***На правах рукописи***

Минобрнауки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«Оренбургский государственный университет»**

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

*«Б1.Д.В.1 Инженерная физико-химическая механика дисперсных систем»*

Уровень высшего образования

МАГИСТРАТУРА

Направление подготовки

*15.04.02 Технологические машины и оборудование*

(код и наименование направления подготовки)

*Машины и аппараты нефте- и газоперерабатывающих предприятий*

(наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Тип образовательной программы

*Программа академической магистратуры*

Квалификация

*Магистр*

Форма обучения

*Очная*

Составитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Соловых С. Ю.

Методические указания является приложением к рабочей программе по дисциплине Инженерная физико-химическая механика дисперсных систем, зарегистрированной в ЦИТ под учетным номером\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |
| --- |
|  |
|  |

**Содержание**

[1. Методические рекомендации по изучению дисциплины 4](#_Toc166693907)

[2. Методические рекомендации при подготовке к лекциям 4](#_Toc166693908)

[3. Методические рекомендации при подготовке к практическим занятиям 4](#_Toc166693909)

[4. Методические указания по самостоятельной работе 24](#_Toc166693910)

[5. Методические указания к выполнению *ИТЗ* 24](#_Toc166693911)

[6. Методические указания по промежуточной аттестации по дисциплине 27](#_Toc166693912)

# Методические рекомендации по изучению дисциплины

Студентам необходимо ознакомиться:

- с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, имеющимся в ЭБС, на образовательных порталах в Интернет или сайте кафедры, с графиком консультаций преподавателей кафедры.

После получения списка рекомендованной литературы студенту необходимо получить в библиотеке доступ (в бумажном/электронном виде) как минимум к одному из рекомендованных источников.

# Методические рекомендации при подготовке к лекциям

Лекции являются **о**сновным видом аудиторной работы студентов. Они дают систематизированные знания студентам о наиболее сложных и актуальных проблемах изучаемой дисциплины. На лекциях особое внимание уделяется не только усвоению студентами изучаемых проблем, но и стимулированию их активной познавательной деятельности, творческого мышления, развитию научного мировоззрения, профессионально-значимых свойств и качеств.

Осуществляя учебные действия на лекционных занятиях, студенты должны внимательно воспринимать действия преподавателя, запоминать складывающиеся образы, мыслить, добиваться понимания изучаемого предмета, применения знаний на практике, при решении учебно-профессиональных задач. Студенты должны аккуратно вести конспект. В случае недопонимания какой-либо части предмета следует задать вопрос в установленном порядке преподавателю. В процессе работы на лекции необходимо так же выполнять в конспектах модели изучаемого предмета (рисунки, схемы, чертежи и т.д.), которые использует преподаватель. Работу над конспектом следует начинать с его доработки, желательно в тот же день, пока материал еще легко воспроизводим в памяти. С целью доработки необходимо прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл.

Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополняя и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего рекомендуется применять различные способы выделений. Доработанный конспект и рекомендуемая литература используются при подготовке к практическим занятиям.

# Методические рекомендации при подготовке к практическим занятиям

Подготовка сводится к внимательному прочтению учебного материала, к выводу с карандашом в руках всех утверждений и формул, к решению примеров, задач, к ответам на вопросы. Примеры, задачи, вопросы по теме являются средством самоконтроля. Непременным условием глубокого усвоения учебного материала является знание основ, на которых строится изложение материала, что требует периодического возврата к ранее изученному материалу. Неоднократное обращение к пройденному материалу является наиболее рациональной формой приобретения и закрепления знаний.

Практические занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, отработки планируемых результатов обучения в компетенциях «уметь» и «владеть». Практическое занятие проводится под руководством преподавателя в учебной аудитории. Служит для на углубление научно- теоретических знаний и овладение определенными методами самостоятельной работы. Опираясь на знания, полученные на лекции, используя справочно-методическую литературу, студент устанавливает логическую связь между теоретической составляющей дисциплины и практическим применениям знаний её составляющих.

На лабораторных занятиях осуществляются следующие формы работ со студентами: *индивидуальная* (оформление и защита отчета по работе); *групповая* (выполнение заданий малыми группами до 4 человек).

**Структура и последовательность занятий**: на первом, вводном, занятии проводится инструктаж студентов по охране труда, технике безопасности и правилам работы в аудитории по инструкциям утвержденного образца с фиксацией результатов в журнале инструктажа. Студенты также знакомятся с основными требованиями преподавателя по выполнению учебного плана, с графиком занятий и основными формами контроля выполненных работ.

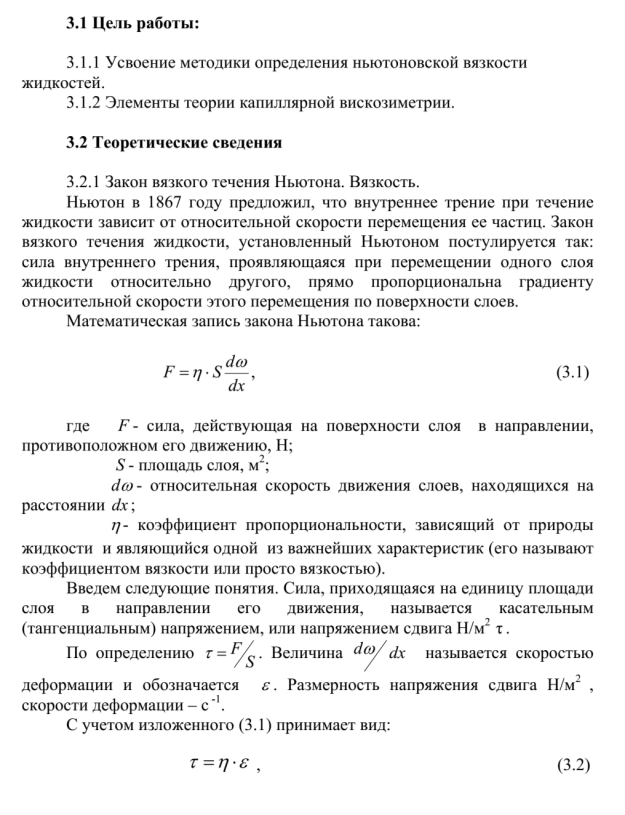
Остальные практические занятия проводятся последующему алгоритму – ознакомление с теоретической составляющей работы, проведение эксперимента/выполнение расчета, оформление отчета с расчетами, рисунками и графиками, защита отчета. Отчет по работе оформляется согласно требованиям СТО 02069024.101-2015

