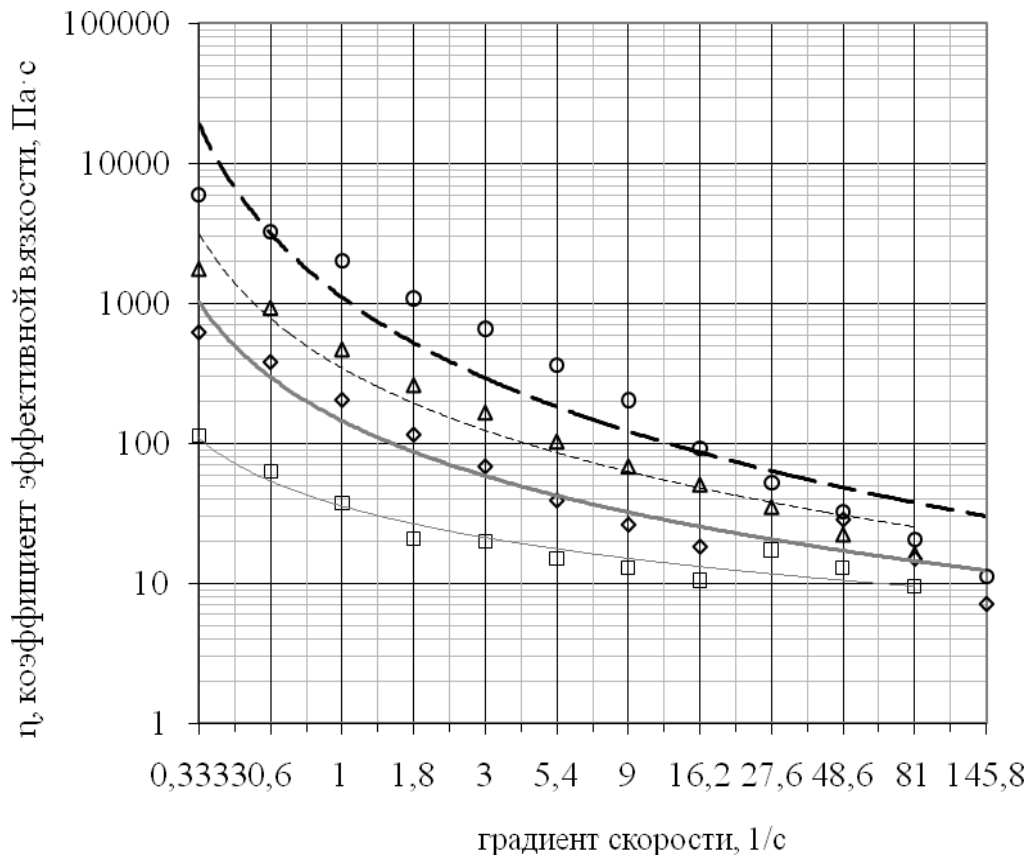


Рис. 6. Кривые течения исследуемых образцов:  
 — нисходящая ветвь образец 1; — восходящая ветвь образец 1;  
 — нисходящая ветвь образец 2; - - - - - восходящая ветвь образец 2

### Контрольные вопросы

1. Что такое тиксотропные свойства?
2. Как можно определить тиксотропные свойства исследуемого продукта?

## **Лабораторная работа № 4 Исследование влияния массовой доли сухих веществ на влагоудерживающую способность и структурно-механические показатели молочно-белковых сгустков**

*Цель работы: выявить, как изменяется вязкость, тиксотропные свойства и способность молочного сгустка к отделению сыворотки по мере увеличения содержания в нем сухих веществ.*

*Задание: определить коэффициент эффективной вязкости молочных сгустков с различной массовой долей сухих веществ, изучить тиксотропные свойства и определить влагоудерживающую способность методом центрифугирования.*

Концентрация сухих веществ в молоке оказывает значительное влияние на характер структуры, образующейся при его сквашивании. При увеличении содержания сухих веществ снижается количество растворителя, повышаются силы взаимодействия частиц сухого вещества вследствие их сближения. Усиливаются действующие связи и увеличивается число возникающих новых связей отдельных атомных групп, ранее экранированных растворителем. Это приводит к изменению типа образующейся структуры, а следовательно, и к изменению ее вязкости и прочности.

Дисперсные структуры, образованные белками молока, подвергаются синерезису. Частицы казеина окружены молекулами воды, создающими вокруг них водную оболочку, которая удерживается межмолекулярными силами гидрофильных групп молекулы казеина (ОН, СООН и др.). В изоэлектрической точке связь молекул воды с казеиновыми частицами уменьшается, защитная оболочка делается тоньше, электрический заряд снимается, и происходит коагуляция казеина. Получается желеобразный сгусток, который с течением времени сжимается, выделяя сыворотку. Способность молочных сгустков отделять сыворотку зависит от концентрации сухого вещества в исходном молоке.

### **Приборы и материалы**

1. Химические стаканы вместимостью 150 и 600 мл.
2. Пипетки.

3. Термометр.
4. Термостат воздушный.
5. Ротационный вискозиметр «Реотест».
6. Центрифуга.
7. Центрифужные пробирки.
8. Воронки.
9. Набор реактивов для определения титруемой кислотности.
10. РН-метр.
11. Обезжиренное молоко.
12. Закваска на чистых культурах молочнокислых бактерий.
13. Сухое обезжиренное молоко.
14. Марля.

### **Порядок выполнения работы**

Подготовить для сквашивания образцы молока с разной массовой долей сухих веществ. Чтобы исключить влияние других факторов, следует использовать сухое обезжиренное молоко одной партии. Расчет необходимого для восстановления количества сухого молока производится по следующей формуле:

$$K_M \cdot C_{BM} = K_C \cdot (100 - B_C) / n,$$

где  $K_M$  – необходимое количество восстановленного молока, кг;

$C_{BM}$  – необходимое содержание сухих веществ в восстановленном молоке, %;

$K_C$  – количество сухого молока, кг;

$B_C$  – массовая доля влаги в сухом молоке ( $B_C=4$ ), %;

$n$  – растворимость сухого молока ( $n=0,98$ ).

Готовятся образцы с массовой долей сухих веществ 8,0; 12,0; 15,0; 18,0; 21,0; 24,0 %. Необходимое по расчету количество сухого молока растворяют в воде с температурой 40 °С, оставляют для набухания белков в течение часа, фильтруют, пастеризуют при 95 °С с выдержкой в течение 2 мин. Затем охлаждают до температуры заквашивания, равной 32 °С, вносят закваску в количестве 0,5–3 % (в зависимости от ее активности) и сквашивают при 30

°С до одинакового конечного значения рН примерно 4,5. Полученные образцы охлаждают до 20 °С и анализируют.

### **Задание 1**

Образцы подвергнуть деформированию на ротационном вискозиметре «Реотест-2» в интервале величин градиентов скорости сдвига от 2,7 до 1312 с<sup>-1</sup>, используя внутренний цилиндр N. Снимают показание измерительного узла ( ) при последовательном увеличении градиента скорости сдвига и, спустя 15 мин, при его уменьшении.

### **Задание 2**

Порядок определения показателей, характеризующих устойчивость структуры к разрушению при механическом воздействии и ее способность к тиксотропному восстановлению приведен в лабораторной работе 2. При выполнении данного задания образцы подвергают воздействию однородного поля сдвига при постоянном градиенте скорости сдвига – при одном значении градиента скорости сдвига.

### **Задание 3**

Для определения влагоудерживающей способности 10 мл исследуемого образца помещают в центрифужную пробирку и проводят центрифугирование в течение 30 мин при скорости 1500 мин<sup>-1</sup>, замеряя количество отделившейся сыворотки через каждые 5 мин.

### **Обработка результатов**

Результаты измерений и расчетов при выполнении задания 1 записывают в таблицу по форме, представленной в табл. 6.

Для расчета коэффициента вязкости использовать формулы, приведенные на с. 16, 17. По результатам построить в логарифмических координатах кривые течения. Провести их анализ.

При выполнении задания 2 результаты измерений и расчетов записывают в таблицы 5 (при одном градиенте скорости сдвига) и 7.

