

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Гидропневмоавтоматика»

Ю. А. Андреев, Д. В. Лаевский

**РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ,
СМАЗКИ И УПЛОТНЕНИЯ
ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ**

ПРАКТИКУМ

**по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-36 01 07
«Гидропневмосистемы мобильных
и технологических машин»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2015

УДК 532+62-63+621.892+62-82(075.8)
ББК 34.447.3-035.9я73
А65

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 26.06.2014 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. ГГТУ им. П. О. Сухого *Г. В. Петришин*

- Андреев, Ю. А.**
А65 Рабочие жидкости, смазки и уплотнения гидропневмосистем : практикум по выполнению лаборатор. работ для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» днев. и заоч. форм обучения / Ю. А. Андреев, Д. В. Лаевский. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 107 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Приведены общие сведения, необходимые для выполнения лабораторных работ, описания экспериментальных установок, методики проведения экспериментов и обработки опытных данных.

Для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной и заочной форм обучения.

УДК 532+62-63+621.892+62-82(075.8)
ББК 34.447.3-035.9я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2015

Введение

Теоретически для гидроустановок в качестве рабочей жидкости может применяться любая капельная жидкость, поскольку все они удовлетворяют требованиям закона Паскаля.

Идеальной рабочей жидкости не существует. Тщательный выбор её является предварительным условием для безукоризненной эксплуатации установки.

Сначала применялась вода. Однако, чистая вода не предотвращает износ и в сочетании с кислородом может вызывать сильную коррозию, что не соответствует требованиям для современных гидравлических устройств.

В качестве рабочей жидкости в современных гидросистемах общемашиностроительного назначения используют минеральное масло, свойства которого улучшаются и корректируются помощью присадок.

Для специалиста в области гидропневмоавтоматики большее значение имеет способность произвести правильный выбор марки топлива и смазочных материалов для различных типов машин, технически обоснованно выбрать полноценный заменитель, а также обеспечить организацию контроля на соответствие показателей качества продукта нормам и стандартам.

Для успешного решения инженер должен уметь ориентироваться в оценке эксплуатационных качеств топлив и смазочных материалов, уметь при необходимости произвести простейшие лабораторные анализы, дать соответствующие указания и проконтролировать работу сотрудников лаборатории.

Учитывая большое значение практической подготовки молодого специалиста в области топлив и смазочных материалов, в настоящих методических указаниях даны описания тех определений качества нефтепродуктов, которые могут встретиться в его будущей практической деятельности.

Общие указания по выполнению и оформлению лабораторных работ

Общие положения

Данный практикум написан для студентов, обучающихся по специальности 1-36 0107 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин», в соответствии с программой курса «Рабочие жидкости, смазки и уплотнения» и образовательным стандартом высшего образования ОСВО 1-36 01 07.

Лабораторные работы выполняются в объеме 17 часов, проводятся параллельно с чтением лекций и имеют целью:

- 1) Закрепление лекционного материала.
- 2) Знакомство с методикой, оборудованием и приборами для определения основных параметров рабочих жидкостей.
- 3) Приобретение практических навыков в обращении с приборами и установками, применяемыми для лабораторных исследований рабочих жидкостей, применяемых в гидросистемах.
- 4) Практическое знакомство с ассортиментом рабочих жидкостей.

Требования к выполнению лабораторных работ

Лабораторные работы выполняются отдельными группами студентов на рабочих местах, снабженных приборами, образцами испытуемых материалов и методическими указаниями по проведению испытаний. Лабораторные работы должны быть результатом самостоятельной и творческой работы студента или группы студентов. Все режимы работы экспериментальных установок задаются, а требуемые замеры выполняются студентом.

Техническое оформление лабораторных работ должно соответствовать ЕСКД. Отчет по лабораторной работе должен быть написан на одной стороне листов формата А4 и отличаться краткостью и ясностью изложения, без сокращения фраз и ненужных пояснений.

В начале отчета должен быть титульный лист установленного образца. По согласованию с преподавателем допускается оформление отчетов в ученических тетрадях.

Приведенные в начале каждой лабораторной работы теоретические положения необходимо изучить перед выполнением экспериментов. После защиты лабораторных работ отчет хранится на кафедре.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) цель работы;
- 2) основные теоретические сведения;
- 3) схему и краткое описание конструкции экспериментальной лабораторной установки;
- 4) расчетные формулы по обработке результатов замеров;
- 5) таблицу замеров и результатов расчетов, а также необходимые графики и диаграммы;
- 6) вывод.

Указания по технике безопасности

Инструктаж по технике безопасности, при работе в лаборатории рабочих жидкостей, смазок и уплотнений проводится на первом лабораторном занятии.

В лаборатории приходится иметь дело с горючими и вредными для здоровья веществами, жидкостями, хрупкой стеклянной посудой и электронагревательными приборами.

Во избежание несчастных случаев – пожаров, ожогов, поражений электрическим током, отравлений и порезов во время нахождения в лаборатории необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и противопожарные меры.

Правила личной безопасности направлены на предотвращение несчастных случаев и предусматривают выполнение следующих основных мероприятий:

1) К лабораторным занятиям допускаются студенты, получившие инструктаж по технике безопасности у руководителя лабораторными занятиями с соответствующим оформлением его в журнале. Студенты, не прошедшие инструктаж, к работе в лаборатории не допускаются.