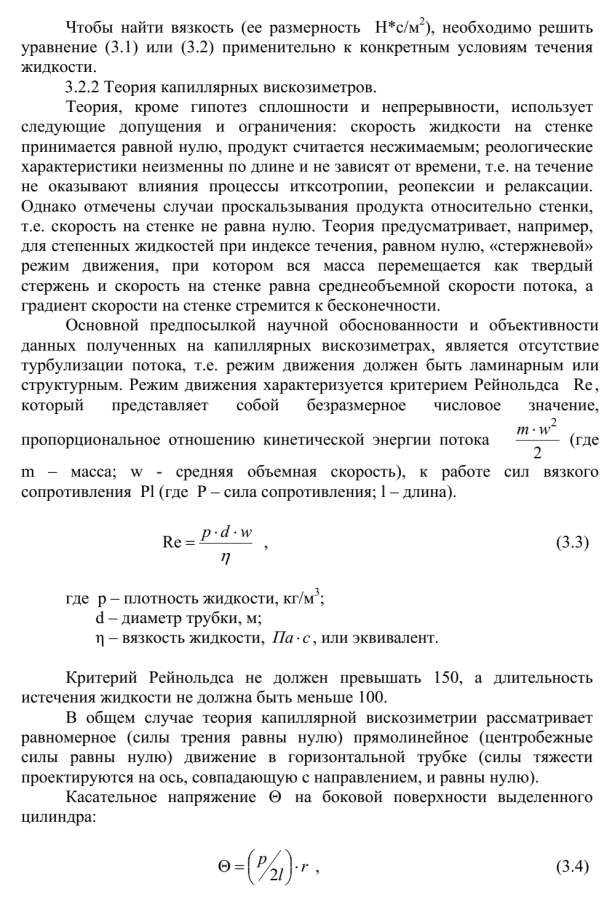
Для подготовки к занятиям рекомендуется использовать следующий источник:

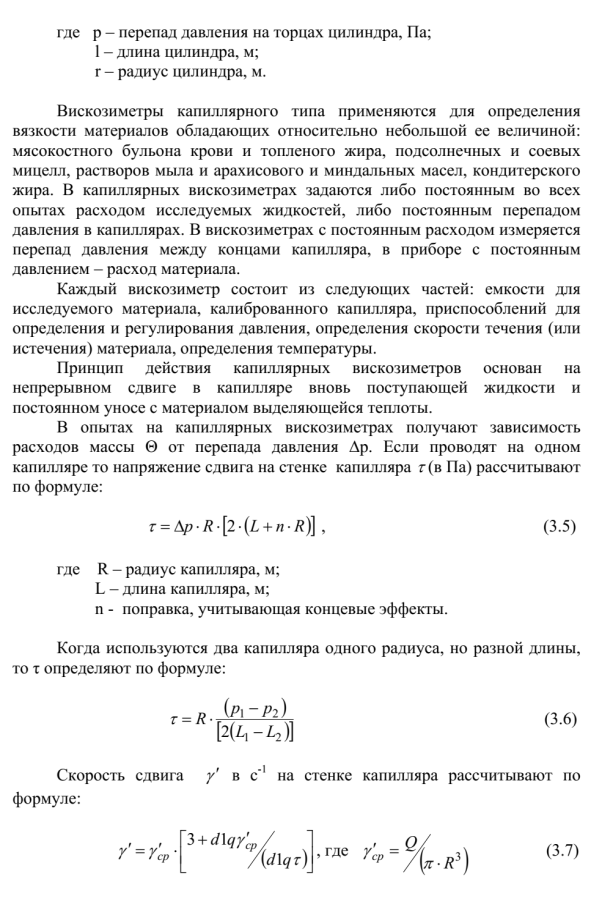
1. **Концентрированные дисперсные системы** : учебное пособие / Ю.А. Шигабиева, М.В. Потапова, С.А. Богданова, Ю.Г. Галяметдинов ; Министерство образования и науки России, Казанский национальный исследовательский технологический университет. - Казань : КНИТУ, 2017. - 92 с. : табл., граф., схем., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7882-2208-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=560553>

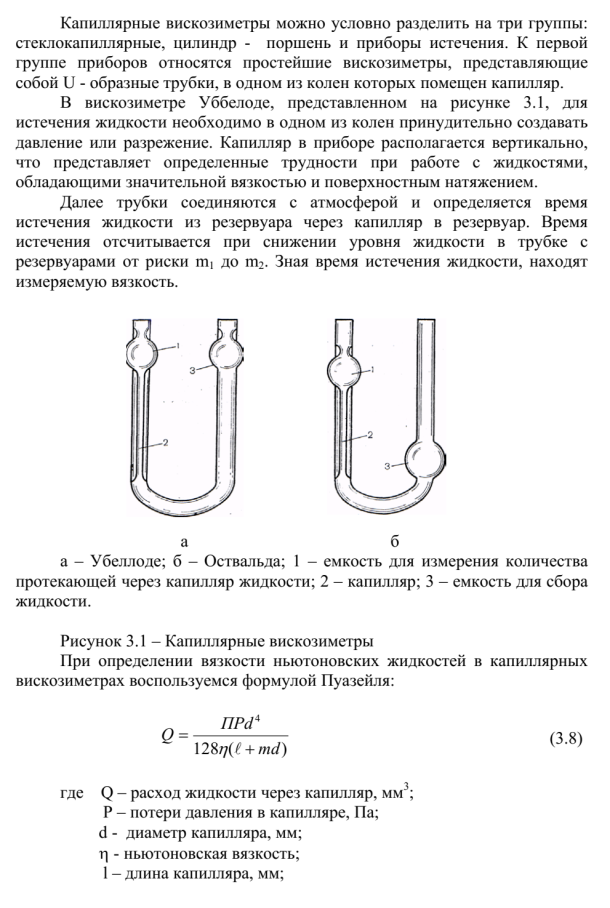
Также помогут в освоении дисциплины следующие материалы.