По полученным результатам строят кривую, отражающую из-

менение коэффициента эффективной вязкости в процессе разрушения структуры сгустка и рассчитывают следующие показатели: коэффициент потерь вязкости (%), коэффициент механической стабильности, восстановление структуры (%) (см. лабораторную работу № 2), данные заносят в таблицу по форме, представленной в табл. 7.

Таблица 7

**Шаблон для записи результатов исследования образцов с различной массовой долей сухих веществ**

Массовая доля сухих веществ, %	$\eta^h$	$\eta^p$	$\eta^b$	П, %	К, МС	В, %
	Па·с					
8,0						
12,0						
15,0						
18,0						
21,0						
24,0						

Результаты измерений в соответствии с заданием 3 записывают в таблицу (табл. 8).

Таблица 8

**Шаблон для записи результатов исследования влагоудерживающей способности образцов молочно-белковых сгустков**

Время центрифугирования, мин	Количество сыворотки, выделившейся из образцов с массовой долей сухих веществ, %					
	8,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0
5						
10						
15						
20						
25						
30						

Анализируя полученные результаты, делают вывод о влиянии сухих веществ на тиксотропные свойства и влагоудерживающую способность молочных сгустков.

### Контрольные вопросы

1. Как рассчитывается коэффициент потерь вязкости?
2. Каким методом определяют влагоудерживающую спо-

способность молочных сгустков? Опишите подробно данный метод.

3. Как влияет увеличение массовой доли сухих веществ в продукте на его тиксотропные свойства и влагоудерживающую способность?

## **Лабораторная работа № 5 Изучение методики проведения измерений на ротационном вискозиметре Реотест**

Цель работы: *ознакомиться с прибором Rheotest RN 4.1.*

Задание: *ознакомиться с устройством и методикой измерения на ротационном вискозиметре Rheotest RN 4.1.*

### **Приборы и материалы**

1. Ротационный вискозиметр Rheotest RN 4.1.

### **Ротационный вискозиметр Rheotest RN 4.1**

Автоматический универсальный ротационный вискозиметр RN 4.1 произведен в Германии и предназначен для определения коэффициента динамической вязкости ньютоновских и неньютоновских жидкостей. Прибор состоит из вискозиметра со штативом, блока управления, измерительного устройства и термостата. Как правило, для веществ с низкой вязкостью применяется цилиндрическая измерительная система, с высокой вязкостью – измерительная система конус-пластина.

Работает вискозиметр под управлением персонального компьютера. Устройство вискозиметра приведено на рис. 7.

Вискозиметр состоит из измерительного привода 1 с быстроразъемным соединением 2 для ротора или конуса и соединителя измерительной трубки 3, соединительного кабеля для подключения блока управления 4 и штатива 5 (позволяющего плавно регулировать рабочую высоту измерительного привода) с направляющей измерительной пластины 6.

Данный ротационный вискозиметр в отличие от рассмотренного ранее вискозиметра «Реотест» (см. лабораторную работу № 1) позволяет автоматически получать кривые вязкости и текучести, которые выводятся на экран подключенного к прибору компьютера в результате проводимых измерений (рис. 8). Также возможно получать результаты измерений в виде таблицы.

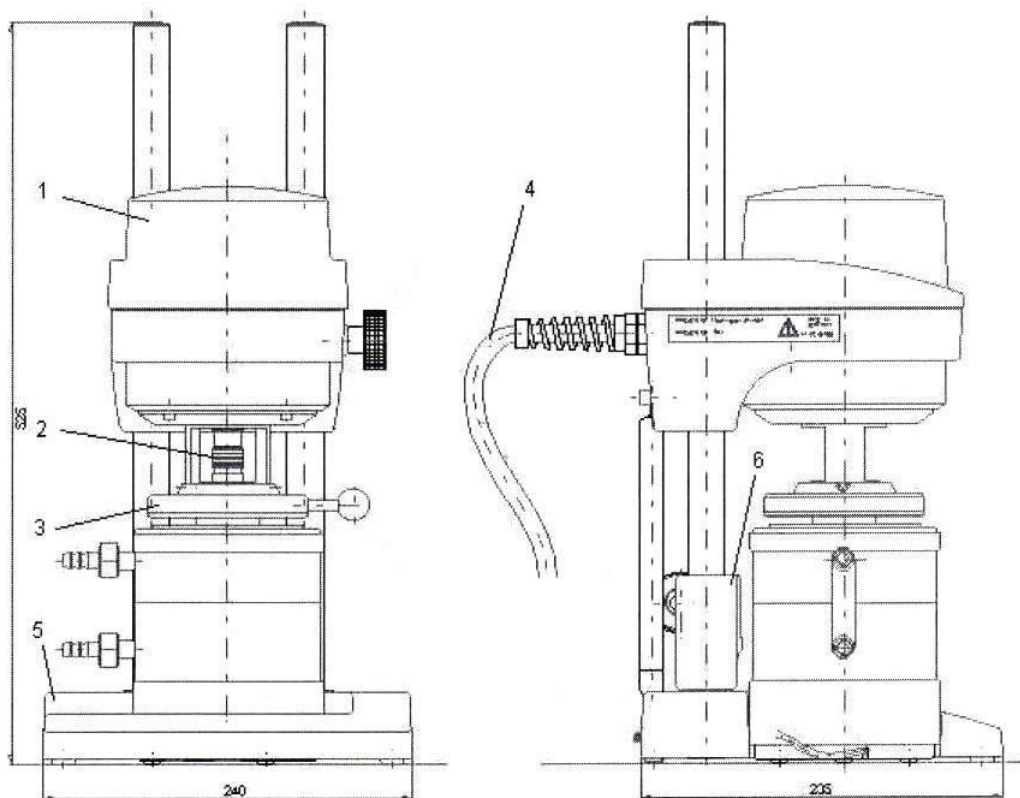
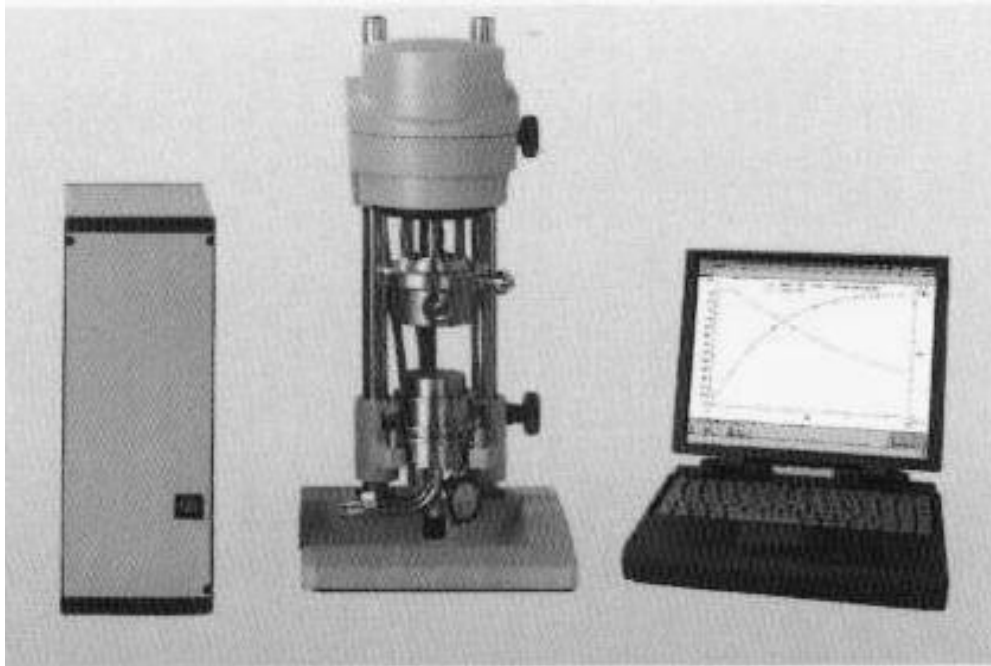


Рис. 7. Ротационный вискозиметр Rheotest RN 4.1:  
 1 – измерительный привод; 2 – быстроразъемное соединение;  
 3 – соединитель измерительной трубки; 4 – соединительный кабель; 5 – штатив;  
 6 – направляющая измерительной пластины