2) Студентам запрещается входить в помещение лаборатории, самостоятельно включать установки, находиться в лаборатории без присутствия преподавателя или лаборанта. Работы должны выполняться либо обслуживающим персоналом лаборатории, либо студентом, но под наблюдением руководителя практических занятий.

3) Все работы, сопровождаются интенсивным выделением паров нефтепродуктов, должны выполняться только в хорошо проветриваемых помещениях.

4) В процессе проведения опыта студент, допущенный к выполнению работы, должен находиться на своем рабочем месте, указанном

преподавателем или лаборантом. Студенты, не знающие устройства опытной установки и порядка выполнения работы, к выполнению лабораторного опыта не допускаются.

5) Окончив работу на установке, студент должен поставить в известность об этом руководителя или лаборанта.

При работе необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, в частности запрещается:

- 1) переливать нефтепродукты вблизи открытого огня;
- 2) оставлять без присмотра нагревательные приборы;
- 3) выливать нефтепродукты в раковины;
- 4) бросать в лаборатории обтирочные материалы, пропитанные нефтепродуктами;

Студент должен знать местонахождения огнетушителей.

Рекомендуемая литература

К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, которые могут дать правильные ответы на контрольные вопросы данной работы. Для подготовки к лабораторным занятиям рекомендуется использовать следующие учебники и учебные пособия:

1. Никитин О.Ф. Рабочие жидкости гидроприводов (классификация, свойства, рекомендации по выбору и применению): Учеб. пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 152 с.: ил.
2. Кондаков Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем. М.: Машиностроение, 1982. 216 с.
3. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник / И.Г. Анисимов, К. М. Бадыштова, С. А. Бнатовидр., Под ред. В.М. Школьников. Изд. 2-е перераб. доп. - М.: Издательский центр «Техинформ», 1999 - 596 с.
4. Бажан П.И. и др. Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селиверстов. - М.: Машиностроение, 1989, - 368 с.: ил.
5. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / Л. А. Кондаков, А. И. Голубев, В. В. Гордеев и др.; Под общ. ред. А. И. Голубева. Л. А. Кондакова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1994. - 448 с.: ил.
6. Скаскевич, А.А. Основы герметологии: тексты лекций / А.А. Скаскевич, В.А. Струк. - Гродно: ГрГУ, 2010. - 140 с.

Лабораторная работа № 1

Определение кинематической вязкости рабочей жидкости

Цель работы: определить коэффициент кинематической вязкости жидкости и сравнить их со справочными величинами, ознакомиться с устройством для определения коэффициента кинематической вязкости жидкости.

1.1. Общие сведения

К основным физическим свойствам жидкостей следует отнести те её свойства, которые определяют особенности поведения жидкости при её движении. Такими являются свойства, характеризующие концентрацию жидкости в пространстве, свойства, определяющие процессы деформации жидкости, определяющие величину внутреннего трения в жидкости при её движении, поверхностные эффекты.

При движении реальной жидкости или газа они расходуют часть своей механической энергии на работу против сил внутреннего трения. Эти потери механической энергии носят название диссипации (потери) энергии и представляют собой необратимый переход кинетической энергии потока в тепловую энергию молекулярного движения.

Вязкость представляет собой свойство жидкости сопротивляться сдвигу её слоёв и проявляется в результате её движения. Вязкость есть свойство противоположное текучести: более вязкие жидкости (глицерин, смазочные масла и т.д.) являются менее текучими, и наоборот.

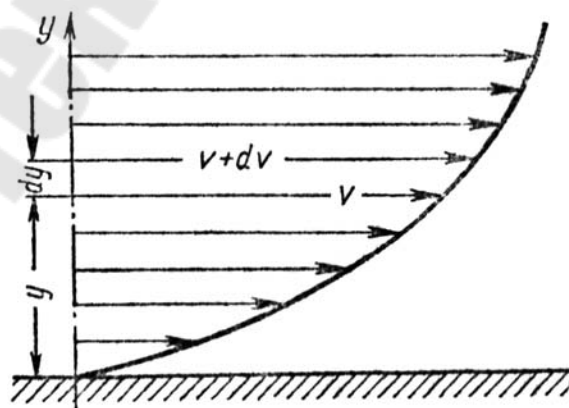


Рис. 1.1. Действие сил внутреннего трения

При течении вязкой жидкости вдоль твёрдой стенки происходит торможение потока, обусловленное вязкостью (рис. 1.1). Скорость v уменьшается по мере уменьшения расстояния y от стенки вплоть до $v=0$ при $y=0$, а между слоями происходит проскальзывание, сопровождающееся возникновением касательных напряжений, так называемых напряжений трения.

Напряжения, возникающие при деформации сдвига пропорциональны градиенту скорости в движущихся слоях жидкости. Таким образом, закон жидкого трения Ньютона имеет вид:

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy},$$

где μ – коэффициент пропорциональности, получивший название динамической вязкости жидкости;

dv – приращение скорости, соответствующее приращению координаты dy .

Динамическая вязкость жидкости имеет размерность Пуаз:

$$1 \text{ П} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 0,0102 \text{ кгс} \cdot \text{с}/\text{м}^2.$$

Помимо динамического коэффициента вязкости используется кинематический коэффициент вязкости:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho},$$

где ρ – плотность жидкости.