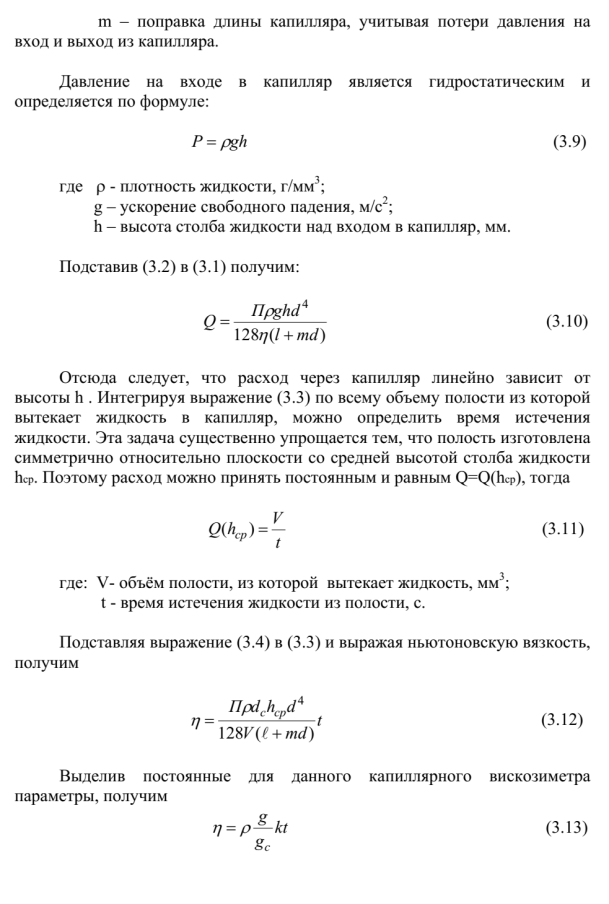
**Изучение работы капиллярного вискозиметра**

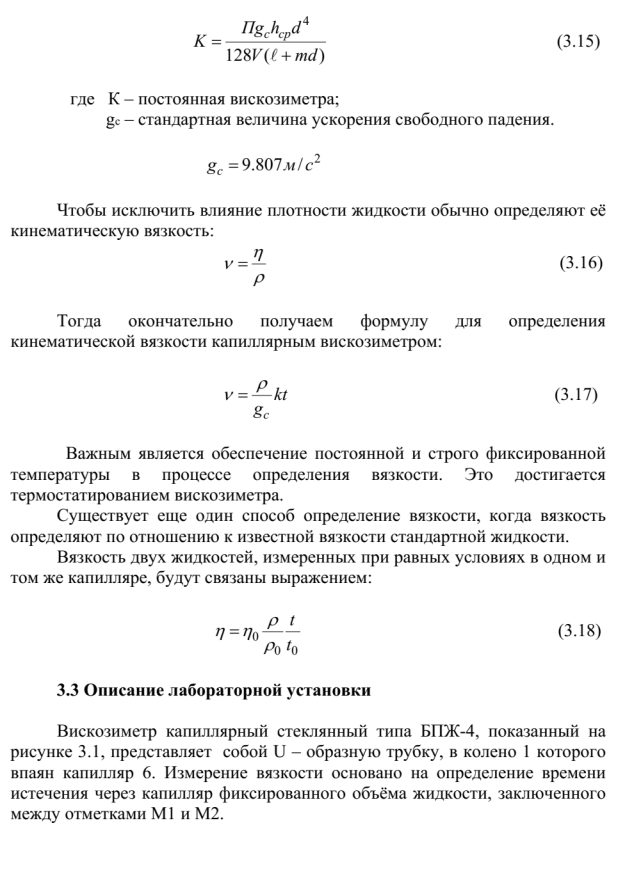




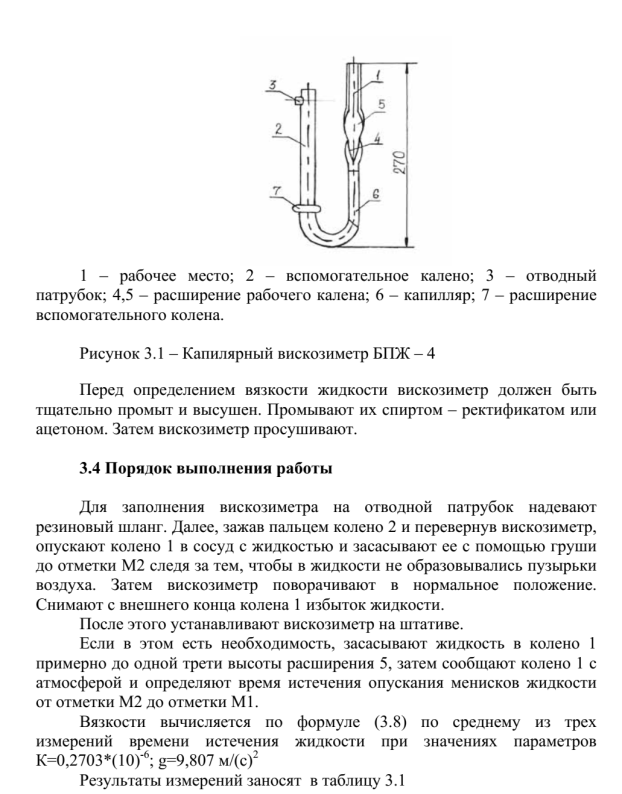
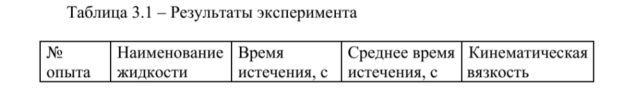




