

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

Оренбургский государственный университет

Кафедра «Детали машин и прикладная механика»

В.В. Назаров

ЗАКОН ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ НЬЮТОНА

Методические указания к лабораторной работе

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2008

ББК 30.3
УДК 620.178.2+620(076.5)
Н 19

Рецензент
кандидат технических наук, доцент Р.Н. Узяков

Назаров В.В.
Н 19 Закон вязкого трения Ньютона. Методические указания к лабораторной работе. – Оренбург, ИПК ГОУ ОГУ, 2008, - 16 с.

Методические указания включают теоретический материал, описание устройства и тарировку экспериментальной установки для проведения лабораторной работы по прикладной механике. Предназначены для студентов ВУЗов технических и технологических специальностей.

Составлены в соответствии с программой, утвержденной ГОУ ОГУ (МО РФ).

ББК 30.3

$$H \frac{2703000000}{ЛР 020716}$$

© Назаров В.В., 2008
© ИПК ГОУ ОГУ, 2008

Содержание

Введение.....	4
1 Общие положения.....	5
1.1 Вязкое трение.....	5
1.2 Основы реометрии.....	6
2 Описание экспериментальной установки.....	7
3 Тарировка вискозиметра.....	8
4 Порядок подготовки и проведения эксперимента.....	9
5 Протокол испытаний.....	11
6 Вопросы для самоконтроля.....	12
Приложение.....	13
Список использованной литературы.....	16

Введение

Проблема рационального использования горюче-смазочных материалов, охлаждающих, тормозных и других технических жидкостей, пищевого сырья требует более глубокого изучения их физико-механических (в том числе реологических) свойств. Управление этими свойствами различными механическими и технологическими средствами дает возможность улучшать их рабочие характеристики. Вопросы повышения качества очистки моторных и трансмиссионных масел в процессе эксплуатации, повышение производительности различного технологического оборудования, используемого для переработки пищевых материалов, также непосредственно связаны с проявляющимися при их движении свойствами. Подробное изучение законов течения вязких материалов в узких рабочих зазорах, например, регенерационных установок, центробежных сепараторов и центрифуг, в различных парах трения непосредственно связаны с вискозиметрическими методами исследований.

Предлагаемые методические указания позволяют студентам изучить основы реометрии. Они дают представление о методике и технике экспериментальных исследований. Практические навыки дают возможность студентам более полно освоить теоретический материал.

1 Общие положения

1.1 Вязкое трение

Внутреннее трение – это свойство газов, жидкостей, пластичных материалов сопротивляться относительному перемещению соседних слоев. Между слоями жидкости, движущимися с различными скоростями при ее течении в рабочих органах машин, в смазке между трущимися поверхностями действуют силы вязкого трения Ньютона.

Понять сущность явления внутреннего трения можно при помощи ламинарного (без перемешивания слоев) течения жидкости между двумя параллельными пластинами В и Н, одна из которых (В) движется параллельно оси У (расположена в плоскости пластины Н) со скоростью V (рисунок 1). При условии прилипания частиц жидкости к неподвижной пластине скорость их здесь равна нулю, а у подвижной пластины - V. Нелинейный профиль скоростей слоев жидкости в этом зазоре относит ее к типу неньютоновских (Nonnewton), а линейный - к ньютоновским (Newton). Тогда:

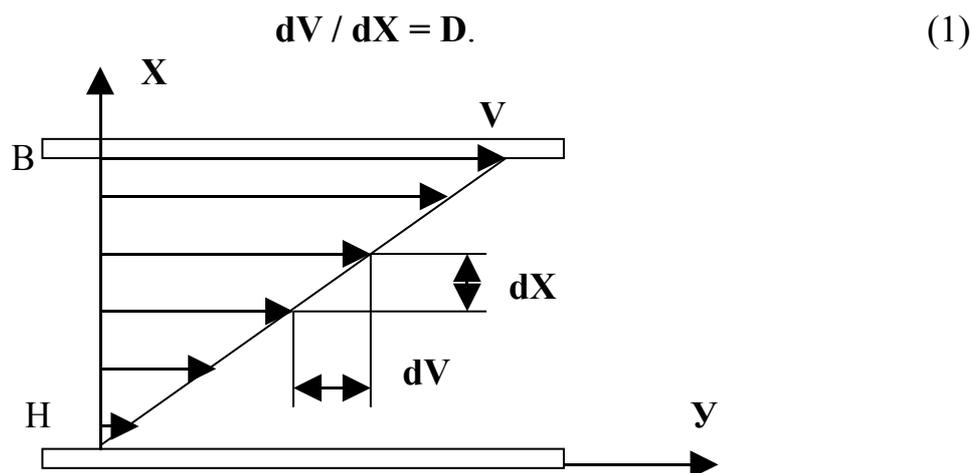


Рисунок 1. Поле скоростей частиц жидкости в зазоре

Закон вязкого трения Ньютона имеет вид:

$$F = \mu A D. \quad (2)$$

Здесь F – сила вязкого трения, Н; D – градиент скорости, c^{-1} ; A – площадь соприкасающихся поверхностей, m^2 ; μ – коэффициент вязкого трения (динамическая вязкость) – константа для ньютоновских жидкостей, Па с.

Площадь соприкасающихся коаксиальных цилиндров:

$$A = 2\pi R_v h, \quad (3)$$

где R_v – радиус внутреннего цилиндра, м; h – высота цилиндра, м.

Определение: «Площадь соприкасающихся в относительном перемещении поверхностей и градиент скорости жидкости между ними прямо пропорциональны силе вязкого трения». Механическая модель ньютоновской жидкости показана на рисунке 2.

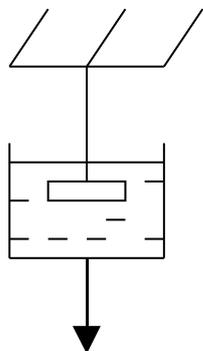


Рисунок 2. Демпфер – вязкое тело Ньютона

Вязкость ньютоновских материалов зависит в основном от сил межмолекулярного взаимодействия и уменьшается с повышением температуры. Многие реальные материалы являются многокомпонентными, многофазными, полидисперсными неньютоновскими системами, вязкость которых зависит не только от температуры, но и от степени механического, электромагнитного, химического, биологического и других видов воздействия. В отдельных частных случаях (при фиксированных параметрах движения) для этих сложных материалов расчеты проводят также по формуле (2). Отношение $F / A = \theta$ называют сдвиговыми напряжениями.

1.2 Основы реометрии

Измерение кинематических и динамических параметров движения жидкостей проводится различными методами. Один из них – с помощью ротационных вискозиметров, отличающихся геометрией измерительных зазоров, в которых находится исследуемый материал. Наиболее часто встречаются вискозиметры типа цилиндр-цилиндр (измерительный зазор образован двумя коаксиальными цилиндрами большого и малого диаметра), конус-конус (измерительный зазор образован двумя коаксиальными конусами) и конус-плоскость. Для измерительного зазора первого типа модуль градиента скорости определяется так:

$$D = 2 w R_n^2 / (R_n^2 - R_v^2), \quad (4)$$

5

где R_n и R_v - наружный и внутренний радиус кольцевого зазора, м;
 w - угловая скорость вращения наружного цилиндра, c^{-1} .

2 Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка изготовлена на базе стандартного ротационного вискозиметра ВСН с термостатированием исследуемой жидкости. Принцип действия вискозиметра основан на измерении сдвиговых напряжений в испытуемом материале, который находится в узком кольцевом зазоре между вращающейся наружной цилиндрической гильзой диаметром 44 мм и внутренним цилиндром (диаметр 39 мм), связанным с чувствительным элементом в виде пружины кручения (измерительная система).

Прибор состоит из корпуса 1 (рисунок 3), привода 4, стакана 2 для исследуемой жидкости, измерительной системы 5. Угловая скорость вращения гильзы 3 при различных положениях переключателя оборотов составляет 21, 31, 42 и 63 с⁻¹ или соответственно 200, 300, 400 и 600 об/мин.