Кинематическая вязкость жидкости имеет размерность Стокс:

$$1 \text{ Ст} = 1 \text{ см}^2/\text{с} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Коэффициент вязкости является физической характеристикой сплошной среды и для нормальных жидкостей и всех газов (так называемых ньютоновских сплошных сред) не зависит от кинематических характеристик движения (т.е. от распределения скоростей).

Для смазочных масел и жидкостей, применяемых в системах гидропривода, кинематический коэффициент вязкости ν_T при температуре T °С можно определить по формуле:

$$\nu_T = \nu_{50} \cdot \left[\frac{50}{T} \right]^n,$$

где ν_{50} – кинематический коэффициент вязкости жидкости при температуре 50 °С (таблица 1.1);

n – показатель степени, зависящий от ν_{50} :

$$n = \lg v_{50} + 2,7.$$

Таблица 1.1

Значения n в зависимости от кинематический коэффициент вязкости жидкости при температуре 50 °С

v_{50} , сСт	n	v_{50} , сСт	n	v_{50} , сСт	n
2,8	1,39	21,2	1,99	52,9	2,42
6,25	1,59	29,3	2,13	60,6	2,49
9,0	1,72	37,3	2,24	68,4	2,52
11,8	1,79	45,1	2,32	80,0	2,546

Вязкость жидкости измеряют при помощи вискозиметров.

Наиболее распространенным является вискозиметр Энглера, который представляет собой цилиндрический сосуд диаметром 106 мм, с короткой трубкой диаметром 2,8 мм, встроенной в дно. Время t истечения 200 см³ испытуемой жидкости из вискозиметра через эту трубку под действием силы тяжести, деленной на время $t_{\text{вод}}$ истечения того же объема дистиллированной воды при 20 °С выражает вязкость в градусах Энглера: $1^\circ\text{E} = t/t_{\text{вод}}$, где $t_{\text{вод}} = 51,6$ с. Формула для пересчёта градусов Энглера в стоксы в случае минеральных масел:

$$\nu = 0,073^\circ\text{E} - \frac{0,063}{^\circ\text{E}}.$$

1.2. Оборудование и приборы

При определении кинематической вязкости жидкостей применяется следующая аппаратура:

1) Наборы капиллярных стеклянных вискозиметров типа ВПЖ-2 (рис. 1.2).

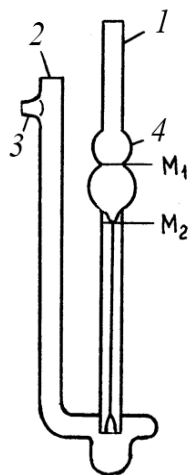


Рис. 1.2. Прибор для измерения кинематической вязкости: вискозиметр стеклянный капиллярный типа ВПЖ-2

Внутренний диаметр капилляра: 0,99 мм и 0,73 мм.

- 2) Термометры стеклянные лабораторные группы 4.
- 3) Секундомер.

1.3. Порядок проведения работы

- 1) Перед определением вязкости вискозиметр должен быть тщательно промыт растворителем (бензин–растворитель ГОСТ 443-76, бензин авиационный Б-70 ГОСТ 1012-72, ацетон, спирт этиловый ректификованный) и высушен. Рекомендуется после растворителя вискозиметр промыть дистиллированной водой и высушить пропусканьем через прибор отфильтрованного от пыли воздуха.

- 2) Перед испытанием жидкость профильтровывают через бумажный фильтр.

- 3) Вискозиметр наполняют испытуемой жидкостью и устанавливают вертикально. На конец трубки 1 (рис. 1.2) одевают резиновую трубку с грушей (или другим устройством).

- 4) Пропустить жидкость через прибор для получения смазывающего слоя на внутренней поверхности прибора, т.о. чтобы жидкость поднялась выше уровня M_1 (рис. 1.3).

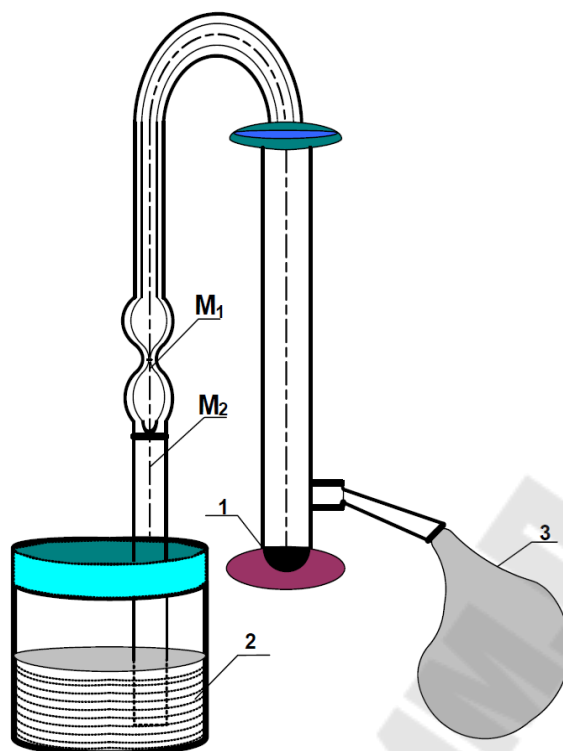


Рис. 1.3 Порядок отбора пробы вискозиметром типа ВПЖ-2: 1 - пробка; 2 – испытуемый нефтепродукт; 3 - груша

- 5) Измерить температуру окружающей среды по термометру.
- 6) Установить уровень жидкости так чтобы мениск жидкости находился выше уровня M_1 , примерно до середины расширения 4 и отсоединить грушу. Сообщить трубку 1 с атмосферой и определить время опускания мениска жидкости от метки M_1 до M_2 .
- 7) Во всех вискозиметрах производят несколько измерений времени течения жидкости (минимум три раза).