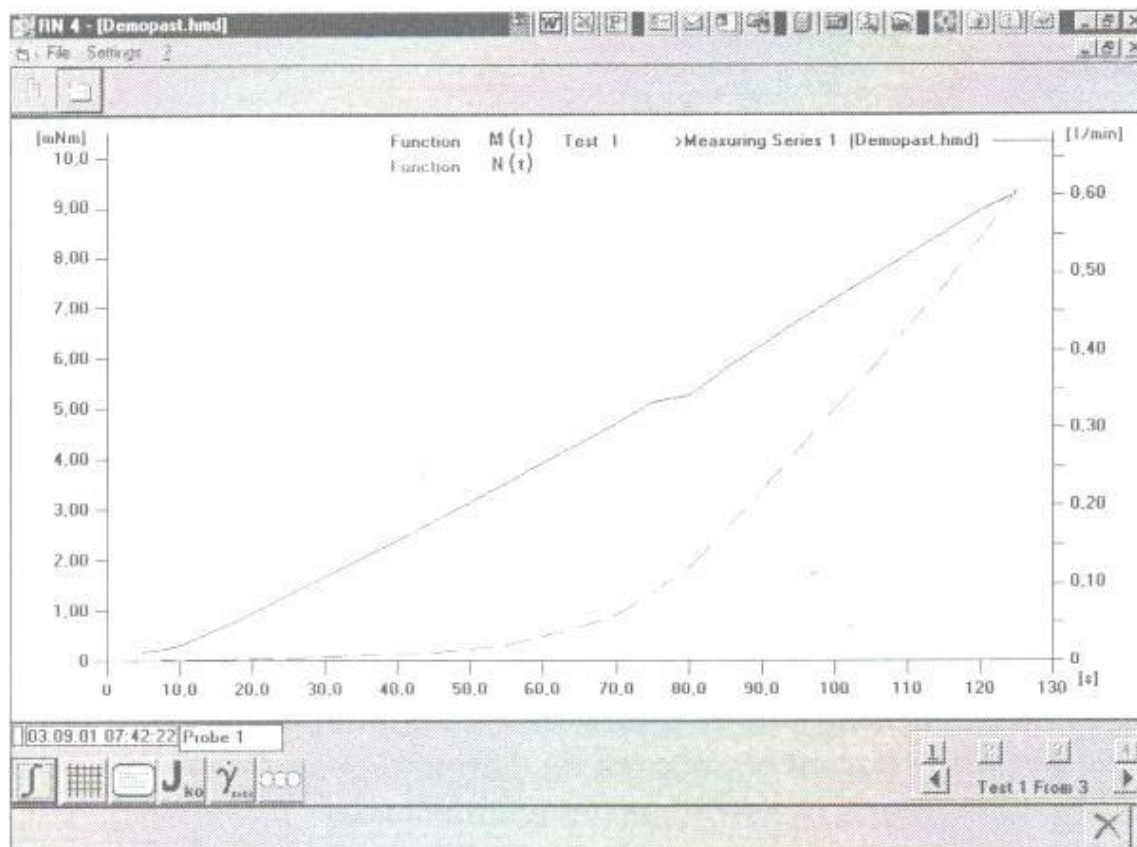


Рис. 8. Графическое представление результатов измерений

Кроме того, параметры конкретного эксперимента задаются перед проведением исследований путем введения соответствующих характеристик в программу.

Для проведения исследований и передачи результатов измерений устанавливаются такие параметры, как: время срабатывания, растр времени измерений, растр вязкости, растр температуры и т.д.

Вход в режим измерений осуществляется через меню «Файл новый» или через кнопку создание нового измерения. При измерении задается число оборотов или градиент сдвига, время срабатывания и другие параметры в зависимости от цели исследования.

Измерение коэффициента вязкости может состоять из нескольких частичных измерений различных типов: скачок, наклонная прямая, плавающая кривая. После выбора соответствующего типа появляется окно для выбора параметров частичного испытания.

Результаты измерений (полученные в частичном измерении «наклонная прямая» или «кривая текучести») могут быть обработаны в соответствии с выбранным законом текучести: «Ньютон», «Оствальд-де Виль», «Бингам», «Кессон» и др. [4].

### **Контрольные вопросы**

1. Опишите устройство ротационного вискозиметра Rheotest RN 4.1.
2. Каким образом проводят измерения на данном приборе?

## Лабораторная работа № 6 Определение степени пенетрации

Цель работы: *ознакомиться с устройством и методикой измерения на пенетрометре-автомате ПМДП.*

Задание: *ознакомиться с пенетрометром-автоматом ПМДП, провести исследования образцов продуктов на данном приборе (творог, сыр, плавленый сыр) – измерить степень пенетрации, максимальную глубину погружения, рассчитать предельное напряжение сдвига.*

### **Приборы и материалы**

1. Пенетрометр-автомат ПМДП.
2. Набор инденторов (конусов).
3. Емкость для продуктов.
4. Творог.
5. Сыр.
6. Плавленый сыр.

Пенетрометр-автомат ПМДП (Пенетрометр мясных и других продуктов) представлен на рис. 9.

В комплектацию прибора входит набор инденторов – конусов *1* с разными углами при вершине, емкость для продукта *2*. Пенетрометр состоит из корпуса, механизма привода индентора, механизма перемещения предметного стола. Корпус прибора имеет регулируемые опоры и уровень для установки прибора в рабочее положение. На основании корпуса расположены: лицевая панель с органами управления и цифровыми индикаторами; предметный стол, регулируемый по высоте.

Прибор предназначен для измерения степени пенетрации и максимальной глубины погружения, позволяет определять экс-пресс-методом консистенцию продуктов.

Пенетрацией называется метод исследования структурно-механических свойств полутвердых и твердых продуктов путем определения сопротивления продуктов проникновению в них инденторов (конус, шар, игла, цилиндр) со строго определенными размерами, массой и материалом при точно определенной температуре и за определенное время.

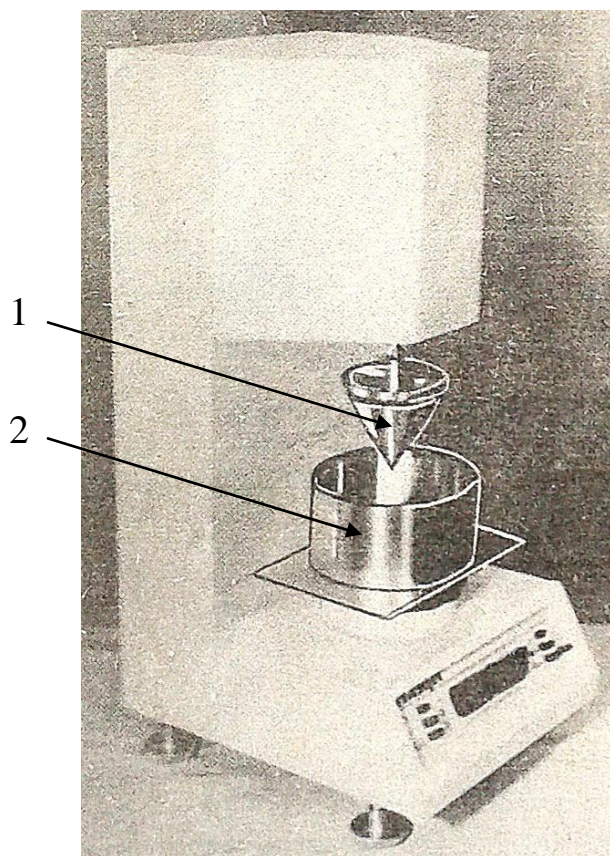


Рис. 9. Пенетромтр-автомат ПМП:  
1 – конус; 2 – емкость для продукта

### Порядок проведения измерений

1. Подключить прибор к сети питания.
2. Установить на предметный стол прибора контейнер с приготовленной пробой продукта.
3. **Проведение измерений при работе прибора в автоматическом режиме:** переключатель «АВТ-РУЧН» установить в положение «АВТ».

#### **3.1. Измерение пенетрации:**

- 3.1.1. Нажать кнопку «СЕТЬ».
- 3.1.2. Нажать в соответствии с методикой измерений одну из кнопок «5 с», «10 с», «15 с».
- 3.1.3. Нажать кнопку «Пуск».
- 3.1.4. После возврата индентора в верхнее положение снять с цифрового индикатора значение величины пенетрации.

3.1.5. Вернуть кнопки «СЕТЬ» и из группы «5 с», «10 с», «15 с» в исходное положение.