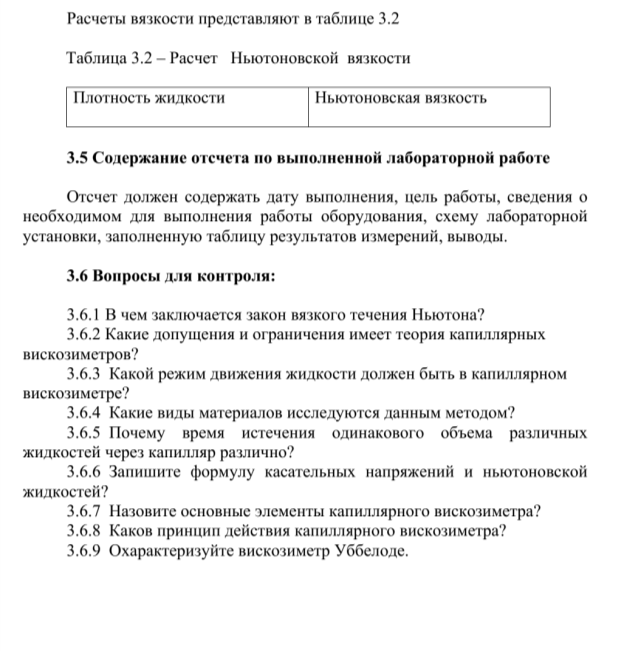


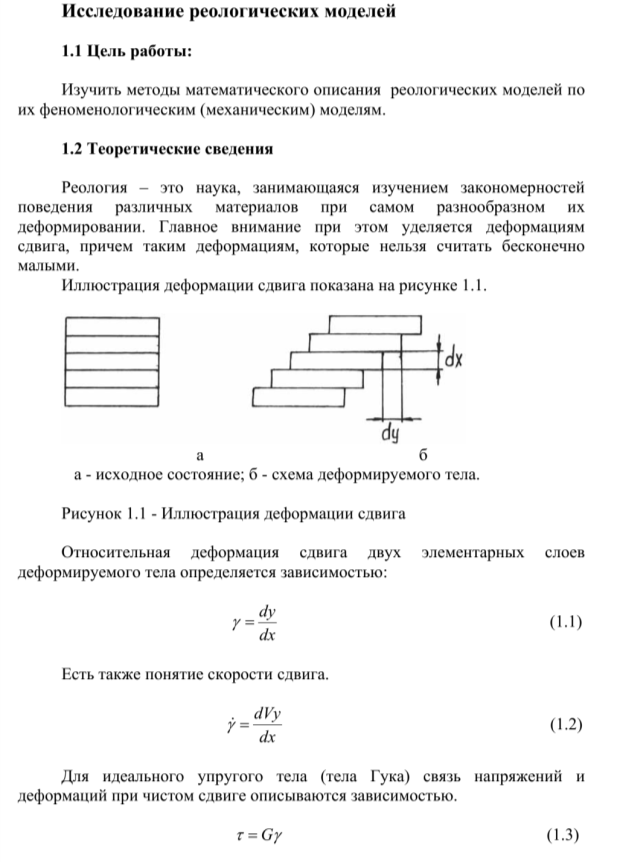


ВПЖ-4,

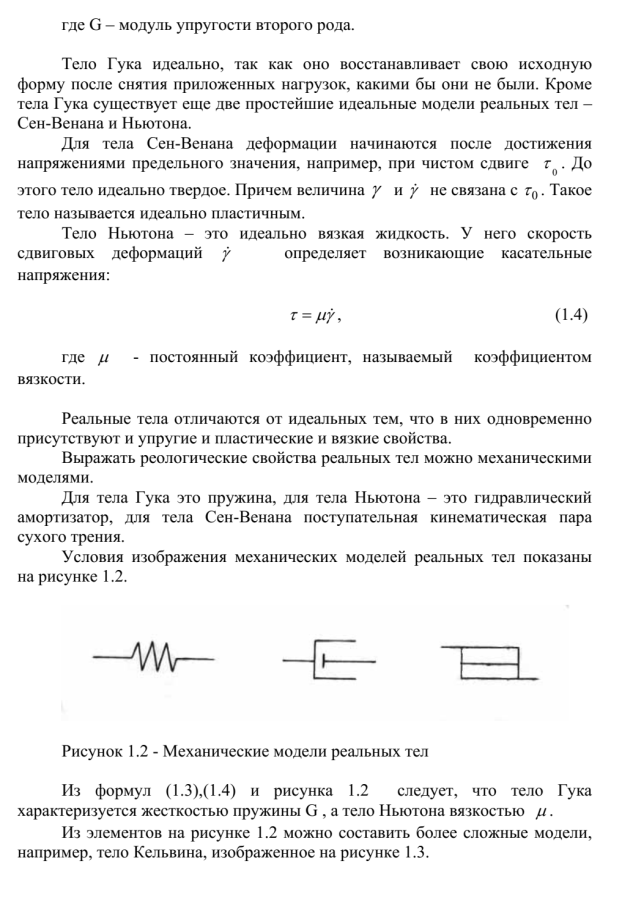
 

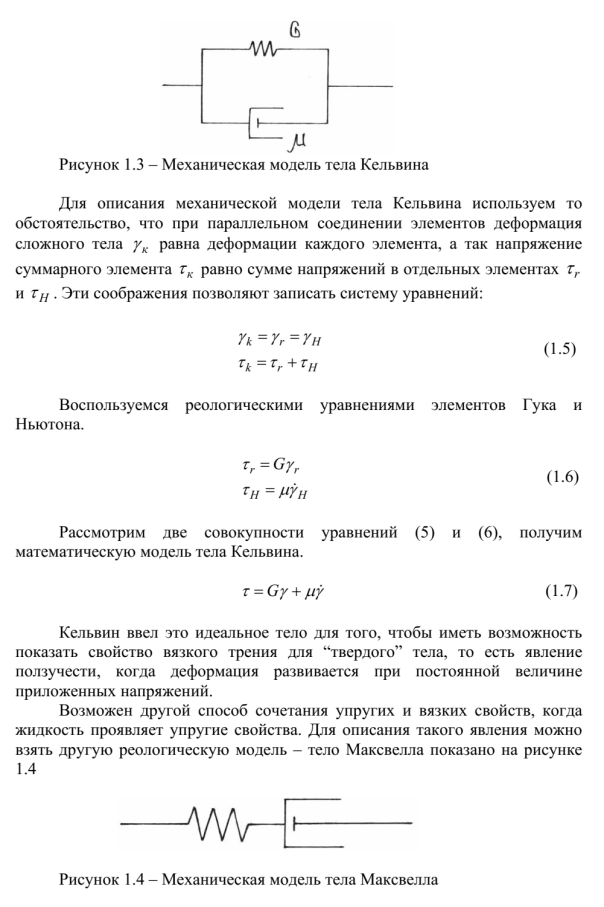
ВПЖ-4

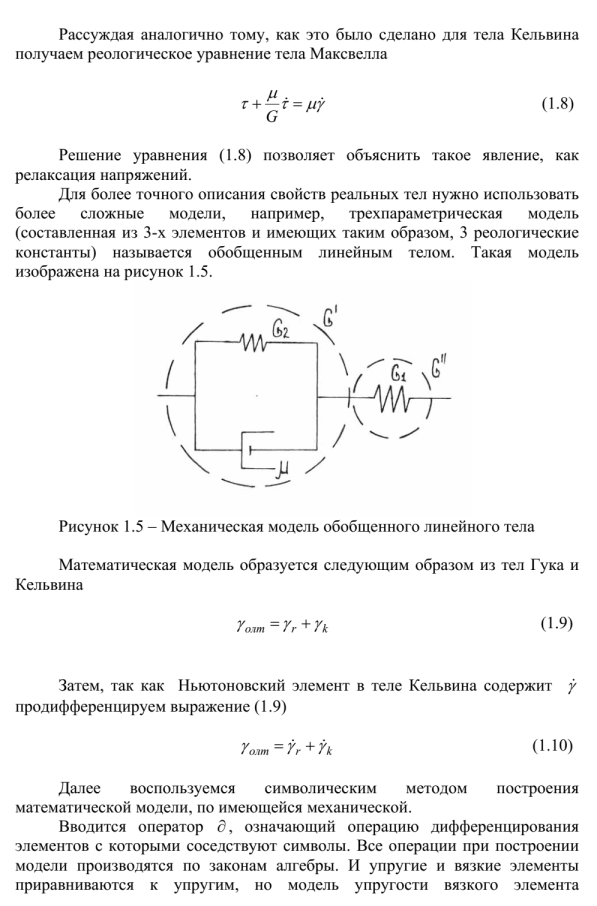


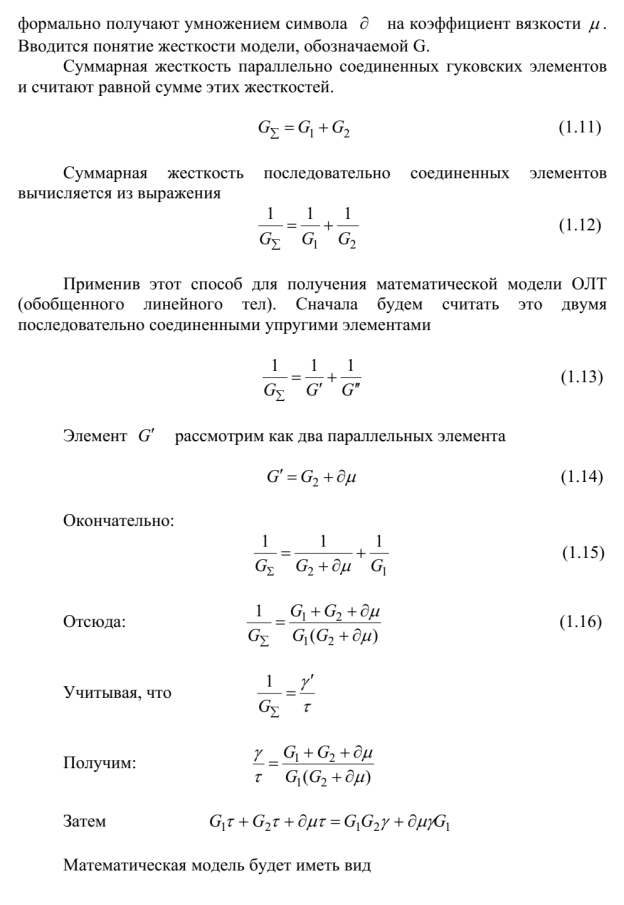