1.4. Обработка опытных данных

- 1) Вычислить среднее арифметическое значение времени течения жидкости в вискозиметре (с точностью до 0,1 с).
- 2) Определить коэффициент кинематической вязкости испытуемой жидкости по формуле:

$$\nu = C \cdot t \cdot K, \text{ сСт}$$

где C – коэффициент, учитывающий изменение гидростатического напора жидкости в результате расширения её при нагревании. Для вискозиметров типа ВПЖ-2 коэффициент равен $C = 1$.

t – среднее значение времени течения жидкости в вискозиметре, с.

K – постоянная вискозиметра, сСт/с (указана на приборе).

3) Коэффициент кинематической вязкости жидкости вычисляют с точностью до четвертой значащей цифры (например 1,255; 16,47; 193,1; 1735) при температуре опыта.

4) Полученные результаты заносят в таблицу 1.2 и по приложению 1 и 2 определяют вид рабочей жидкости.

Таблица 1.2.

Результаты измерений и расчетов вязкости жидкости

№ п.п	Время течения жидкости t, c				Температура $T, ^\circ C$	Кинематический коэффициент вязкости, ν, cSt	Вид рабочей жидкости
	t_1	t_2	t_3	t_{cp}			
1							
2							
3							

1.5. Контрольные вопросы

- 1) Какие свойства рабочих жидкостей относятся к основным? Что они характеризуют?
- 2) Что такое вязкость жидкости?
- 3) Какие виды вязкостей существуют?
- 4) Как вязкость связана с текучестью?
- 5) Почему вязкость называется важнейшим свойством рабочих жидкостей?
- 6) При каких условиях проявляется вязкость жидкости?
- 7) Сформулируйте закон жидкого трения Ньютона.
- 8) Как связаны между собой динамическая и кинематическая вязкость?
- 9) В каких единицах измеряется динамическая и кинематическая вязкость в системе СИ?
- 10) Какие единицы измерения вязкости наиболее часто используются в инженерных расчетах?
- 11) Как проявляется зависимость вязкости жидкости от температуры? Объясните с точки зрения молекулярной структуры жидкости.

- 12) По какой формуле можно определить вязкость масла при любой рабочей температуре?
- 13) Что такое индекс вязкости? Для чего он применяется в инженерной практике?
- 14) Какова зависимость вязкости от давления?
- 15) Какими приборами измеряется вязкость?
- 16) По какой формуле производится пересчет градусов Энглера в Стоксы для минеральных масел?

Лабораторная работа № 2

Определение плотности рабочей жидкости

Цель работы: определить плотность жидкости и сравнить их со справочными величинами, ознакомиться с устройством для определения плотности жидкости.

2.1. Общие сведения

Важнейшим физическим свойством жидкости, определяющим её концентрацию в пространстве, является плотность жидкости.

Плотностью ρ (кг/м³) называют массу жидкости, заключённую в единице объёма; для однородной жидкости определяется по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где m – масса жидкости в объёме V .

Плотность характеризует инерционные свойства сплошной среды и в общем случае $\rho = f(x, y, z, t)$.

Величины плотности реальных капельных жидкостей в стандартных условиях изменяются в системе единиц СИ в широких пределах (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Плотность некоторых жидкостей при температуре 20°C
и атмосферном давлении 0,1 МПа

Жидкость	ρ , кг/м ³	Жидкость	ρ , кг/м ³
Бензин	712 – 780	Масло минеральное	860 – 930
Спирт этиловый	789	Вода пресная	998,2
Керосин	790 – 860	Вода морская	1020 – 1030
Нефть	760 – 900	Глицерин безводный	1260
Топливо дизельное	831 – 861	Ртуть	13546

2.2. Оборудование и приборы

При определении плотности жидкостей применяется следующая аппаратура:

- 1) Набор денсиметров типа АОН (ареометры общего назначения) по ГОСТ 18481-81 с ценой деления $20 \div 0,5$ кг/м³ (рис. 2.1).

Ареометры выпускают трех типов. У ареометров первого типа цена деления шкалы равна 0,0005 г/см, у ареометров второго и третьего типов - 0,001 г/см (рис. 2.1.). У ареометров первого и второго типов имеются термометры. У ареометров третьего типа термометров нет.

- 2) Стекланные цилиндры, заполненные испытуемой жидкостью.
- 3) Термометр для определения температуры испытуемой рабочей жидкости.

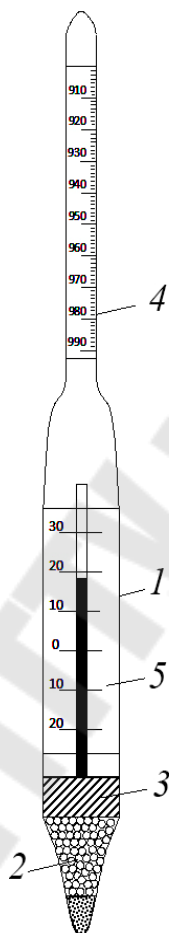


Рис. 2.1. Прибор для измерения плотности – ареометр типа АОН

2.2 Порядок проведения работы

- 1) Ознакомиться с набором денсиметров (ареометров) и определить возможный диапазон измерения плотности.
- 2) Измерить температуру рабочей жидкости.
- 3) В стеклянный цилиндр, диаметр которого больше диаметра поплавка денсиметра не менее чем в два раза, налить испытуемую жидкость.

