



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

Физико-механические свойства сырья

Методические указания для обучающихся заочной формы обучения
направления подготовки 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья
по выполнению контрольной работы

г. Ростов-на-Дону
2021 г.

Курс «Физико-механические свойства сырья» является основой для формирования профессиональных компетенций будущего специалиста в области хранения и переработки продуктов питания из растительного сырья. С него начинается любая инженерная разработка, в том числе курсовые проекты и работы, а также выпускная квалификационная работа. Связано это с тем, что пищевое производство сталкивается с большим разнообразием видов материалов, используемых в качестве сырья в процессе переработки в готовую продукцию. Исходное сырье в этих процессах в широком диапазоне меняет свой первоначальный вид и свойства с целью соответствия требованиям, диктуемым потребителями. Изменение свойств сырья в процессе переработки сопровождается сложными физико-механическими, химическими и биологическими процессами, изучение и моделирование которых позволяет конструировать параметры рабочих органов машин, организовывать эффективный контроль и управление технологическим процессом производства. Эти вопросы в значительной степени зависят от реологических свойств перерабатываемых материалов, свойств сыпучих масс и свойств частиц сырья в процессе статического или динамического воздействия рабочих органов. Изучению этих свойств посвящен материал данного курса.

1. Цели и задачи дисциплины.

Целью изучения дисциплины является подготовка студентов к производственно-технической, проектно-конструкторской и исследовательской деятельности, связанной с созданием и эксплуатацией машин и аппаратов пищевых производств.

Задачами дисциплины являются: изучение основных понятий инженерной реологии, реологических свойств пищевых продуктов; механическое моделирование реологического поведения, капиллярной и ротационной вискозиметрии; адгезиометры и трибометры; исследование роли адгезии и трения в процессах пищевых производств; приборов для изучения физико-механических свойств пищевых продуктов, определение гранулометрического состава, особенностей строения частиц различных видов сырья для производства муки и комбикормов как объектов механического воздействия, их физико-механических свойств, основных свойств сырья при динамическом воздействии рабочих органов перерабатывающих машин, свойств сыпучих масс и смесей в статическом и динамическом состоянии, физико-механических свойств полуфабрикатов и готовой продукции.

В результате изучения курса обучающийся должен знать: основные закономерности течения и деформации пищевых сред; методы и приборы для определения физико-механических свойств сырья и готовой продукции. А также уметь применять основные положения инженерной реологии в расчетах технологического оборудования.

2. Методические указания по изучению дисциплины.

Изучение физико-механических свойств сырья должно начинаться с формулировки технических задач, которые связаны с переработкой пищевых сред. Рассмотрение различных процессов переработки пищевых сред должно вестись в эволюционном ключе: обучающийся должен вникнуть в процесс инженерного решения возникающих конкретных технологических задач с целью получения продуктов заранее заданного качества.

3. Тематический план дисциплины.

Раздел 1. Классификация пищевых материалов

Введение. Основные подходы к классификации пищевых материалов. Классификация дисперсных систем. Классификация материалов в пищевой промышленности. Коагуляционные и конденсационно- кристаллизационные структуры. Влияние вида структуры продукта на его качественные и технологические показатели

Раздел 2. Основные положения инженерной реологии пищевых производств

Понятие реологии, как науки о деформации и течении материалов. Инженерная реология пищи Модель Гука, Ньютона и Сен-Венана. Задачи реологии. Наиболее распространенные реологические модели, описывающие поведение перерабатываемых в пищевой промышленности сырья и полуфабрикатов. Понятие о Ньютоновских жидкостях. Псевдопластик и дилатантная жидкость. Кривая течения структурированных систем по Освальду-Ребиндеру. Вязко-пластичная модель Бингама. Вязкоупругие модели. Модели Максвелла, Кельвина, Максвелла-Томсона, Бюргерса. Упруго-вязкопластичная модель мучного теста Шофил-ла-Скотта-Блера.

Раздел 3. Реометрия

Классификация методов и приборов для определения реологических свойств материалов. Определение структурно-механических характеристик методами капиллярных вискозиметров. Ротационная. Теория конических пластометров. Приборы для построения кривых течения и деформации. Примеры реологических характеристик конкретных видов сырья и полуфабрикатов пищевых производств. Капиллярная и ротационная вискозиметрия пищевых золь и эмульсий. Определение адгезии в пищевых суспензиях. Экспериментальные и приборы для определения реологических характеристик пищевых материалов. Пластометры. Вискозиметры. Приборы для построения кривых течения и деформации. Другие специальные приборы. Примеры реологических характеристик конкретных видов сырья и полуфабрикатов пищевых производств.

Раздел 4. Физико-механические свойства сыпучих материалов

Классификация сыпучих материалов. Плотность и объемная (насыпная) плотность. Поверхностные явления в сыпучих средах. Компрессионные свойства сыпучих сред. Определения объемных характеристик зерна. Определение гранулометрического состава зерна. Определение скорости витания частиц сыпучих пищевых масс. Физико-механические свойства сыпучих материалов.