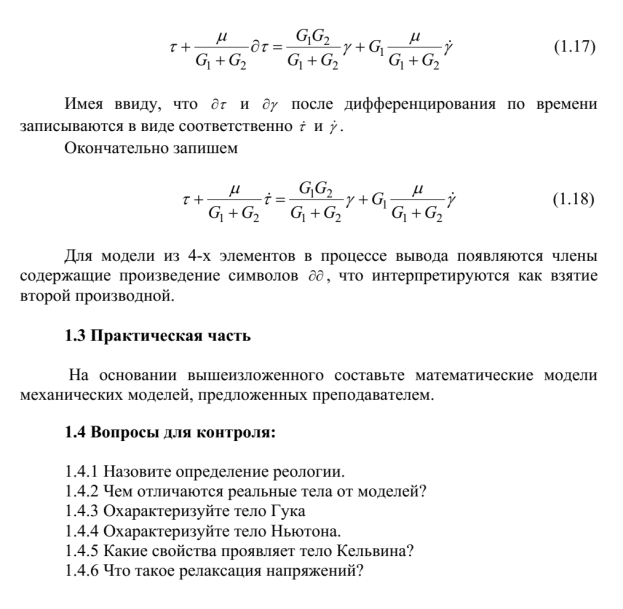
**дисперсных систем**











**Изучение работы ротационного вискозиметра**

**Цель работы**

Ознакомление с ротационными вискозиметрами для определения вязкости жидкостей.

Выявление закономерностей изменения вязкости жидкостей от тем­пературы.