### **32. Измерение пенетрации и максимальной глубины погружения на одной пробе продукта:**

3.2.1. Нажать кнопку «СЕТЬ».

3.2.2. Нажать в соответствии с методикой измерений одну из кнопок «5 с», «10 с», «15 с» и одну из кнопок «60 с», «120 с», «180 с».

3.2.3. Нажать кнопку «Пуск».

3.2.4. После возврата индентора в верхнее положение снять с цифровых индикаторов значение величин пенетрации и максимальной глубины погружения.

3.2.5. Вернуть кнопки «СЕТЬ» и из группы «5 с», «10 с», «15 с» и «60 с», «120 с», «180 с» в исходное положение.

### **4. Проведение измерений при ручной настройке начала регистрации погружения индентора в пробу:** переключатель «АВТ- РУЧН» установить в положение «РУЧН».

4.1. Подъемом предметного стола пробу привести в контакт с индентором. При токопроводящей пробе в момент контакта загораются световые индикаторы «КАСАНИЕ ПРОВОДЯЩЕГО ПРОДУКТА». Если проба не обладает электропроводностью, момент контакта определяется визуально.

4.2. Измерение пенетрации проводить в соответствии с п.п. 3.1.

4.3. Измерение пенетрации и максимальной глубины погружения проводить в соответствии с п.п. 3.2.

5. Предметный стол установить в нижнем положении. Снять емкость с продуктом. Очистить индентор от продукта.

6. При завершении программы измерений снять с прибора индентор.

### **Обработка результатов измерений**

Проводят измерения максимальной глубины погружения и степени пенетрации в трехкратной повторности для каждого из исследуемых продуктов в соответствии с методикой,

описанной выше, и рассчитывают среднее значение каждого из найденных показателей.

По найденному значению глубины погружения рассчитывают предельное напряжение сдвига, используя формулу Ребиндера

$$\tau_0 = K_\alpha \cdot F / h^2,$$

где  $\tau_0$  – предельное напряжение сдвига, Па;

$K_\alpha$  – константа конуса, зависящая от величины угла при его вершине (табл. 9);

$F$  – величина вертикальной внедряющей силы, Н;

$h$  – глубина погружения конуса, м.

$$F = m \cdot g$$

, где  $m$  – масса конуса и груза, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Таблица 9

Значение константы конуса [5]

Угол при вершине конуса ( $2\alpha$ ), °	30	45	60	90	120
П.А. Ребиндер, Б.Я. Ямпольский					
Константа конуса	1,109	0,658	0,413	0,159	0,0459
Н.Н. Агранат, М.П. Воларович, М.Ф. Широков					
Константа конуса	0,959	0,416	0,214	0,073	0,0217
В.А. Арет					
Константа конуса	0,456	0,268	0,164	0,0657	0,0209

Значения константы конуса, полученные разными учеными, отличаются в связи с использованием разных формул для расчета данной константы с целью получить результаты инвариантные по отношению к геометрии конусов, т.е. снизить влияние угла  $2\alpha$  при вершине конуса [6].

Результаты исследований записывают в таблицу по форме, приведенной в табл.10.

**Шаблон для записи результатов исследования образцов продуктов на  
пенетрометре**

№	Наименование продукта	Степень пенетрации				Максимальная глубина погружения, м				Предельное напряжение сдвига, Па
		№ пробы			среднее значение	№ пробы			среднее значение	
		1	2	3		1	2	3		
1										
2										
3										

В соответствии со справочной таблицей по найденному значению предельного напряжения сдвига определить консистенцию исследуемых продуктов.

**Контрольные вопросы**

1. Что такое пенетрация?
2. Какие показатели можно определить на пенетрометре?
3. Как рассчитывается предельное напряжение сдвига?

## **Лабораторная работа №7 Определение сдвиговых свойств мясного фарша на ротационном вискозиметре**

*Цель работы: углубить теоретические знания по структурно-механическим свойствам пищевых материалов, изучить конструкцию прибора РВ-8 и методику измерения характеристик, определить предельное напряжение сдвига и эффективной вязкости мясного фарша.*

В условиях все возрастающих масштабов производства мяса и мясопродуктов повышаются требования к качеству сырья и готовой продукции. Решение данной проблемы возможно путем применением приборов для постоянного контроля свойств сырья на этапах его обработки, что позволит исключить выпуск некачественной продукции. В этой связи применению приборной технике придается большое значение.

Наиболее полное представление о качестве сырья, продукта дают свойства определяемые их структурой. Под структурой понимают внутреннее строение продукта и характер взаимодействия между отдельными ее элементами (частицами), которые определяются химическим составом, биохимическими показателями, дисперсностью частиц, агрегатным состоянием, температурой и рядом технологических факторов.

В инженерной реологии поведение материала в условиях напряженного состояния описывается реологическими характеристиками, как-то: напряжение, деформация, скорость деформации, вязкость, упругость, пластичность и др., которые входят в группу показателей продукта и которые принято называть структурно-механическими свойствами.

Структурно-механические свойства (СМС) по виду приложения усилия или напряжения к продукту делят на три группы: сдвиговые, компрессионные и поверхностные.

Среди них сдвиговые свойства наиболее полно отражают внутреннюю сущность материала при воздействии на него сдвиговых, касательных напряжений, поэтому их принято считать основными. С их помощью рассчитывают течение продуктов по трубам, в рабочих органах машин и аппаратов, определяют необходимые



условия для перемещения продукта. Кроме того, они позволяют судить о качестве продукта и степени его обработки, т.е. дают возможность обосновать оптимальные технологические и механические условия процесса. Оснащение технологического оборудования приборами позволяет их контролировать и регулировать, обеспечивая тем самым постоянное и стабильное качество готовой продукции.

К сдвиговым свойствам продуктов относятся: предельное напряжение сдвига  $\theta_0$ , Па; эффективная вязкость  $\eta_{эф}$ , Па·с; пластическая вязкость  $\eta_{пл}$ , Па·с; период релаксации  $\tau_p$ , с.

Одним из важных показателей, определяющих качество вареных колбасных изделий, является консистенция, характеризующая структурно-механическими свойствами, в частности сдвиговыми свойствами, которые наиболее полно и точно определяют рациональные и оптимальные параметры обработки мясных продуктов на стадиях технологического процесса.

Определение сдвиговых свойств пластично-вязких материалов, к которым относится мясной фарш, возможно с помощью вискозиметров. Наибольшее применение в пищевой промышленности получил ротационный вискозиметр типа РВ-8 конструкции М.П. Волоровича.

Ротационные вискозиметры - первичные, теоретически обоснованные приборы, позволяющие получать практически однородные поля напряжений и деформаций при сколько угодно малых и гигантских деформациях сдвига и определять для вязкопластичных материалов предельное напряжение сдвига  $\theta_0$  и вязкость  $\eta$ .

В ротационных вискозиметрах, в виду малого зазора между рабочими органами, характер течения продуктов близок к простому сдвигу, что упрощает обработку опытных данных. Диапазон материалов, свойства которых определяются на ротационных вискозиметрах, достаточно широк: мясные фарши вареных и ливерных колбас, паштеты, сиропы, кондитерские массы, сыры и т.д.

По методу проведения испытаний ротационные вискозиметры подразделяют на две группы: приборы с постоянной скоростью деформации и приборы с постоянным напряжением сдвига. У при-

боров первой группы, вращающий момент определяют по углу закручивания упругого элемента, на котором закреплен внутренний цилиндр - ротор. У второй группы - ротор вращается за счет подающих грузов.

Рабочие органы ротационного вискозиметра, как правило, состоят из двух коаксиально расположенных цилиндров, внутреннего и внешнего, разного диаметра, один из которых закреплен неподвижно, а второй соединен с приводом и может вращаться вокруг своей оси с различной частотой. По форме, рабочие органы ротационных вискозиметров могут быть цилиндрическими, сферическими, коническими или дисковыми. Рабочие органы могут быть также комбинированными, т.е. состоять из нескольких различных поверхностей.

В ротационном вискозиметре РВ-8 внешний цилиндр неподвижен, а внутренний является подвижным. Исследуемая масса при испытаниях помещается в зазор между цилиндрами.