4) Чистый и сухой денсиметр осторожно поместить в цилиндр с жидкостью, удерживая прибор за верхний конец. Испытание следует начинать с самых лёгких денсиметров. После того, как прекратятся колебания денсиметра, произвести отсчёт по его шкале по верхнему краю мениска. При этом глаз наблюдателя должен находиться на уровне мениска.

5) Вынуть денсиметр из цилиндра и удалить жидкость с его поверхности.

6) Определить плотность разных жидкостей.

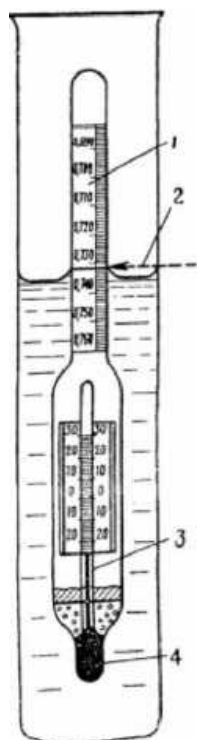


Рис. 2.2. Отсчёт плотности по шкале денсиметра:

- 1—шкала плотности;
- 2- линия отсчета;
- 3— термометр; 4— груз

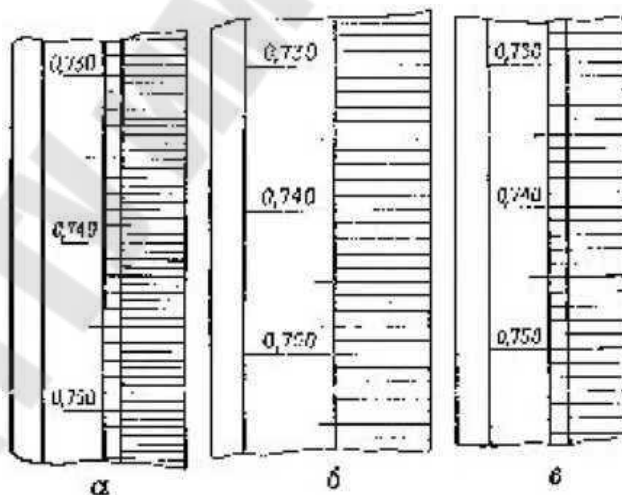


Рис. 2.3. Шкалы денсиметров:

- а - первого типа;
- б - второго типа;
- в - третьего типа

2.4. Обработка опытных данных

1) Для получения сравнительных результатов, произвести перерасчёт экспериментально полученных значений плотности по уравнению:

$$\rho_0 = \rho + \alpha_\rho \cdot \Delta T,$$

где ρ_0 – плотность рабочей жидкости при температуре 20 °С, кг/м³;

ρ – плотность при температуре испытания, кг/м³;

ΔT – разность температуры опыта и нормальной температуры в 20 °С;

α_ρ – средняя температурная поправка плотности, кг/м³·°С. Численные значения средней температурной поправки приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Значения средней температурной поправки α_ρ

Плотность ρ , кг/м ³	Поправка на 1°С α_ρ , кг/м ³ ·°С	Плотность ρ , кг/м ³	Поправка на 1°С α_ρ , кг/м ³ ·°С
700 ÷ 710	0,897	851 ÷ 860	0,699
711 ÷ 720	0,884	861 ÷ 870	0,686
721 ÷ 730	0,870	871 ÷ 880	0,672
731 ÷ 740	0,857	881 ÷ 890	0,660
741 ÷ 750	0,844	891 ÷ 900	0,647
751 ÷ 760	0,831	901 ÷ 910	0,633
761 ÷ 770	0,818	911 ÷ 920	0,620
771 ÷ 780	0,805	921 ÷ 930	0,607
781 ÷ 790	0,792	931 ÷ 940	0,594
791 ÷ 800	0,778	941 ÷ 950	0,581
801 ÷ 810	0,765	951 ÷ 960	0,567
811 ÷ 820	0,752	961 ÷ 970	0,554
821 ÷ 830	0,738	971 ÷ 980	0,541
831 ÷ 840	0,725	981 ÷ 990	0,528
840 ÷ 850	0,712	991 ÷ 1000	0,515

Полученные значения сравнить со справочными данными.

2) Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

Результаты измерений и расчётов плотности жидкости

Вид жидкости	Температура T , °С	Плотность ρ , кг/м ³	Температурная поправка плотности α_ρ , кг/м ³ ·°С	Плотность при 20 °С, ρ_0 , кг/м ³	
				расчётная	справочная

...					

2.5. Контрольные вопросы

- 1) Что такое плотность рабочей жидкости?
- 2) К какой классификационной группе относят плотность как свойство рабочей жидкости?
- 3) По какой формуле определяется плотность?
- 4) Что характеризует плотность и от чего зависит в общем случае?
- 5) В каких единицах измеряется плотность?
- 6) Чему равна плотность наиболее распространённых жидкостей?
- 7) Как выражается зависимость плотности масел от температуры и давления?
- 8) В чем проявляются аномальная зависимость плотности воды от температуры?
- 9) Что характеризует плотность?
- 10) Каковы основные методы опытного определения плотности рабочей жидкости?
- 11) Какими приборами измеряется плотность? В чем их различие? Что они собой представляют?
- 12) Что такое денсиметр и для чего он используется?
- 13) По какой формуле производится пересчет плотности на температуру, соответствующую эксперименту?