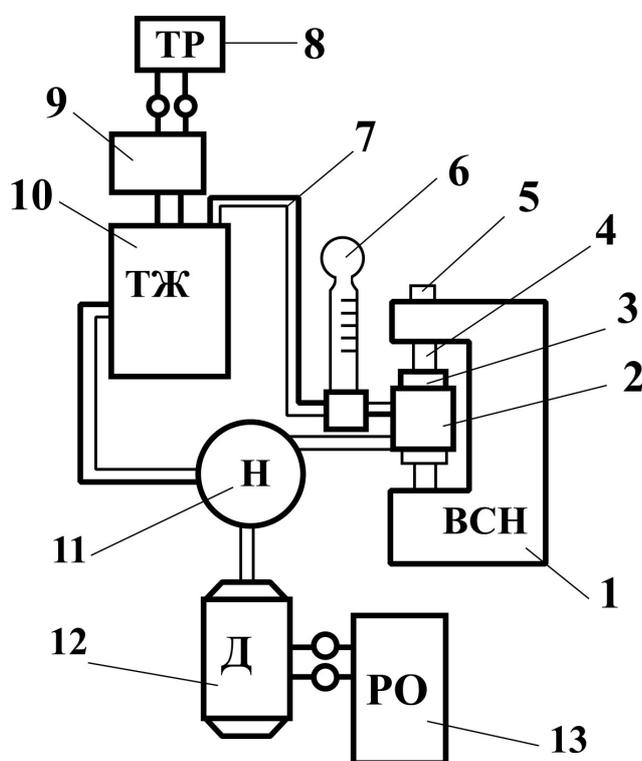


Рисунок 3. Схема экспериментальной установки:

1 - вискозиметр; 2 - стакан; 3 - гильза; 4 - привод; 5 – измерительная система; 6-термометр; 7- трубопровод; 8 - терморегулятор; 9 - нагреватель; 10 - емкость с термостатирующей жидкостью; 11 - насос; 12 - электродвигатель; 13 - регулятор оборотов двигателя.

В качестве термостатирующей жидкости используют трансформаторное масло. Температура ее поддерживается с отклонением не более 0,5°С с помощью нагревателя 9 терморегулятором 8.

Повышение и понижение температуры исследуемого материала осуществляется ускоренной или замедленной подачей трансформаторного масла насосом. Угол поворота измерительного цилиндра определяется по шкале с точностью до $0,5^\circ$. Отклонение скорости вращения гильзы вискозиметра от номинальной $\pm 2\%$.

3 Тарировка вискозиметра

Перед измерениями проводится тарировка вискозиметра по ньютоновской калибровочной жидкости. Калибровка заключается в определении тарировочного коэффициента:

$$k = \mu_v n / \gamma, \quad (5)$$

где k – тарировочный коэффициент, (Па·с·об/град·мин);

μ_v – коэффициент вязкого трения (вязкость) дистиллированной воды (калибровочная жидкость), Па·с ;

n - частота вращения гильзы вискозиметра, об/мин;

γ - угол закручивания пружины вискозиметра, град.

Вязкость дистиллированной воды при 15 градусах Цельсия, определена по справочнику: $\mu_v = 1,1404$, мПа·с.

Во время испытаний воды при различных скоростях вращения гильзы снимаются устойчивые показания угла закручивания γ пружины вискозиметра, которые заносятся в таблицу 1. Устойчивыми считаются углы, которые не меняются при вращении гильзы в течении 3 минут.

Кроме дистиллированной воды в качестве калибровочных могут быть использованы и другие жидкости, например, касторовое масло.

Таблица 1

Углы закручивания пружины

n , об/мин	200	300	400	600
γ , град.				

В таблице 2 приводятся коэффициенты k , вычисленные по формуле (5) для различных угловых скоростей вращения ω гильзы, и средний тарировочный коэффициент K .

Таблица 2

Тарировочные коэффициенты

n, об/мин	200	300	400	600
k, Па·с·об/град·мин				
K, Па·с·об/град·мин				

4 Порядок подготовки и проведения эксперимента

В измерительный стакан вискозиметра помещают 20 мл исследуемой жидкости, включают электродвигатель с насосом для подачи термостатирующей жидкости в термостатную рубашку стакана вискозиметра.

Температуру в каждый момент времени контролируют с помощью термометра. Для получения наиболее достоверных данных о температуре жидкости термометр установлен в трубопроводе на выходе термостатирующей жидкости из термостатной рубашки стакана.

При установившейся температуре (например, 15°C) включается вискозиметр. При скоростях вращения гильзы 200, 300, 400, 600 об/мин снимаются показания угла поворота γ внутреннего измерительного цилиндра по шкале, установленной на приборе. Значения углов γ записывают в первую строку таблицы 3.