Определение значений величин предельного напряжения сдвига  $\theta_0$  и эффективной вязкости  $\eta_{эф}$  исследуемых продуктов производят по формулам, представленным ниже.

При исследовании структурно-механических свойств с помощью ротационных вискозиметров на показания прибора влияют: размеры и форма рабочих органов, выбор математической модели для обобщения экспериментальных данных, форма торца цилиндра, толщина слоя материала и величина градиента скорости. Поэтому при исследовании конкретного вида материала первоначально необходимо ознакомиться с рекомендациями по вышеуказанным моментам, которые можно найти в монографиях, справочниках, посвященных данному вопросу.

Ротационные вискозиметры, по сравнению с другими обладают рядом преимуществ: они надежны в эксплуатации; могут применяться как для экспресс-измерений, так и для непрерывного измерения.

Требования, предъявляемые к ротационным вискозиметрам: в рабочем зазоре прибора движение продукта должно иметь ламинарный режим; должны иметь термостатирующий сосуд; устройства обеспечивающие контроль температуры продукта в измерительном зазоре; просты для заправки и очистки рабочих органов.

В настоящее время для определения сдвиговых свойств пищевых продуктов применяются отечественные ротационные вискозиметры РВ-4, РВ-8, Ротационный вискозиметр МТИММПа (МАПБ), РМ-1, РМ-2 и др. Среди приборов зарубежных фирм представляют интерес ротационные вискозиметры «Реотест RV», «Реотест RN» производства Германии, которые позволяют определять сдвиговые свойства пищевых продуктов в широком диапазоне и др.

### **Оборудование, приборы, инструменты, материалы**

Оборудование: весы технические.

Приборы: ротационный вискозиметр РВ-8.

Инструменты: штангенциркуль, разновесы, секундомер, нож.

Материалы (сырье): свинина нежирная - 0,5 кг или говядина - 0,5 кг.

### **Порядок выполнения работы**

1. Познакомьтесь с целью, содержанием и порядком выполнения работы.

2. Изучите теоретические положения работы.

3. Изучите назначение и конструкцию прибора РВ-8.

*Назначение.* Ротационный вискозиметр РВ-8 предназначен для испытания вязких и вязко-пластичных материалов и используется для определения вязкости и предельного напряжения сдвига широкого круга пищевых материалов: мясных и рыбных фаршей, мучного теста, кондитерских масс и т.д.

*Конструкция прибора.* Общий вид конструкции прибора РВ-8 представлен на рис. 2.1. Прибор РВ-8 состоит: из корпуса со станиной (1), асбестового сосуда (2), вставного сосуда для термостабируемой жидкости (3), термопар (4), отражательного кольца (5), электронагревательного элемента (6), шкива (7), тормозного устройства (8), шкалы отсчета (9), стрелки (10), барабана (11), подшипника (12), крышки прибора (13), обоймы для стакана (14), ротора (15), стакана (16), мешалки (17) и установочных винтов (18).

Рабочие органы прибора ротор (15) и стакан (14) имеют цилиндрическо-полусферическую форму, причем стакан закрепляется неподвижно, а ротор приводится во вращение с помощью грузов уложенных в чашечки, подвешенных на концах нитей, которые через шкивы (8) соединены с барабаном (11). Ротор имеет рифленую поверхность, что исключает скольжение материала по его поверхности. Стакан одевается на ротор снизу и фиксируется на корпусе поворотом против часовой стрелки. Остановка и пуск прибора осуществляется тормозным устройством. Разборка прибора осуществляется в несколько приемов: поднять крышку прибора и укрепить ее в верхнем положении на штанге, слегка повернуть стакан по часовой стрелке до упора, затем движением вниз вынуть его из гнезда.

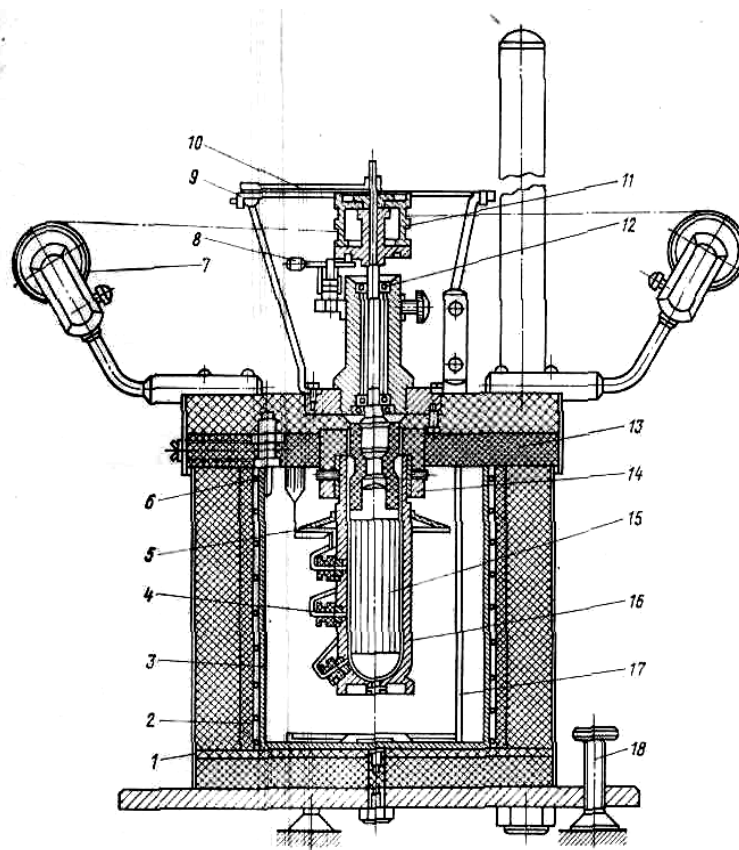


Рис. 2.1 Ротационный вискозиметр РВ-8.

Длина нитей, наматываемых на рабочий барабан должна быть такой, чтобы ротор смог совершить пять оборотов.

Характеристика прибора: пределы измерения вязкости - от 0,5 до  $10^6$  Па·с; пределы измерения напряжения сдвига - от 5 до  $10^4$  Па; интервал температур от -60 до 150 °С.

#### 4. Подготовьте прибор к измерениям.

Вначале проверяют правильность установки прибора, для чего с помощью вращения установочного винта выставляют прибор по уровню.

Поднять крышку прибора и укрепить ее в верхнем положении на штанге. Слегка повернуть стакан по часовой стрелке до упора и движением вниз вынуть его из гнезда и снять с ротора. Проверить чистоту ротора и стакана, в случае наличия загрязнений удалить их. В ставной сосуд (3) залить воду до верхней отметки. Включить электронагревательные элементы (6) и нагреть ее до температуры, при которой предполагается проводить измерения. Контроль температуры в термостатирующем сосуде проводят с помощью спиртового термометра со шкалой от 0 до 100 °С.

#### 5. Познакомьтесь с методикой проведения испытаний образцов продукта и измерения его характеристик.

Вначале готовят образцы продукта заданной консистенции.

Снять стакан и заполнить его исследуемым продуктом в количестве примерно 30-40 г. Подвести стакан под ротор, постепенно перемещая вверх довести до упора и, повернув против часовой стрелки, зафиксировать его в обойме на крышке прибора. Аккуратно опуская крышку прибора, погрузить рабочую часть прибора вместе с продуктом в воду. Далее в течение 10-15 мин проводят термостатирование, в результате чего все рабочие органы прибора и сам продукт прогреваются и нагреваются до температуры измерения.

Измерения проводятся в зависимости от определяемой характеристики.

Для измерения предельного напряжения сдвига на чашки устанавливаются равные грузы массой 0,01-0,02 кг в зависимости от диаметра ротора, чем меньше диаметр, тем меньше масса. Отводят тормозное устройство от шкива и наблюдают за началом движения стрелки 10 по шкале 9. Далее, постепенно увеличивая массу грузов, определяют массу, при которой только начинается движение стрелки. Испытания останавливают и производят измерение массы

грузов вместе с чашечками на технических весах. Производят подъем крышки прибора вверх, ее фиксацию на штанге. Снимают стакан и с помощью линейки измеряют смоченную часть ротора. Результаты измерения записывают и по формуле рассчитывают значение предельного напряжения сдвига. Для повторения испытания продукт, находящийся в стакане, счищают с краев и оставляют на дне стакана. Ротор влажной тряпкой протирают, очищая от остатков продукта. Далее измерения повторяют в том же порядке.