Лабораторная работа №3

Определение температуры вспышки

Цель работы: Изучение стандартного метода и прибора для определения температуры вспышки в закрытом тигле (ТВЗ) и открытом тигле (ОТВ). Получение экспериментальных данных по температуре вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле и сравнение показаний с температурой вспышки этого же нефтепродукта в открытом тигле.

3.1. Общие сведения

Температурой вспышки называется температура жидкости, при которой нефтепродукт, нагреваемый в строго определённых условиях, выделяет такое количество паров, которое образует с окружающим воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени.

Температура воспламенения всегда выше температуры вспышки.

Вспышка представляет собою взрыв в малых размерах. Известно, что смеси газов и паров с воздухом могут взрываться при поднесении к ним открытого огня. Но не все смеси взрывоопасны. Если смесь очень бедна горючим, взрыва не происходит потому, что избыточное количество воздуха поглощает теплоту, выделяющуюся в точке взрыва, поэтому теплота не распространяется по всей газовой смеси. Если смесь очень обогащена газом или парами нефтепродукта, то она также не взрывается, так как в ней недостаточно кислорода и теплота, выделившаяся в точке взрыва, поглощается углеводородами.

Отсюда и исходят при определении понятий о нижнем и верхнем пределах взрываемости (НПВ и ВПВ соответственно).

Нижним температурным пределом называется минимальная температура, при которой пары горючего образуют взрывоопасную смесь. Обычно эта температура равна температуре вспышки.

Верхним температурным пределом называется максимальная температура горючего, при которой смесь паров горючего с воздухом ещё сохраняет взрывные свойства. При дальнейшем повышении температуры смесь переобогащается парами горючего настолько, что становится негорючей.

Температура вспышки важна для определения состава и качества нефтепродукта. По температуре вспышки довольно легко определить

примесь легко испаряющихся углеводородов в продукте, а в случае нефти – судить о наличии или отсутствии в них лёгких фракций.

Температура вспышки характеризует взрывопожароопасные свойства рабочих жидкостей. В зависимости от сезонности, требования по температуре вспышки иногда могут изменяться. Так, например, летнее дизельное топливо имеет температуру вспышки не ниже 62°C, а зимнее – около 35°C.

Температура вспышки находится в зависимости от других термических характеристик нефтепродукта, как, например, температуры кипения, давления паров и испаряемости.

Однако для нефтепродуктов, представляющих собой в основном сложные углеводородные смеси, которые не имеют определённой температуры кипения, нельзя установить точную связь между температурой вспышки и температурой кипения или давлением паров. На практике эта связь выражается в том, что с повышением температуры кипения повышается температура вспышки и температура воспламенения.

Для индивидуальных углеводородов существует зависимость температуры вспышки от температуры кипения:

$$T_{\text{всп}} = K \cdot T_{\text{кип}} \quad (3.1)$$

где $T_{\text{всп}}$ – температура вспышки °K;

K – коэффициент, равный 0,736;

$T_{\text{кип}}$ – температура кипения, °K.

Температура вспышки смеси всегда оказывается ниже, чем вычисляемая из температур вспышки компонентов по правилу среднего арифметического. Установлено, что расхождение тем больше, чем значительнее различаются между собой температуры вспышки смешиваемых компонентов.

Точных формул и графиков для вычисления температуры вспышки смеси нет. Приблизительно температуру вспышки двухкомпонентной смеси $T_{\text{см}}$ можно определить по формуле Кадмера:

$$T_{\text{см}} = \frac{A \cdot T_a + B \cdot T_b - f \cdot (T_a - T_b)}{100}, \text{ } ^\circ\text{K} \quad (3.2)$$

где A и B – процентное содержание компонентов в смеси, причём A – имеет более высокую температуру вспышки;

T_a и T_b – температуры вспышки компонентов, °K;

f – коэффициент, определяемый из таблицы 3.1.

Наиболее точные сведения по температуре вспышки можно получить только экспериментально, при этом необходимо иметь в виду,

что величина температур вспышки и воспламенения нефтепродуктов в значительной степени зависит от конструкции аппарата, с помощью которого проводится их определение, а также от методики работы на этом аппарате.

Таблица 3.1

Значения коэффициента f от соотношения компонентов в смеси

A	B	f	A	B	f	A	B	f
0	100	0	35	65	19,4	70	30	30,3
5	95	3,3	40	60	21,7	75	25	30,4
10	90	6,5	45	55	23,9	80	20	29,2
15	85	9,2	50	50	25,9	85	15	26,0
20	80	11,9	55	45	27,6	90	10	20,0
25	75	14,5	60	40	29,0	95	5	12,0
30	70	17,0	65	35	30,0	100	0	0,0

Из внешних факторов, не связанных с конструкцией аппарата, некоторое влияние на температуру вспышки оказывает атмосферное давление: при его повышении температура вспышки увеличивается, при понижении – снижается.

Значения температуры вспышки без указания метода её определения лишены смысла.

Для определения температуры вспышки существуют приборы двух типов: закрытого и открытого.