Таблица 3

Углы закручивания пружины вискозиметра

		γ , гр			
n, об/мин		200	300	400	600
t°C					
15					
20					
25					
...					
...					

После этого вискозиметр отключается. Включается нагреватель термостатирующей жидкости. При следующем температурном режиме (например, 20°C) показания угла закручивания пружины вискозиметра записываются для тех же оборотов.

Повышение температуры термостатирующей жидкости осуществляется терморегулятором и насосом, а измерения проводятся через каждые 5°С в заданном интервале температур, например, 15, 20, 25, ... 50°С. Показания угла записываются в таблицу 3.

Вычислить коэффициент вязкого трения исследуемой жидкости по формуле:

$$\mu = K\gamma/n. \quad (6)$$

Результаты вычислений записать в таблицу 4.

Таблица 4

Коэффициент вязкого трения жидкости при различных температурах

		μ , мПа·с			
n , об/мин	$t^{\circ}C$	200	300	400	600
15					
20					
25					
...					
...					

Подготовить координатные сетки для построения графиков, выбрав необходимый масштаб осей (см. приложение). По точкам, отмечаемым на координатной сетке, построить графики $\mu=f(t^{\circ})$.

Измерить высоту h внутреннего цилиндра вискозиметра и вычислить его площадь по формуле (3). Используя формулы (2), (4) и (6), а также значения μ из таблицы 4, вычислить D и F . Результаты вычислений записать в таблицу 5. Построить графики зависимости $F=f(t^{\circ})$, $F=f(D)$.

Таблица 5

Сила вязкого трения при различных температурах

		F , Н			
D , с ⁻¹	$t^{\circ}C$				
15					
20					
25					
...					
...					

5 Протокол испытаний

1. Цель лабораторной работы - получение навыков экспериментальных исследований при определении силы вязкого трения различных материалов.

2. Характеристика исследуемого материала.

2.1. Дать описание органолептических свойств исследуемой жидкости. Указать известные физико-химические свойства: плотность, кислотность и другие.

2.2. Указать процентный состав компонентов раствора.

3. Тарировка вискозиметра ВСН.

3.1. Налить в измерительный стакан 20 мл калибровочной жидкости (дистиллированная вода).

3.2. Включить электродвигатель насоса, установить начальную температуру термостатирующей жидкости терморегулятором.

3.3. Поочередно включая вискозиметр при скоростях 200, 300, 400 и 600 об/мин, снять показания угла поворота внутреннего измерительного цилиндра. Результаты измерений записать в таблицу 1.

3.4. Вычислить коэффициенты k по формуле 5. Определить тарировочный коэффициент K . Результаты вычислений записать в таблицу 2.

4. Проведение эксперимента.

4.1. Налить в измерительный стакан 20 мл исследуемой жидкости.

4.2. Включить электродвигатель с насосом, установить начальную температуру жидкости терморегулятором.

4.3. Включить вискозиметр при скоростях 200, 300, 400 и 600 об/мин.

4.4. Определить показания угла закручивания γ при различных температурах и записать их значения в таблицу 3.

4.5. Выключить установку и вымыть измерительный цилиндр, стакан и гильзу вискозиметра.

5. Обработка экспериментальных данных.

5.1. Вычислить вязкость исследуемого материала по формуле (6). Результаты вычислений записать в таблицу 4.

5.2. Подготовить координатные сетки для построения графиков, выбрав необходимые масштабы осей (см. приложение).

5.3. Построить графики $\mu=f(t^\circ)$ для различных значений t° .

5.4. Измерить высоту h внутреннего цилиндра вискозиметра и вычислить его площадь по формуле (3).

5.5. Вычислить силу вязкого трения и градиент скорости по формулам (2) и (4). Результаты вычислений записать в таблицу 5.

5.6. Построить графики $F=f(t^\circ)$, $F=f(D)$.

6. Анализ результатов эксперимента.