Для измерения эффективной вязкости на чашки устанавливают груз несколько больший, чем при котором только началось движение стрелки, например на 50-100 г. Отводят тормозное устройство от шкива, одновременно включают секундомер и после пяти полных оборотов стрелки отключают, а прибор останавливают. Затем, не вращая ротор, нити наматывают на шкив. Следующее измерение производят при увеличении массы грузов, например, еще добавляют 50-100 г и вновь повторяют измерение. Так делают до тех пор, пока время пяти оборотов ротора не станет равным 1,5-2,0 сек. Далее производят измерение с уменьшающимися массами грузов, всего их следует сделать 15-20. Затем разбирают прибор и линейкой измеряют смоченную часть ротора. Данные измерения записываются, и далее по формуле рассчитывается значение эффективной вязкости для конкретного значения массы грузов.

6. Измерьте постоянные прибора и опыта:

радиус ротора  $R_B$  = м;

радиус стакана  $R_H$  = м;

радиус шкива  $R$  = м;

высота смоченной части ротора  $h$  = м.

7. Приготовьте из мяса три модельных образца продукта для испытаний.

Для подготовки модельных образцов продукта сырье измельчается на микроизмельчителе, продолжительность измельчения 2-3 мин. Измельченное сырье разделяется на равные три партии массой по 100 г. Затем добавить воды: во вторую 10 %, в третью - 20 % и тщательно все перемешать.

8. Проведите испытания образцов для определения предельного напряжения сдвига и результаты измерения запишите в табл. 2.

9. Рассчитайте действительную массу грузов  $m_D$ , кг, по формуле

$$m_D = (m_z + m_q) - m_{mp},$$

(2.1)

где  $m_z$  - масса гирь, кг;

$m_q$  - масса чаш, кг;

$m_{mp}$  - масса трения, кг.

Принять  $m_{mp} = 0,003$  кг.

10. Рассчитайте константу прибора  $K_0$  для расчета предельного напряжения сдвига по формуле

$$K_0 = Rg / [2\pi R_B^2 (h + \pi R_B / 4)],$$

(2.2)

где  $g$  - ускорение силы тяжести,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$  ( $g = 9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ ).

11. Вычислите предельное напряжение сдвига  $\theta_0$ , Па, для момента когда только началось вращение ротора по формуле

$$\theta_0 = K_0 m_D.$$

(2.3)

Результаты измерения и расчета внесите в табл. 2.1

Таблица 2.1

Образцы продукта	$m_D$ , кг	$K_0$	$h$ , м	$\theta_0$ , Па
1				
2				
3				

12. Проведите испытания образцов для определения эффективной вязкости продукта и результаты испытаний внесите в табл. 2.2. Испытания образцов проводить только для трех конкретных значений масс грузов, которые должны отличаться друг от друга на 100 г. Вначале испытания проводятся в сторону увеличения массы грузов, а после - в сторону убывания, при тех же значениях массы грузов.

13. Рассчитайте частоту вращения ротора  $N$ ,  $\text{с}^{-1}$ , для каждого испытания по формуле

$$N = n / \tau, \quad (2.4)$$

где  $n$  - число оборотов ротора;  $\tau$  - время, за которое ротор совершит  $n$  оборотов.

14. Рассчитайте константу прибора  $K$  для расчета эффективной вязкости по формуле

$$K = Rg / \left\{ 8\pi^2 \left[ R_H^2 R_B^2 h / (R_H^2 - R_B^2) + (R_H^3 R_B^3) / (R_H^3 - R_B^3) \right] \right\}. \quad (2.5)$$

15. Вычислите значение эффективной вязкости для каждой модели по формуле

$$\eta_{эф} = Km_D / N. \quad (2.6)$$

Результаты измерений и расчета внесите в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Образцы продукта	$m_{Дi}$ , кг	$K$	$h_i$ , м	$n_i$ , об	$\tau_i$ , с	$N_i$ , $\text{с}^{-1}$	$\eta_{эфi}$ , Па·с
1 модель 1' модель							



2 модель							
2' модель							
3 модель							
3' модель							

16. По результатам испытаний сделайте вывод, как влияет содержание влаги в продукте на структурно-механические характеристики: предельное напряжение сдвига и эффективную вязкость.

17. Оформите отчет.

18. Ответьте на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Какова роль приборной техники в оценке технологических процессов производства продукции?
2. Какими структурно-механическими (реологическими) характеристиками может быть дана оценка качества вареных колбас?
3. Что называется предельным напряжением сдвига и эффективной вязкостью?
4. Дайте классификацию ротационных вискозиметров по методу проведения измерений.
5. Назовите факторы, которые необходимо учитывать при измерении на ротационных вискозиметрах.
6. Дайте описание устройству и принципу работы ротационного вискозиметра РВ-8.
7. Дайте описание методике измерения предельного напряжения сдвига и эффективной вязкости мясного фарша.
8. Объясните, с какой целью делается предварительный прогрев всех частей прибора.
9. Перечислите факторы, от которых зависит точность получаемых результатов измерения предельного напряжения сдвига и эффективность вязкости фарша.
10. Дайте объяснение своим результатам измерения, полученным во время выполнения лабораторной работы.
11. По какой формуле рассчитывается предельное напряжения сдвига?

12. По какой формуле рассчитывается эффективная вязкость?
13. Дайте объяснение, почему в качестве главного, основного показателя в оценке качества сырья и готовой продукции используется предельное напряжение сдвига?

### **Лабораторная работа №8 Определение усилия среза для целых тканей мяса**

*Цель работы: расширить теоретические знания по структуре продуктов, изучить конструкцию прибора и методику измерения усилия среза, определить влияние продолжительности варки на усилие среза целых тканей мяса.*

Увеличение производства качественных мясных изделий - является одной из главных задач, стоящих перед мясной промышленностью. Одним из путей решения поставленной задачи является широкое использование в процессе производства продуктов различных способов обработки мяса с целью улучшения его консистенции и повышения нежности - главных показателей качества для потребителя.

В последние годы в научной и патентной литературе появилось значительное число сообщений об экспериментальных исследованиях, в которых улучшение нежности мяса удавалось добиться путем использования механических, физических, химических или комбинированных способов воздействия на него.

Следует отметить, что многие проблемы, связанные с улучшением нежности мяса, и теоретические аспекты механизма этого процесса, имеющие прямое отношение к выявлению оптимальных путей практического использования различных методов обработки, остаются до сих пор нерешенными и оставляют широкое поле деятельности для специалистов мясной промышленности.

Вопросам изучения нежности мяса посвящены многочисленные работы советских и зарубежных ученых: А.С. Большакова, И.А. Рогова, Н.К. Журавской, А.В. Горбатова, А.С. Ратушного, В.Е. Мицыка, Э. Кармаса и др. Однако причины нежности или жесткости мяса до конца еще не раскрыты, поскольку исследовате-

лям приходится иметь дело со сложной многокомпонентной биологической системой, состояние которой зависит от различных факторов: прижизненных (вида, пола, возраста, условий содержания животного, состава и строения соединительной ткани, размера мышечных пучков и волокон, количество внутримышечного жира и т. п.) и послеубойных - скорости и степени созревания мяса, а также различных видов обработки.

Целенаправленное использование перечисленных факторов, активно воздействующих на процессы, протекающие в мясе при автолизе, однотипные для всех теплокровных животных и птиц, позволяет получить продукты высокого качества. Управлять нежностью мяса можно предубойной обработкой животных или воздействием на мясо после убоя. Главная цель того или другого вида обработки - добиться быстрого и полного созревания мяса, т. е. совокупности изменений важнейших его свойств, обусловленных углублением автолиза, в результате чего мясо приобретает хорошо выраженный вкус и аромат, становится мягким и сочным, более влагоемким и доступным действию пищеварительных ферментов.

Для проведения оценки нежности мяса до и после тепловой обработки применяются: объективные методы - физические (инструментальные) и химические, связанные с физическими и биохимическими процессами, происходящими в нем, и основанные на определении усилия резания, проникающего усилия, усилия раскусывания, измельчения, растяжения мяса, силы сжатия, содержания соединительной ткани, степени атакуемости белков ферментами пищеварительного тракта и других показателей; субъективные методы - органолептические, как сочность, мягкость, легкость пережевывания и количество остатка после жевания.