**Теоретические сведения**

Ротационные вискозиметры в отличие от капиллярных применяются для определения вязкости широкого спектра материалов, они могут быть жидкими (различные жидкости), пластичными, твердыми. Семейство ротационных вискозиметров включает в себя системы с соосными цилиндрами, конусами, сферами и некоторыми другими поверхностями вращения. Принцип измерения заключается в опре­делении крутящего момента, необходимого для преодоления сопротивления материала, который вызывает касательное напряжение между слоями материа­ла, и угловой скорости вращающейся поверхности, с помощью которой опреде­ляют скорость сдвиговой деформации. Меняя частоту вращения, можно полу­чить достаточное количество экспериментальных точек для построения сдвиго­вой характеристики материала. В связи с этим ротационные вискозиметры могут отличаться друг от друга также устройствами для измерения крутящего момента.

Для определения вязкости может применяться следующий метод: внут­ренний цилиндр свободно плавает в испытуемой жидкости, крутящий момент передается этому цилиндру с помощью магнитного поля или через промежу­точную жидкость и по его угловой скорости можно оценивать вязкость.

При применении ротационного вискозиметра для определения реологи­ческих параметров пищевых масс с высокой вязкостью возникают некоторые трудности. Например, при использовании прибора типа цилиндр-цилиндр, на котором исследуемую массу помещают в узком зазоре между наружным и внутренним цилиндрами. Возникают две противоположные задачи: для удоб­ного, равномерного заполнения довольно густой исследуемой массой зазор должен быть достаточно большим, в то же время зазор должен быть минималь­ным для обеспечения одинаковой скорости сдвиговой деформации во всех точ­ках. Это условие достигается только при небольшом отношении его толщины к диаметру цилиндров, и оно необходимо для применения простого метода рас­чета по экспериментальным данным реологических характеристик исследуемой массы.

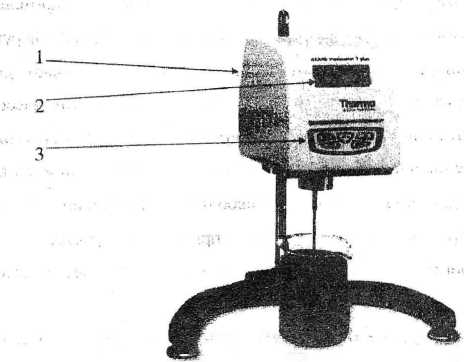
Данные ротационной вискозиметрии используются для определения оптимальной продолжительности перемешива­ния масс.

**Описание лабораторной установки**

В рамках лабораторной работы применяется ротационный вискозиметр фирмы Нааке модель VT7 R plus, Германия.

Вискозиметр (рисунок 1) работает по тому же принципу, что и другие ротационные вискозиметры. Цилиндр или диск погружается в измеряемое веще­ство и измеряется сила, необходимая для преодоления вязкого трения, возни­кающего при вращении. Ось мотора соединена пружиной с вращающимся ци­линдром (или диском/ротором) и вращается с определенной скоростью. Угол отклонения ротора относительно измеряющей пружины измеряется с помощью электроники и в результате определяется величина крутящего момента.

Измеренный вискозиметром крутящий момент пересчитывается с учетом скорости и геометрии ротора и в результате выдается величина вязкости в мПа-с.



1 - главный выключатель сети (на задней панели); 2 - жидкокристаллический дисплей; 3 - панель управления.

Рисунок 1 - Ротационный вискозиметр фирмы Нааке модель VT7 R plus

В комплекте с оборудованием имеется набор разных типов роторов для применения в зависимости от условия задачи. Вискозиметр обладает доста­точно широким диапазоном скоростей, что делает его эффективным прибором для измерения вязкости. В зависимости от вязкости изменяется сопротивление движению пропорционально скорости и размеру ротора. Вискозиметр калиброван таким образом, что с учетом выбранной скорости и типа ротора результат выда­ется в мПа-с. Разные комбинации типов роторов и скоростей позволяют получать оптимальные показания во всем широком диапазоне измерений прибора.

При определении реологических свойств того иди иного материала диапа­зон измерений можно поменять просто использованием другой скорости, смена ротора не всегда необходима.

**Порядок работы с прибором**

Включите прибор, кнопка включения сети находится сзади, ее следует на­жимать только после подключения прибора к сети, В течение двух секунд на дис­плее прибора будет отображаться надпись:

THERMOELECTRON VT7-R PLUS v4.5 : English

Для изменения языка диалога или единиц измерения следует нажать на кла­вишу «START» (Это необходимо сделать в течение двух секунд), затем «EN­TER» Для изменения языка диалога следует нажимать на клавиши «UР» и «DOWN». Выбор нужного языка подтверждается клавишей «ENTER». Возмож­на установка следующих языков: Английский, Испанский, Французский, Немец­кий, Итальянский, Японский, Каталонский, Португальский.

После ввода языка диалога, при помощи аналогичной процедуры, устанав­ливаются единицы измерения (viscosity units): мПа-с (по системе Си — SI) или сП (по системе CGS). Выбор нужной опции подтверждается клавишей «ENTER». Далее выбирают систему измерения для напряжения сдвига (Н/м2 или dyne/cm2), температуры (по Цельсию или Фаренгейту), режим работы с компь­ютером или с принтером. Заканчивают вводом дня недели, даты и времени.

Установленные параметры будут в дальнейшем использоваться по умолчанию.

Если не нажата кнопка «START» в течение 2 с после включения прибора, на дисплее появляется сообщение

SELFTESTING?

START-YES STOP-NO

(провести самопроверку? кнопка старт - провести, кнопка стоп - нет).

При нажатии кнопки «START» запускается самопроверка прибора, при нажатии кнопки «STOP» прибор останавливается и дает возможность ввести параметры.

Первый параметр – это ротор (SP), значок которого изображается в верх­нем правом углу дисплея, при установке параметра этот значок будет мигать. При нажатии кнопок «НР» и «DOWN» номера роторов появляются па дисплее, маркировка роторов показана на рисунке 2. Нажатием кнопки ввода «ENTER» подтверждается выбор номера ротора, изображенного на дисплее, и система переходит в режим ввода частоты вращения ротора.