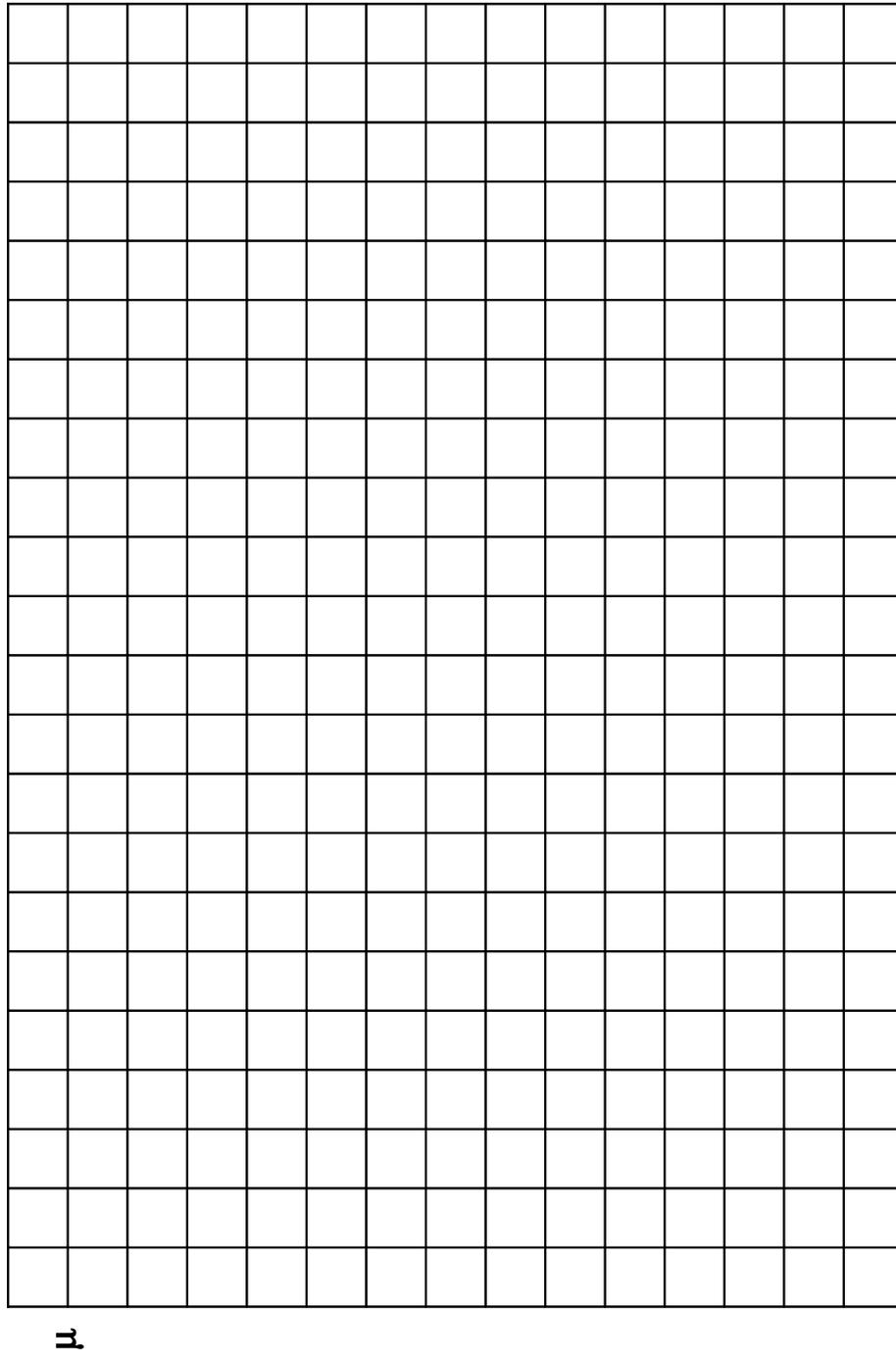
В этом разделе определяется состояние исследуемой жидкости, ее качество. Находятся зависимости вязкости, силы вязкого трения, градиента скорости, например, от концентрации (ϕ) растворенных веществ, загрязнений. Строятся графики $\mu=f(\phi)$, $F=f(\phi)$, $D=f(\phi)$. Определяются другие зависимости по указаниям преподавателя, например, $\mu=f(D)$ и $\theta=f(D)$, по которым выполняются графики, называемые реологическими кривыми. По ним, если это необходимо, могут определяться пластические свойства исследуемой жидкости.