Из физических методов оценки нежности мяса наибольшее распространение получили приборы, основанные на определении усилия резания (среза). Однако, следует отметить недостаток этого метода, который заключается в трудности контроля направления мышечных волокон при резании, соблюдения идентичной температуры образцов, остроты лезвия.

При определении усилия резания определяют максимальное усилие резания  $P_{\text{ср}}$ , которое фиксируется динамометром.

К приборам для определения нежности мяса, работающих по принципу резания можно отнести: прибор Леймана, прибор Уорнера-Брацлера, прибор Крамера, прибор ПМ - 3 Большакова А.С. и др., прибор фирмы Инстрон и ряд других.

### **Оборудование, приборы, инструменты, материалы**

Оборудование: электрическая плитка, технические весы,

Приборы: прибор для определения усилия среза, спиртовой термометр с диапазоном измерения 0-100 °С.

Инструменты: нож.

Материалы: сырье - свинина нежирная - 0,5 кг или говядина - 0,5 кг.

### **Порядок выполнения работы**

1. Познакомьтесь с целью, содержанием и порядком выполнения работы.

2. Изучите теоретические положения работы.

3. Изучите назначение и конструкцию прибора.

*Назначение.* Лабораторный прибор предназначен для определения усилия среза и напряжения среза для целых тканей мяса, а также для определения усилия среза (нежности) колбасных и других мясных изделий.

*Конструкция прибора.* Общий вид конструкции лабораторного прибора представлен на рис. 3.1. Прибор состоит из основания (1), П - образной вертикальной стойки (2), на которой в верхней части закреплен держатель образцов (3), подвижной планки (4), в которой установлен режущий орган (5), динамометра (6) и нити (7).

4. Подготовьте прибор к измерениям.

Вначале проверяют правильность установки прибора. Проверяют заточку ножа, его крепление в держателе. Правильность установки нуля на динамометре, прочность крепления динамометра к подвижной планке прибора.

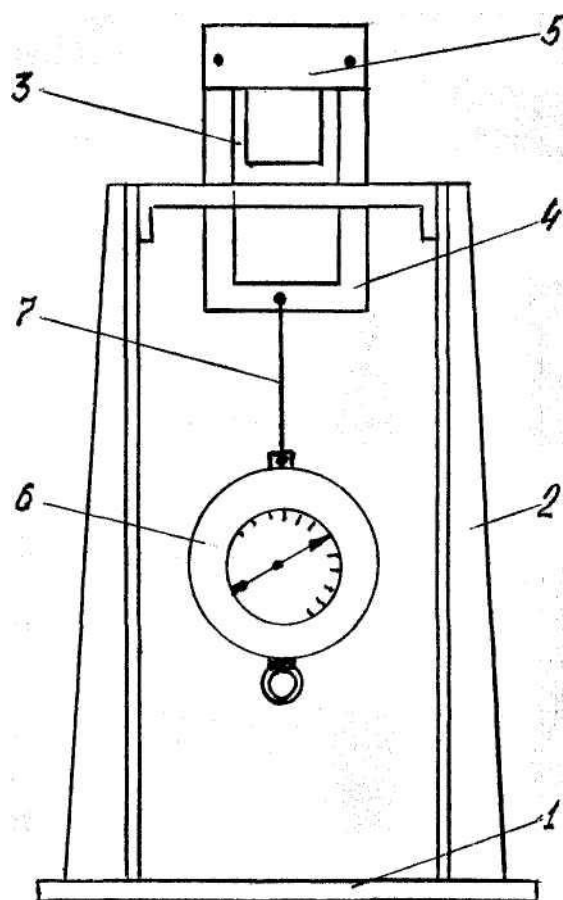


Рис. 3.1 Лабораторный прибор для определения усилия среза

5. Познакомьтесь с методикой проведения испытаний образцов продукта и измерения.

Перед началом испытаний производят выбор режущего органа (ножа), который затем закрепляется с помощью винтов к планке прибора. Подготовленный образец закладывают в держатель и, взявшись пальцем руки за кольцо динамометра, производят движение ножа вниз. Резание рекомендуется производить без рывков и не слишком медленно, стараясь соблюдать одинаковую скорость движения ножа. В процессе резания по показанию максимальной силы фиксируют значение усилия среза. По окончании процесса резания производят подъем ножа в исходное положение и одновременно осуществляют перемещение испытываемого образца вдоль держателя под лезвие ножа и снова проводят испытание.

6. Приготовьте из мяса образцы для испытаний.

Для испытаний готовят 5 образцов вдоль волокон по длине и 5 образцов поперек волокон по длине массой около 100 г. Взвешивают

вают, упаковывают в фольгу и помещают их одновременно в емкость с водой, имеющей температуру 90 °С, и варят: первый - 10 мин, второй - 20 мин, третий - 30 мин, четвертый - 60 мин и пятый - 90 мин. После образец вынимают, разворачивают, остужают до комнатной температуры. Далее из каждого куска вырезают 2-3 образца прямоугольной формы размерами 10×10×40 мм. При вырезании необходимо следить, чтобы направление мышечных волокон в образце было строго параллельно или перпендикулярно направлению движения режущего органа.

На одном образце делают измерение 3-5 раз, каждый раз снимая показания динамометра. Таким же образом проводят испытания и для других кусков мяса.

7. Проведите испытания образцов и результаты измерения запишите в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Образец	Время варки, $\tau$ , мин	Поперек волокон $P_{cp}$ , Н	Среднее значение $P_{cp}$ , Н	Вдоль волокон $P_{cp}$ , Н	Среднее значение $P_{cp}$ , Н
1	10	1		1	
		2		2	
		3		3	
		4		4	
		5		5	
2	20	1		1	
		2		2	
		3		3	
		4		4	
		5		5	
3	30				
4	60				
5	90				

8. По результатам испытаний (табл. 3.1) построить график изменения усилия среза  $P_{cp}$ , от продолжительности варки  $\tau$ . Сделать вывод.

9. Оформите отчет.

10. Ответьте на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

1. Что понимают под нежностью мяса, продуктов?
2. Перечислите инструментальные методы, с помощью которых оценивается нежность мяса и мясопродуктов.
3. Органолептическая оценка нежности мяса и мясных продуктов, ее недостатки.
4. Проанализируйте устройство и принцип работы лабораторного прибора для определения нежности мяса.
5. Дайте описание методике измерения усилия среза.
6. Дайте объяснение полученным результатам испытаний.
7. Назовите, какие прижизненные факторы влияют на нежность мяса.
8. Перечислите, от каких послеубойных факторов зависит нежность мяса.
9. Какие современные способы механической обработки используются в технологиях для придания мясу нежности.

## Лабораторная работа №9 Определение вязкости жидкообразных продуктов

Цель работы: углубить знания по структурно-механическим свойствам жидкообразных продуктов, изучить конструкцию капиллярного вискозиметра ВПЖ-4 и методику измерения, определить вязкость мясного бульона.

Среди пищевых продуктов особую группу составляют продукты, которые принято называть жидкостями или жидкообразными. Они относятся к системам, не имеющим статического предельного напряжения сдвига, т.е. обладают текучестью при любых напряжениях сдвига. Эти системы могут быть аномально-вязкими, когда их течение в осях координат, характеризуется кривой линией или истинно-вязкими (ньютоновскими), когда течение характеризуется прямой линией.

Движение жидкостей сопровождается внешним трением ее о стенки канала или трубы и внутренним трением, возникающим в жидкости вследствие скольжения движущихся струек или слоев друг о друга. Внутреннее трение является мерой вязкости - свойства жидкости, характеризующего текучесть, смазывающую способность, растекание, т.е. свойства жидкости оказывать сопротивление касательным усилиям.

В ламинарном потоке скорость элементарно тонких слоев или струек неодинакова и увеличивается к центру, т.е. к оси трубы. Между слоями возникают касательные напряжения, которые обусловлены вязкостью жидкости и подчиняются закону жидкостного трения, который был впервые сформулирован И. Ньютоном:

$$\theta = \eta \dot{\gamma}, \quad (4.1)$$

где  $\eta$  - динамический коэффициент вязкости, Па·с;

$\dot{\gamma}$  - скорость сдвига, м/с.