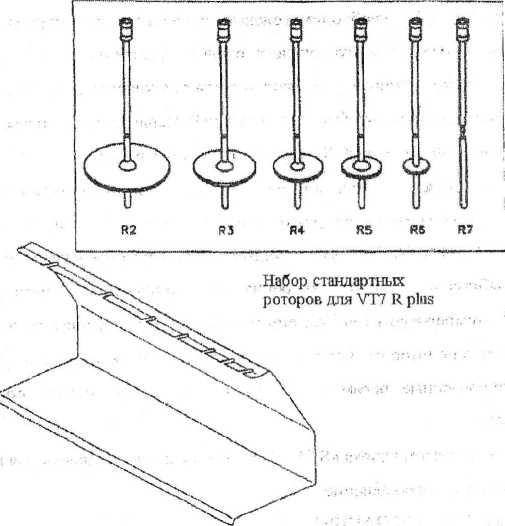


Рисунок 2 - Стандартные роторы с подставкой

Второй параметр – это скорость, которая изображается в левом верхнем углу дисплея. Процедура установки скорости такая же, как и для выбора типа ротора.

При самопроверке следует снять ротор с вискозиметра, в противном слу­чае на дисплее появится сообщение REMOVE SPINDLE AND PRESS START (снимите ротор и нажмите кнопку «START»).

После нажатия кнопки старт начнется самопроверка, сразу появляется следующее сообщение AUTOTESTING SPEED: l0 rpm

(самопроверка, скорость 10 об/мин).

Скорость увеличится до 200 об/мин в процессе самопроверки. Если при­бор работает безупречно, то на дисплее появится сообщение:

AUTO TEST OK

Далее на дисплее появляется сообщение PUT CORRECT SPINDLE АND PRESS START (установите правильный ротор и нажмите кнопку «START»).

После установки выбранного ротора прибор запускается нажатием кнопки «START». При установке ротора необходимо соблюдать некоторые технические требования по эксплуатации прибора:

- если выбранный ротор имеет колоколообразную форму, он должен быть наклонно погружен в жидкость во избежание образования воздушных пу­зырьков под его нижней поверхностью. Для установки нужно слегка приподнять ось, крепко держа ее одной рукой, а другой закручивать ротор. Процедуры вы­полнять очень аккуратно для предотвращения искривления оси ротора.

- ротор - это ответственная деталь с внутренней резьбой, он должен быть гладким, и чистым. Его погружают в материал до определенного уровня, он про­маркирован на каждом роторе (рисунок 2.3). Ось прибора не должна ударяться о края сосуда во время установки ротора, в противном случае может быть нарушена вертикальность ротора.

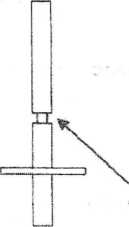


Рисунок 3 - Метка на роторе

После запуска через некоторое время (в зависимости от выбранной скорости) достигается стабильность показаний вискозиметра, они мо­гут рассматриваться как правильные. При этом прибор В этом случае нужно остановить прибор нажатием кнопки «STOP», на дисплее высветится последнее измеренное значе­ние. Остановка происходит плавно для предотвращения поломок наиболее хруп­ких частей прибора от ненужных ударных нагрузок, при повторном нажатии кнопки «START» вискозиметр восстановит стабильные показания. Кнопка «START» служит также для переключения индикации на дисплее прибора (температура – номер ротора).

Если на дисплее появляется сообщение Error (ошибка), и звучит преду­предительный сигнал, это означает, что превышен максимум (в %) диапазона измерений. В этом случае следует или уменьшить скорость или выбрать другой ротор, с большим номером.

Вязкость материала меняется с изменением температуры, если показания вязкости не стабилизируются, значит либо измеряемое вещество обладает тиксотропией, либо температура непостоянна. В последнем случае следует привести ротор к той же температуре, что и температура материала, чтобы получить, ста­бильные показания.

Вязкость материалов, которые не являются ни ньютоновыми, ни тиксотропными, зависит от градиента скорости. Следовательно, измерения вязкости всегда должны проводиться с одним и тем же ротором и на одной и той же скорости.

Порядок выполнения работы

Заполнить рабочую емкость исследуемым материалом.

Погружать ротор в исследуемый материал.

Довести температуры исследуемого материала до некоторых значений.

Измерить вязкость материала при разных значениях температуры, результаты занести в таблицу 1.

Построить график и выявить функциональную зависимость вязкости материала от температуры (в среде Microsoft Excel);

Таблица 1 - Результаты эксперимента

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал |  | | | | | |
| Температура, t, °С |  |  |  |  |  |  |
| Измеренная вязкость, мПа-с |  |  |  |  |  |  |

**Вопросы для контроля**

1. Приведите примеры способов определения вязкости в ротационных вискозиметрах.
2. Для исследования каких веществ используются ротационные вискозиметры.
3. В каком случае и почему не представляется возможным использова­ние ротационных вискозиметров.
4. Назовите основные элементы ротационного вискозиметра Нааке, мо­дель VT7 R plus.
5. Опишите работу ротационного вискозиметра Нааке модель VT7 R plus.

# Методические указания по самостоятельной работе

**Целью самостоятельной работы студентов** (СРС) является освоение фундаментальных знаний, развитие ответственности и организованности, умений самостоятельно работать с учебным материалом и приобретение навыков поиска и реферирования доступной научной информации в предметной области изучаемой дисциплины.

Основной формой СРС является работа с лекционным материалом: проработка и повторение конспекта лекций, работа на чистых страницах конспекта с терминами, дополнение конспекта материалами из рекомендованного списка литературы. Приветствуется инициатива студентов к поиску новой информации по изучаемой дисциплине, не освещенная или представленная кратко в лекционном курсе.

При самостоятельной работе особое внимание следует уделить следующим темам: реологические модели сложных тел, использование структурно-механических свойств сырья для управления процессами его переработки, приборы для измерения различных реологических свойств сырья, факторы, влияющие на устойчивость дисперсных систем, методы определения и способы регулирования устойчивости НДС, порошки в нефтепереработке, сорбционные процессы в нефтепереработке.