6 Вопросы для самоконтроля

1. Дать определение силы вязкого трения Ньютона.
2. Какова единица измерения коэффициента внутреннего трения жидкости?
3. Дать определение напряжения сдвига.
4. Дать классификацию и рассказать о принципе действия известных Вам вискозиметров.
5. Какие материалы называют ньютоновской и неньютоновской жидкостью?
6. Написать уравнение Ньютона для вязкой жидкости, а также формулу градиента скорости для вискозиметра типа цилиндр-цилиндр.
7. Какие жидкости называют калибровочными?
8. Какова сущность метода тарировки вискозиметра по калибровочной жидкости?
9. Описать экспериментальную установку для измерения вязкости жидкостей.
10. Рассказать об устройстве вискозиметра ВСН.
11. Рассказать об устройстве терморегулятора.
12. Каков порядок подготовки и проведения эксперимента по измерению вязкости жидкости?

Приложение

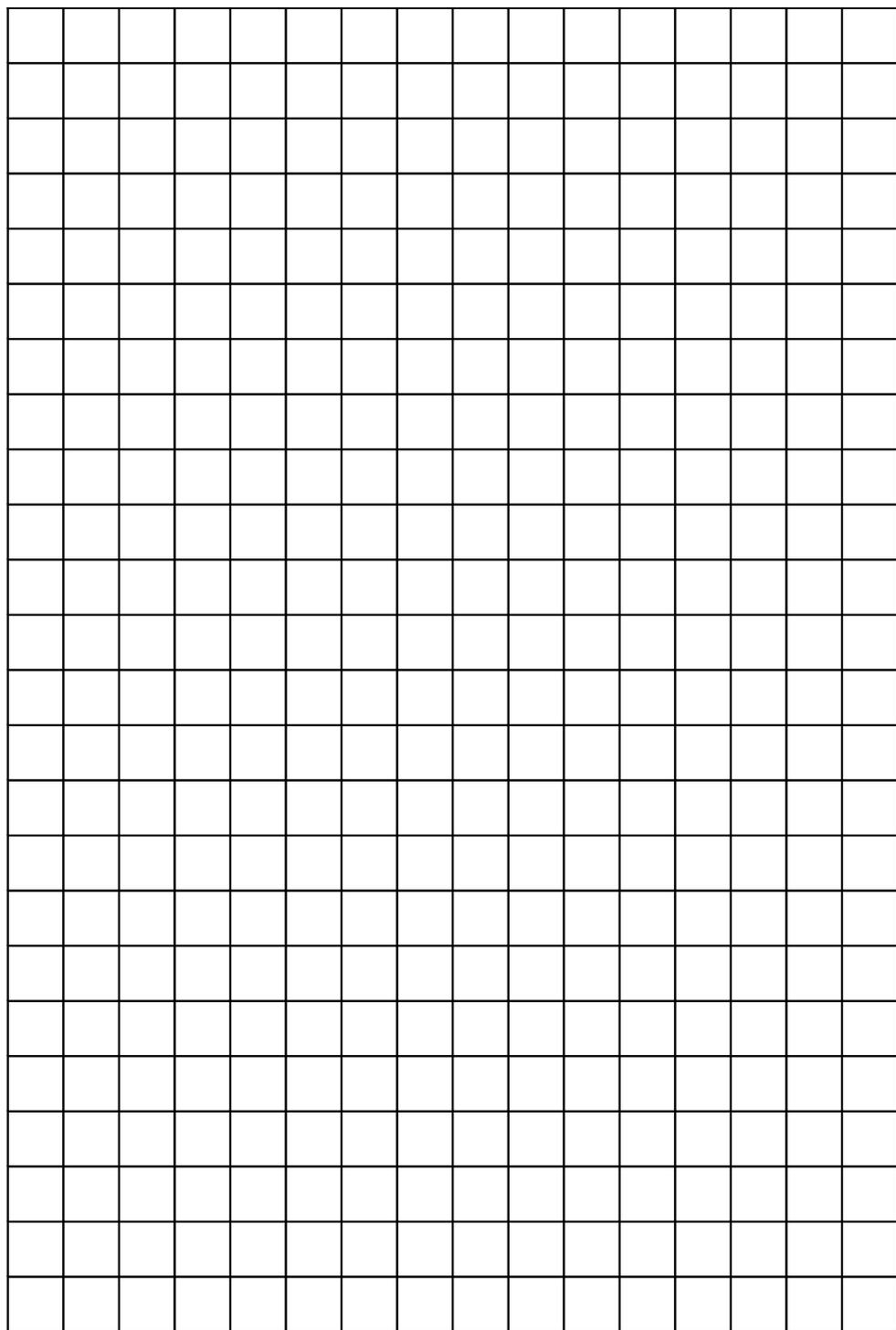
Графики зависимости $\mu = f(t^0)$



μ

t^0

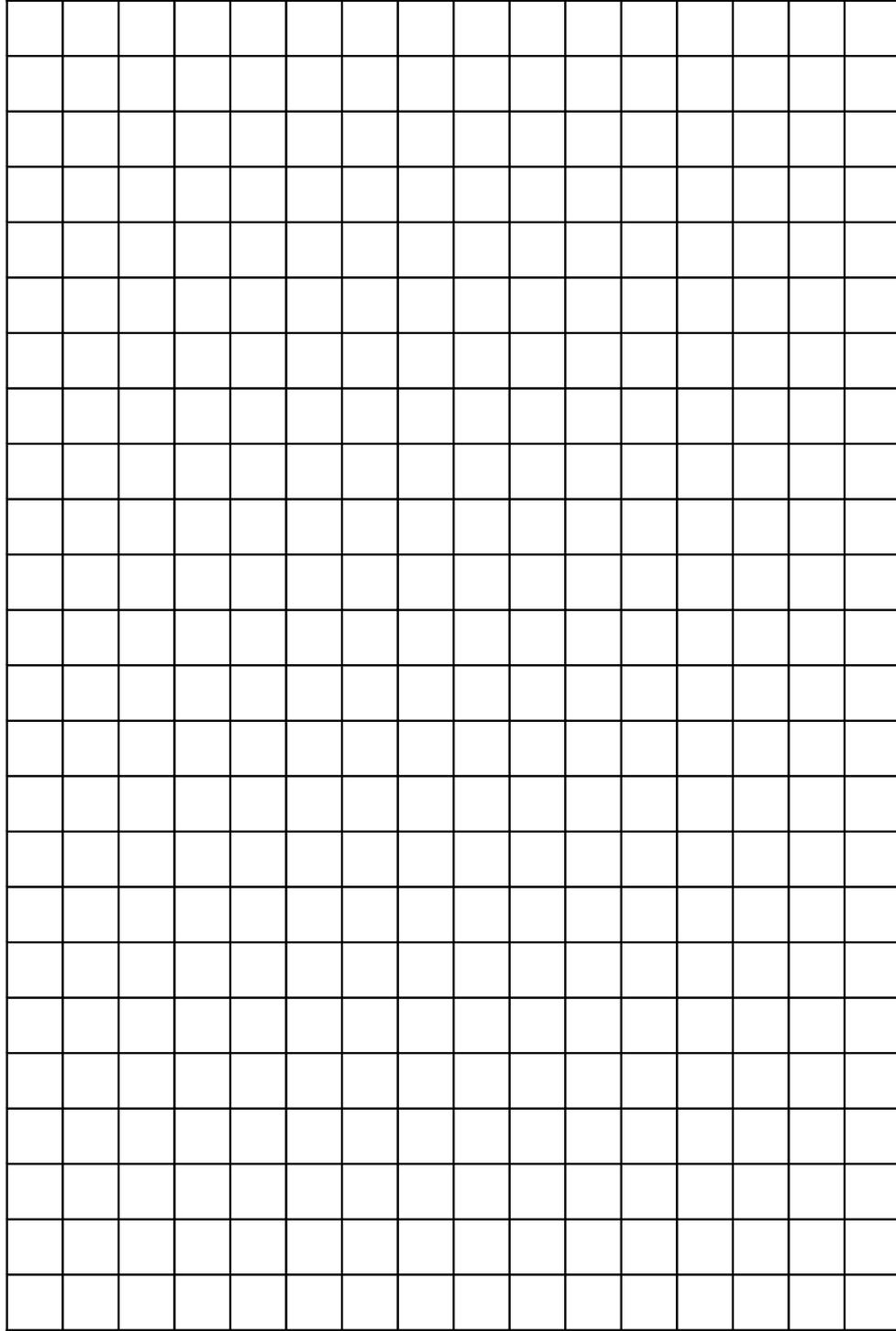
Графики зависимости $F = f(D)$



F

D

Графики зависимости $F = f(t^0)$



F

t^0

Список использованной литературы

1. Кушнарченко В.М., Ефанов А.М., Ковалевский В.П. Прикладная механика: Учебное пособие для студентов ВУЗов. – Оренбург: ОГУ, 2000. – 234с.
2. Добронравов В.В., Никитин И.Н. Курс теоретической механики. –М: Высшая школа, 1983. –576 с.
3. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем. –Л: Изд-во Ленинградского университета, 1981. –172 с.
4. Белкин И.М. и др. Ротационные приборы. –М: Машиностроение, 1967. –272 с.
5. Рейнер М. Реология. М: Наука, 1965. –815 с.
6. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. М: Мир, 1964.-118 с.
7. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. –М: Знание, 1958. –201с.

РЕЦЕНЗИЯ