Раздел 5. Реологические подходы и методы решения инженерных задач пищевых производств

Расчет режимов работы и параметров оборудования с использованием реологических уравнений. Управление технологическими процессами на основе приборных измерений свойств перерабатываемых сырья и полуфабрикатов. Расчет режимов работы и параметров оборудования с использованием реологических уравнений. Управление технологическими процессами на основе приборных измерений свойств перерабатываемых сырья и полуфабрикатов.

4. Рекомендуемая литература

Основная литература:

- **Чистяков, И.Д.** Физико-механические свойства сырья и готовой продукции пищевых производств : Учеб. пособие. Ч.1 : Физико-механические свойства пищевых масс / И.Д. Чистяков; ДГТУ. - Ростов н/Д. : ИЦ ДГТУ, 1999. - 77 с. : ил. - ISBN 5-7890-0088-6 : 15-00. 664(075.8) - Ч-68
- **Чистяков, И.Д.** Физико-механические свойства сырья и готовой продукции пищевых производств : Учеб. пособие. Ч.2 : Физико-механические свойства сырья и готовой продукции мукомольно-крупяного, масличного и комбикормового производства / И.Д. Чистяков; ДГТУ. - Ростов н/Д. : ИЦ ДГТУ, 2000. - 90 с. : ил. - ISBN 5-7890-0123-8 : 17-00 664(075.8) - Ч-68
- **Чистяков, И.Д.** Физико-механические свойства сырья и готовой продукции пищевых производств : Учеб. пособие. Ч.3 : Молекулярное строение, химический состав и структура пищевых материалов / И.Д. Чистяков; ДГТУ. - Ростов н/Д. : ИЦ ДГТУ, 2001. - 70 с. : ил. - ISBN 5-7890-0158-0 : 23-00. 664(075.8) - Ч-68

Дополнительная литература:

- **Мусина, О.Н.** Реология [Электронный ресурс] : учебное пособие / О.Н. Мусина; О.Н. Мусина. - Москва|Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 146 с. : ил. - Книга находится в ЭБС Университетская библиотека on-line. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-4615-1.
- **Арет, В.А.** Реология и физико-механические свойства пищевых продуктов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Арет, С.Д. Руднев; С.Д. Руднев; В.А. Арет. - Реология и физико-механические свойства пищевых продуктов ; 2021-04-16. - Санкт-Петербург : Интермедия, 2014. - 245 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-4383-0075-5.
- **Калошин, Ю.А.** Физико-механические свойства сырья и готовой продукции : учеб. пособие для вузов / Ю.А. Калошин, Ю.М. Березовский, Л.В. Верняева; под ред. Ю.А. Калошина. - М. : ДеЛи принт, 2011. - 175 с. : ил. - Рек. УМО. - ISBN 978-5-94343-228-6 : 747-01. 664(075.8) - К 17
- **Арет, В.А.** Физико-механические свойства сырья и готовой продукции : учеб. пособие / В.А. Арет, Б.Л. Николаев, Л.К. Николаев. - СПб. : ГИОРД, 2009. - 448 с. : ил. - Рек. УМО. - ISBN 978-5-98879-066-2 : 959-20. 665 - А 80
- **Авроров, В.А.** Основы реологии пищевых продуктов : учеб. пособие для вузов / В.А. Авроров, Н.Д. Тутов. - Старый Оскол : ТНТ, 2015. - 267 с. - Рек. ФГБ. - ISBN 978-5-94178-413-4 : 695-00. Шифры: 664(075.8) - А 21
- **Гноевой, А.В.** Основы теории течений бингамовских сред : [монография] / А.В. Гноевой, Д.М. Климов, В.М. Чесноков. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 272 с. : ил. - ISBN 5-9221-0566-3 : 230-00. Шифры: 532 - Г 56

5. Задания для выполнения контрольной работы

В контрольной работе обучающийся должен показать освоенные компетенции.

Контрольная работа включает в себя 3 теоретических вопроса и решение задачи. Варианты заданий для выполнения контрольной работы соответствуют последней цифре зачетной книжки.