Величина температуры вспышки одного и того же нефтепродукта в приборе открытого типа всегда несколько выше, чем в приборе закрытого типа. Это объясняется тем, что в последнем случае давление паров, необходимое для воспламенения достигается раньше, чем в приборе открытого типа, в которых часть паров свободно диффундирует в воздух и рассеивается.

Эта разница в температуре вспышек для маловязких нефтепродуктов составляет 3-8°C, для высоковязких может достигать 50°C.

Температуру воспламенения можно определить лишь в приборах открытого типа, в которых имеется достаточный доступ воздуха к поверхности нефтепродукта.

Сопоставление температур вспышек одного и того же продукта как в открытых, так и в закрытых приборах может служить контролем производства данного нефтепродукта.

Так, наличие продуктов разложения при перегонке масляных дистиллятов вызывает помимо прочих изменений качества продукта

резкую разницу между температурами в закрытом и открытом приборах.

3.2. Оборудование и приборы

3.2.1. Определение температуры вспышки в аппарате закрытого типа

Для определения температуры вспышки в закрытом тигле (ТВЗ) применяется прибор по ГОСТ 1421-53. Аппарат предназначен для определения температуры вспышки нефтепродукта в закрытом тигле по методу ГОСТ 6356-75 и методу международного стандарта ИСО 2719-73 (А).

Общее устройство прибора изображено на рисунках 3.1 и 3.2.



Рис. 3.1. Внешний вид аппарата для определения температуры вспышки в закрытом тигле (ТВЗ)

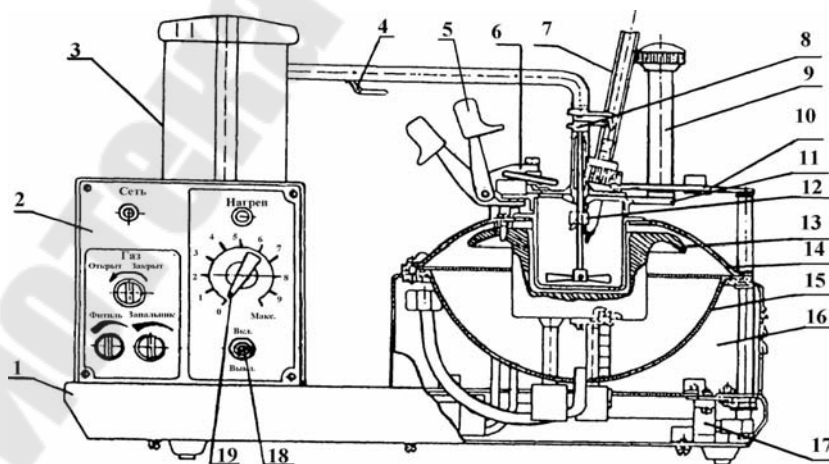


Рис. 3.2. Устройство аппарата для определения температуры вспышки в закрытом тигле (ТВЗ): 1 – основание; 2 – блок управления; 3 – рукоятка; 4 – крючок; 5 – прижим; 6 – устройство зажигательное; 7 – термометр; 8 – мешалка; 9 – ручка; 10 – поводок; 11 –

крышка; 12 – мешалка; 13 – баня воздушная; 14 – отражатель верхний; 15 – отражатель нижний; 16 – термоблок; 17 – колодка с герконом; 18 – тумблер; 19 – ручка регулировки

Прибор состоит из четырёх основных частей, а именно:

- металлического тигля с фланцем с наружной стороны и с кольцевой меткой на внутренней, до которой наливается испытуемый продукт (рис.3.3);
- , имеющей тубус для термометра 4, мешалку 12, зажигательное устройство 6, которое при повороте ручки 9 наклоняется к отверстию в крышке в паровое пространство цилиндра;
- стальной воздушной бани 13 с воздушными отражателями 14 и 15, составляющих с прибором одно целое;
- блока управления, предназначенного для управления горением газа в запальнике регулирования скорости нагрева испытуемого нефтепродукта, а также для управления мешалкой, посредством рукоятки 3.

Аппарат снабжён двумя термометрами с градуировкой 0-170°С и 0- 360°С.

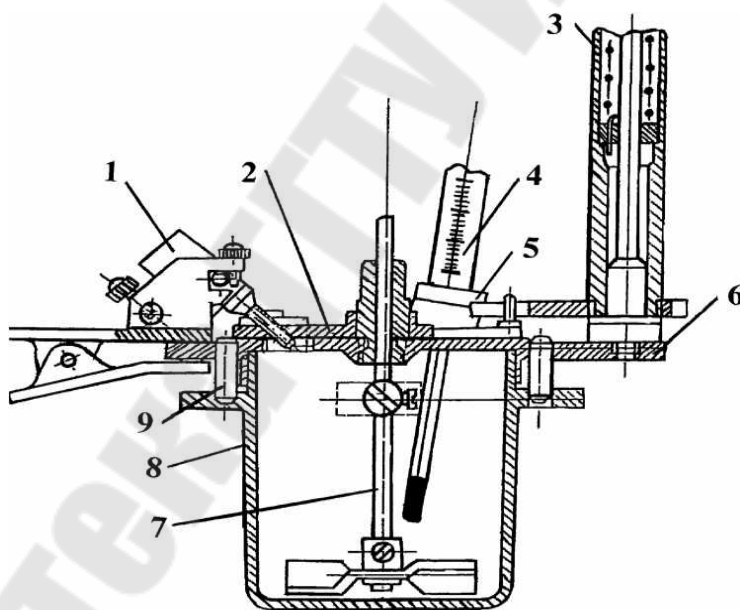


Рис. 3.3. Тигель с крышкой аппарата ТВЗ: 1– зажигательное фитильное устройство; 2 – заслонка; 3 – пружинный механизм; 4 – термометр; 5 – втулка термометра переходная; 6 – крышка; 7 – мешалка; 8 – тигель; 9 – штифт-фиксатор