на методические указания к лабораторной работе

«Закон вязкого трения Ньютона»

Составитель: Назаров В.В.

Методические указания включают теоретический материал, описание устройства и тарировку экспериментальной установки для проведения лабораторной работы по дисциплине «Прикладная механика» с использованием ротационного вискозиметра ВСН. Основы реометрии дают представление о механике движения жидкости и смазки в рабочих органах машин, между трущимися поверхностями деталей. Практические навыки знакомят студентов с методикой и техникой экспериментальных исследований.

Предлагаемые методические указания позволяют студентам более полно изучить теорию вязкого трения Ньютона и дополняют лекционный материал. Предназначены для студентов технических и технологических специальностей. Рекомендуются для внедрения в учебный процесс и к внутривузовскому изданию.

Доцент кафедры

ДМ и ПМ, к.т.н.

Р.Н. Узяков

МОТИВИРОВАННОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ
кафедры ДМ и ПМ
на методические указания к лабораторной работе
«Закон вязкого трения Ньютона»
Составитель: Назаров В.В.

Методические указания содержат 16 страниц, 5 таблиц, 3 рисунка, приложение. Планируемый тираж - 200 экземпляров, год выпуска – 2008.

Предназначены для освоения студентами технических и технологических специальностей вузовской дисциплины «Прикладная механика».

Задача методических указаний – получение навыков экспериментальных исследований, знакомство с их методикой и техникой. Основы реометрии дают представление о механике движения жидкости в рабочих органах машин, используемых для переработки пищевых материалов.

Методические указания дополняют лекционный материал теорией вязкого трения Ньютона по разделам: «Смазочные материалы», «Трение и смазка», «Опоры жидкого трения», «Критерии работоспособности и расчета подшипников» и другие.