При самостоятельной подготовке к лабораторным или практическим занятиям необходимо ознакомиться с теоретическим материалом по теме работы, выяснить основные формулы и зависимости, законы и закономерности. Уяснить для себя порядок действий при решении задач или выполнением практических действий с оборудованием.

Для подготовки к решению задач рекомендуется использовать:

1. **Поверхностные явления и свойства дисперсных систем** : учебное пособие / В. Е. Проскурина, Ю. Г. Галяметдинов, А. А. Коноплева [и др.]. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2018. — 137 c. — ISBN 978-5-7882-2335-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/95009.html>— Режим доступа: для авторизир. пользователей

# Методические указания к выполнению *ИТЗ*

*ИТЗ* является одной из форм контроля самостоятельной работы студента. В результате выполнения задания студенты должны закрепить знания, связанные с расчетами механико-физико-химических свойств дисперсных систем, получить навыки прогнозирования поведения дисперсных систем на основе обобщения и анализа информации об их структуре, овладеть математическим аппаратом при планировании и проведении научных исследований и разработок в области инженерной механики дисперсных систем, в том числе с использование компьютерных технологий.

Тема выдается преподавателем, согласно номеру студента в списке группы. Задание включает три задачи разной направленности – расчет нефтепровода, определение объемного расхода заданной жидкости в трубопроводе и математическое моделирование тела по феноменологическим моделям.

Решение осуществляют, опираясь на следующие рекомендации:

**Задача 1.** При опрессовке участка нефтепродуктопровода с характеристиками (d0, δ, E, αT), перекачивающего дизельное топливо (ρ20, K, pу), в нем создали давление p1; при этом температура нефтепродукта и трубы составила tн. Определить, какое давление будет в испытуемом участке, если температура нефтепродукта (и трубы) понизится на Δt.

(исходные данные по вариантам представлены в ФОС).

Примерная методика решения:

Решение этой задачи основывается на формуле

, (1)

Указанная формула получена следующим образом:

Если участок трубопровода полностью заполнен жидкостью, находящейся под давлением p1, и имеющей температуру Т1, то масса жидкости в нем рассчитывается так:

плотность жидкости

 (2)

Объем трубопровода

 (3)

Масса жидкости

 (3)

При охлаждении жидкости от Т1 до Т2 её плотность определится равенством

 (4)

Соответственно, объем

 (5)

При этом масса жидкости не изменяется.

Приняв допущение, что после снижения температуры трубопровод остается полностью заполненным жидкостью, масса определиться формулой

 (6)

Ну а так как М1=М2, то

 (7)

Или

 (8)

**Задача 2.** В результате вискозиметрирования вещества получена таблица значений напряжений *τ*, Па и скоростей сдвига , с–1. Необходимо определить коэффициент консистенции *μ*, Па·с, индекс течения *n*. Определить объемный расход *Q*,м3/с этого вещества при ламинарном течении в трубе радиусом R*,* длиной *l,* при перепаде давлений *Δp*. Исходные данные по вариантам представлены в ФОС.

Примерная методика решения:

Дано:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| τ, Па | 4 | 17 | 22 | 34 | 41,5 | 50 | 53,5 | 62 | 70 |
| , с–1 | 20 | 30 | 65 | 115 | 90 | 140 | 125 | 182 | 180 |

R = 0.04; м l = 200 м; Δp=300000 Па

Решение:

1. Заносим исходные данные в табличный процессор Excel.
2. Выбираем «Вставка» - «Диаграмма» - «Точечная»
3. На полученном графике выбираем «Добавить линию тренда», указав при этом «показать уравнение на диаграмме» и «показать значение R^2».
4. Рекомендуется для наглядности продлить линию тренда (средствами Excel) до пересечения с осями.
5. Наиболее подходящей линией тренда будет та, у которой значений R^2 максимальное. При этом надо учитывать и физическую сущность процесса. Рекомендуется анализировать линейную (вязко-пластичное тело) и степенную (неньютоновская жидкость) зависимости.

6. Анализируя полученные результаты, видим, что более подходящей является модель вязкопластичной жидкости (тело Шведова-Бингама).



8. Воспользуемся общей формулой для расчета объемного расхода при течении неньютоновской жидкости в трубе:

*Q* = ,

или

*Q* =  = .

*Q* =  м3/с

**Задача 3.** Составить математическую модель тела, согласно предложенному варианту механической модели. Определить величину релаксации напряжений τ, приняв значения коэффициента консистенции μ1 из предыдущей задачи (если присутствует), коэффициента консистенции μ2=2\*μ1 (если присутствует), значение жесткости (модуль сдвига) G1=0.8\*μ1\*10-3, G2=1,2\*μ1\*10-3 (если присутствует). Время релаксации *t*. Величина начального напряжения τ0=3μ1\*102. Величина предела текучести =0,5μ1\*102 (если присутствует).

Методика решения предложена в источнике:

**Исследование физико-механических свойств пищевых продуктов** [Текст] **:** метод. указания по курсам "Физ.-мех. свойства пищевых продуктов. Инженер. реология" / С. В. Антимонов [и др.]. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006. - 37 с. - Библиогр.: с. 37

Оформление задания необходимо осуществлять согласно требованиям СТО 02069024.101-2015 «Работы студенческие».

Процедура защиты проходит в форме собеседования. Собеседование – устная форма ответов студента на вопросы, задаваемые педагогическим работником по теме. Во время собеседования студент должен продемонстрировать основные результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций уровня «владеть».

# Методические указания по промежуточной аттестации по дисциплине

При подготовке к промежуточной аттестации и экзамену студент должен повторно изучить конспекты лекций и основные разделы из рекомендованной литературы, просмотреть решения основных задач, решенных самостоятельно и в процессе работы на занятиях. Рекомендуется составить краткие письменные ответы на все вопросы, вынесенные на промежуточную аттестацию, либо составить план ответа по предлагаемым вопросам из ФОС.