Для измерения вязкости жидкообразных систем (мясной бульон, животный жир при температуре выше плавления, молоко, водобелково-солевые растворы и пр.) преимущественно применяют ка-



пиллярные и шариковые вискозиметры. Более универсальными являются капиллярные вискозиметры, так как дают возможность исследовать аномалию вязкости при различных давлениях истечения, т.е. получить зависимость градиента скорости от напряжения сдвига.

Теория капиллярных вискозиметров теоретически обоснована; основана на гипотезе сплошности и непрерывности жидкости и использует следующие допущения и ограничения: скорость жидкости на стенке принимается равной нулю; продукт считается не сжимаемым; реологические характеристики неизменны по длине и не зависят от времени, т.е. на течение не оказывают влияния процессы тиксотропии, реопексии и релаксации.

Главным требованием, предъявляемым к капиллярным вискозиметрам, является отсутствие турбулизации потока, т.е. режим движения должен быть ламинарным или структурным. Режим движения характеризуется критерием Рейнольдса  $Re$ , который не должен превышать 150, а длительность истечения жидкости через капилляр не должна быть меньше 100 сек. В теории капиллярной вискозиметрии рассматривается только равномерное (силы инерции равны нулю) прямолинейное (центробежные силы равны нулю) движение жидкости в горизонтальной трубке (силы тяжести проектируются на ось, совпадающую с направлением движения и равны нулю).

Наиболее известны и широко применяются: капиллярные вискозиметры Уббелодде и Освальда, вискозиметр Горбатова А.В. и др., вискозиметр ВК-4, автоматические вискозиметры АКВ-3 и АКВ-5, шариковый вискозиметр Гепплера и многие др.

### **Оборудование, приборы, инструменты, материалы**

Оборудование: электроплитка, емкость для нагрева воды.

Приборы: капиллярный вискозиметр ВПЖ-4

Инструменты: секундомер

Материалы (сырье): мясной бульон - 200 мл.

### **Порядок выполнения работы**

1. Познакомьтесь с целью, содержанием и порядком выполне-

ния работы.

2. Изучите теоретические положения работы.

3. Изучите назначение и устройство прибора ВПЖ-4.

*Назначение.* Капиллярный стеклянный вискозиметр ВПЖ-4 предназначен для определения кинематической вязкости жидкостей.

*Устройство прибора.* Вискозиметр ВПЖ-4 (рис. 4.1) представляет собой U образную трубку и состоит из правого колена (1), в которое впаян стеклянный капилляр (6), а также двух шарообразных резервуаров (4) и (5) для измеряемой жидкости, и правого колена (2), которое имеет плоский шарообразный резервуар (7) для приема жидкости и отводной патрубков (3) для подсоединения резинового шланга. Диаметр впаянного капилляра равен 1,47 мм.

4. Познакомьтесь с подготовкой прибора к работе.

Согласно паспорту, перед определением вязкости жидкости вискозиметр должен быть тщательно промыт и высушен.

Вискозиметр вначале промывают бензином, а затем петролейным эфиром. После растворителя промывают водой и заливают не менее чем на 5-6 час хромовой смесью. После этого вискозиметр промывают дистиллированной водой и сушат.

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

5. Изучите методику проведения испытания и измерения вязкости.

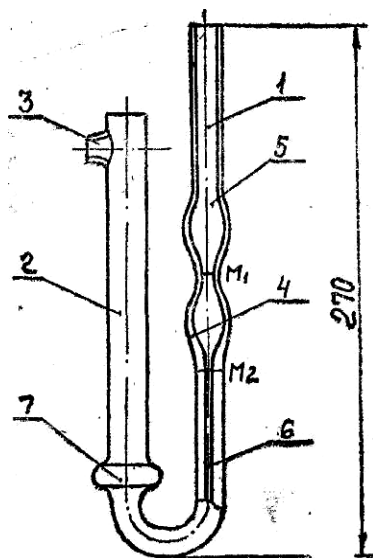


Рис. 4.1. Вискозиметр капиллярный стеклянный ВПЖ-4

Измерение вязкости при помощи вискозиметра ВПЖ-4 основано на определении времени истечения через капилляр определенного объема жидкости из измерительного резервуара.

Для набора исследуемой жидкости в вискозиметр на отводную трубку (3) надевают резиновый шланг, а в него вставляют резиновую грушу (или подключают к водяному насосу) и, перевернув вискозиметр, опускают колено (1) в сосуд с исследуемой жидкостью и засасывают ее до отметки м-2, одновременно следя за тем, чтобы в жидкости не образовались пузырьки воздуха.

В тот момент, когда уровень жидкости достигнет отметки М-2, вискозиметр вынимают из сосуда и быстро перевертывают в нормальное положение. Снимают с внешней стороны конца колена (1) избыток жидкости и надевают на него резиновую трубку.

Вискозиметр устанавливают в термостат так, чтобы расширение (5) было ниже уровня жидкости в термостате. После выдержки в термостате не менее 15 мин при заданной температуре засасывают жидкость в колено (1), примерно до одной трети высоты расширения (5). Сообщают колено (1) с атмосферой и, включая секундомер, определяют время истечения (опускания мениска) жидкости от отметки М-1 до отметки М-2. Для получения точных результатов измерения проводят в 3-5 раз.

6. Проведите испытания и результаты измерения запишите.

Испытания необходимо проводить с трехкратным повтором.

В качестве контрольных точек, при которых требуется определить вязкость мясного бульона, взять следующие значения температур - 40, 60, 80 °С.

7. Рассчитайте значения кинематической вязкости для полученных данных по формуле

$$\eta = (g/9,807)K\tau, \quad (4.2)$$

где  $K$  - константа прибора,  $\text{мм}^2/\text{с}^2$ . Согласно паспорту  $K = 0,2970 \text{ мм}^2/\text{с}^2$ ;  $\tau$  - время истечения жидкости через капилляр, с;  $g$  - ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Результаты расчетов и измерений сведите в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Температура измерения, °С	Время, $\tau$ , с	Вязкость, $\eta$ , Па·с	Среднее значение вязкости, $\eta$ , Па·с
40	1		
	2		
	3		
60			
80			

8. По результатам испытаний сделайте вывод о влиянии температуры на значение вязкости.

9. Оформите отчет.

10. Ответьте на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Что такое вязкость жидкости и ее значение для пищевых жидкообразных продуктов?
2. Какова физическая сущность закона жидкостного трения?
3. Как влияет температура на вязкость жидкости?
4. Теория капиллярной вискозиметрии.
5. Дайте описание устройству капиллярного вискозиметра ВПЖ-4.
6. Дайте описание методике измерения вязкости.
7. Опишите, как производится измерение вязкости на приборе

ВПЖ-4.

8. Перечислите недостатки и достоинства капиллярных вискозиметров.

### Список рекомендуемой литературы

1. Мусина, О. Н. Реология [Электронный ресурс]: учебное пособие / О. Н. Мусина. - М.; Берлин: Директ-Медиа, 2015. - 146 с.: - ISBN 978-5-4475-4615-1- Режим доступа: <http://biblioclub.ru/>
2. Авроров В. А. Основы реологии пищевых продуктов: [Текст]: учебное пособие / Валерий Александрович Авроров, Николай Дмитриевич Тутов. - Старый Оскол: ТНТ, 2014. - 268 с.
3. Арет, В. А. Реологические основы расчета оборудования производства жиросодержащих пищевых продуктов [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. А. Арет, Б. Л. Николаев, Л. К. Николаев. - СПб.: ИЦ "Интермедия", 2012. - 536 с.: - ISBN 978-5-4383-0011-3 - Режим доступа: <http://biblioclub.ru/>
4. Кузнецов О. А., Волошин Е. В., Сагитов Р. Ф. Реология пищевых масс [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. - 106 с.: - Режим доступа: <http://window.edu.ru/>
5. Косой В. Д. Инженерная реология биотехнологических сред [Текст]: учебное пособие / В. Д. Косой, Я. И. Виноградов, А. Д. Малышев. - СПб.: ГИОРД, 2005. - 648 с.
6. Реометрия пищевого сырья и продуктов [Текст]: справочник / Под ред. Ю. А. Мачихина. - М.: ВО Агропромиздат, 1990. - 269 с.