Вариант	Номера вопросов			Номер задачи
1	1	11	21	1
2	2	12	22	2
3	3	13	23	3
4	4	14	24	4
5	5	15	25	5
6	6	16	26	1
7	7	17	27	2
8	8	18	28	3
9	9	19	29	4
0	10	20	30	5

Теоретические вопросы:

1. Реология. Задачи реологии. Основные аксиомы реологии.
2. Деформация и ее виды.
3. Понятия упругости, пластичности, вязкости.
4. Классификация реологических тел.
5. Модели идеальных тел.
6. Моделирование реологических свойств структурированных систем.
7. Модели Максвелла, Бингама и Кельвина-Фойгта.
8. Идеальные и реальные жидкости. Кривые течения. Методы получения, виды, назначение.
9. Адгезия. Связь адгезии с когезией и аутогезией.
10. Внешнее трение.
11. Классификация методов измерения реологических свойств.
12. Классификация реометров.
13. Принцип ротационной вискозиметрии.
14. Типы ротационных вискозиметров.
15. Принцип капиллярной вискозиметрии.
16. Устройство и принцип действия вискозиметров Оствальда и Убеллоде
17. Принцип шариковой вискозиметрии.
18. Адгезиометры.
19. Конические пластометры.
20. Методы и приборы для измерения фрикционных характеристик.
21. Реологическая классификация сыпучих пищевых масс
22. Механические свойства сыпучих продуктов: угол естественного откоса, слеживаемость, виды истечения.
23. Физические свойства сыпучих продуктов: гигроскопичность, насыпная плотность, удельный объем, порозность.

24. Классификация сыпучих материалов и их основные характеристики, определяющие физико-механические свойства.
25. Поверхностные свойства сыпучих масс.
26. Технологические свойства сыпучих масс и смесей, связанные с процессом уплотнения
27. Псевдоожижение.
28. Влияние влажности и температуры на удельную теплоемкость, температуропроводность и теплопроводность.
29. Истечение сыпучих масс.
30. Структурные, физико-механические и реологические свойства зерна и продуктов помола

Задачи:

1. Определить объемный расход Q при продавливании под давлением через круглый канал радиуса R длиной L вязко-пластической жидкости
2. Определить объемный расход Q при продавливании под давлением через круглый канал радиуса R длиной L «степенной» жидкости
3. Определить объемный расход Q при продавливании через плоскую щель высотой H , шириной W , длиной L неньютоновской вязко-пластической жидкости
4. Определить объемный расход Q при продавливании под давлением через канал кольцевого сечения (R_1 , R_2 – наружный и внутренний радиусы сечения) длиной L ньютоновской жидкости
5. Определить объемный расход Q при продавливании под давлением через прямоугольный канал высотой H , шириной W , длиной L ньютоновской жидкости

Исходные данные для решения задачи

Вариант	ΔP 10^5 Па	Реологические параметры				Геометрические параметры, м					
		η Па·с	τ_0 Па	k	n	L	H	W	R	R_1	R_2
1	0,5	70	1800	400	0,30	0,10	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02
2	1,0	99	2000	450	0,25	0,11	0,011	0,055	0,011	0,011	0,021
3	1,3	120	2200	500	0,30	0,12	0,012	0,050	0,012	0,012	0,022
4	1,7	140	2400	550	0,35	0,13	0,013	0,065	0,013	0,013	0,023
5	2,0	180	2600	600	0,40	0,14	0,014	0,070	0,014	0,014	0,024
6	2,2	200	2800	650	0,45	0,15	0,015	0,075	0,015	0,015	0,025
7	2,5	220	3000	700	0,50	0,16	0,016	0,080	0,016	0,016	0,026
8	2,8	240	3200	750	0,55	0,17	0,017	0,085	0,017	0,017	0,027
9	2,9	260	3400	800	0,60	0,18	0,018	0,090	0,018	0,018	0,028
0	3,0	280	3500	850	0,65	0,19	0,019	0,095	0,019	0,019	0,029

Основные зависимости для расчетов:

Реологическое уравнение	Формулы объемного расхода			
	Канал круглого сечения	Канал кольцевого сечения	Канал в виде плоской щели	Канал прямоугольного сечения
$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$ Ньютоновская жидкость	$Q_n = \frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{L};$ $(\tau = \frac{\Delta P \cdot R}{2L}; \dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3})$	$Q = \frac{\pi \Delta p}{8\eta L}$ $\times \sqrt{\left[R_2^4 - R_1^4 - \frac{(R_2^2 - R_1^2)}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \right]}$	$Q = \frac{WH^3 \Delta P}{12\eta L}$	$Q = \frac{WH^3 \Delta P}{12\eta L}$ $\times \sqrt{\left[1 - \frac{192}{\pi^5} \cdot \frac{H}{W} \tanh \frac{\pi W}{2H} \right]}$
$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$ Неньютоновская вязко-пластическая жидкость	$Q_{\text{степ}} = \frac{\pi R^3 n}{3n+1} \left(\frac{R}{2k} \cdot \frac{\Delta P}{L} \right)^{\frac{1}{n}};$ $\left(\begin{array}{l} \tau = \frac{\Delta P \cdot R}{2L}; \\ \dot{\gamma} = \left(\frac{Q}{\pi R^3} \cdot \frac{3n+1}{n} \right)^n \end{array} \right)$		$Q = \frac{WH^2}{2(n+2)} \times \sqrt{\left(\frac{H \Delta P}{2kL\eta} \right)^n}$	

η – вязкость (Па·с); $\dot{\gamma}$ – скорость деформации (с⁻¹)