В работе приводятся контрольные вопросы для проверки знаний студентов и список литературы (7 наименований).

Методические указания могут быть использованы при выполнении учебно-исследовательских работ (УИРС).

Лабораторная работа рекомендуется к внедрению в учебный процесс на потоках «Технология машиностроения», «Автомобили и автомобильное хозяйство», «ТЭРА», «УК», а методические указания к изданию внутривузовским способом.

Заведующий кафедрой ДМ и ПМ,
доктор технических наук, профессор

В.М. Кушнарченко

МОТИВИРОВАННОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

на методические указания к лабораторной работе

«Закон вязкого трения Ньютона»

Составитель: Назаров В.В.

Предлагаемая работа восполняет пробел в методическом обеспечении очной формы обучения студентов технических и технологических специальностей.

В теоретическом плане она дополняет лекционный материал постановкой проблем рационального использования ГСМ, охлаждающих, тормозных и других технических жидкостей, управления качеством этих материалов различными технологическими средствами с целью улучшения их рабочих характеристик.

Практическая ценность заключается в экспериментальной проверке закона течения вязких материалов в узких рабочих зазорах, например, регенерационных установок, центробежных сепараторов и центрифуг, в парах трения методом моделирования различных режимов течения на вискозиметре.

Методические указания написаны на современном научном и методическом уровне доступным для понимания студентов языком.

Рекомендуются к изданию внутривузовским способом.

Председатель методической комиссии
по специальности 220501 – Управление
качеством, заведующий кафедрой МСиС,
к.т.н., доцент

С.В. Бойко