3.2.2. Определение температуры вспышки в аппарате открытого типа

Для определения температуры вспышки и воспламенения в открытом тигле (ТВО) по методу Бренкена используется лабораторный аппарат ТВО АИФ 2.821.014. Аппарат предназначен для определения температур вспышки и воспламенения по методу ГОСТ 4333-87 и Международного стандарта ИСО-2592-73.

Сущность метода заключается в определении температуры вспышки нагретого нефтепродукта в тигле при доступе воздуха.

Внешний вид и устройство прибора приведено на рис. 3.4 и 3.5.

Аппарат состоит из двух блоков: блока управления, расположенного в левой части прибора и блока нагрева испытуемого образца в правой части.



Рис. 3.4. Внешний вид аппарата для определения температуры вспышки и воспламенения в открытом тигле

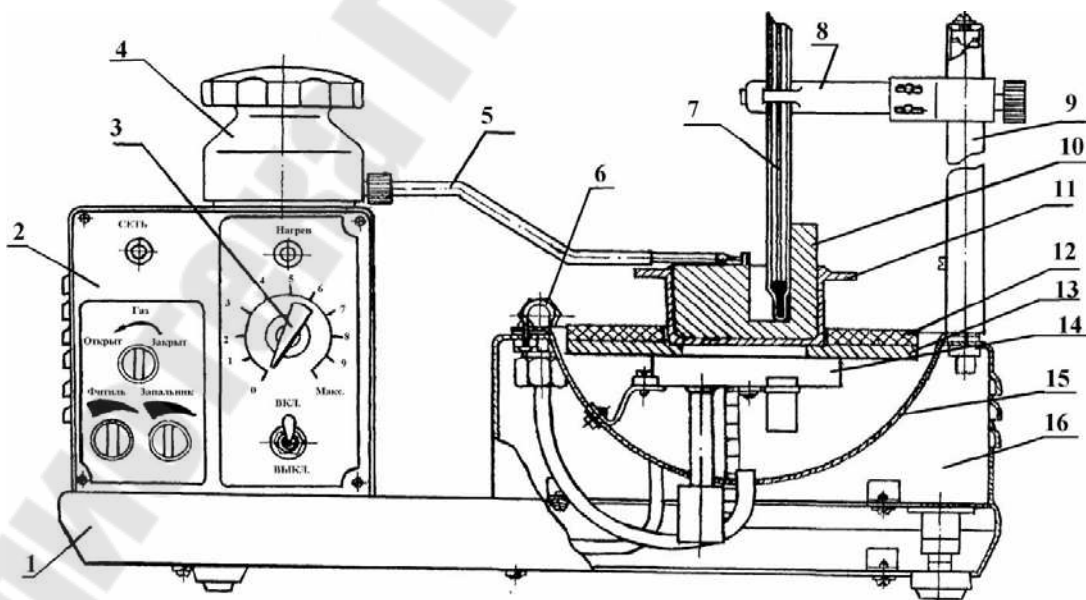


Рис. 3.5. Аппарат для определения температуры вспышки и воспламенения в открытом тигле (ТВО): 1 – основание; 2 – блок управления; 3 – ручка регулировки нагрева; 4 – ручка; 5 – газовое

устройство; 6 – штуцер воздушный; 7 – термометр; 8 – зажим; 9 – стойка; 10 – шаблон; 11 – тигель; 12 – асбестовая прокладка; 13 – нагревательная пластина; 14 – нагревательный элемент; 15 – отражатель; 16 – термоблок

3.3. Порядок проведения работы

3.3.1. Определение температуры вспышки в аппарате закрытого типа

При подготовке аппарата к работе необходимо убедиться в исправности резиновых трубок, подводящих газ к зажигательному устройству и проверить подсоединение прибора к воздушной и газовой сетям. Для ускоренного охлаждения термоблока используется воздух давлением не более 0,5 МПа (5 кг/см²).

Приступая к работе на приборе повернуть ручки открытия и регулировки газа по часовой стрелке (краны закрыты).

Повесить на крючок 4 прижим 5 с укрепленными на нем фитилем и запальником.

После этого подключить аппарат к газовой системе, повернув ручку «газ» против часовой стрелки на 3-5 оборотов, поднести открытое пламя к запальнику. Поворачивая регулятор «запальник» против часовой стрелки добиваться того, чтобы газ, выходящий из сопла, загорелся.

Так же следует поджечь газ, выходящий из сопла фитиля. Далее следует отрегулировать пламя запальника на величину 6-8 мм, а пламя фитиля на 3-4 мм. После этого поворотом ручки «газ» по часовой стрелке перекрыть газ. Пламя запальника и фитиля должно погаснуть. Аппарат после этого отключают от газовой сети.

Далее следует проверка регулятора скорости нагрева. Для этого в тигель 8 (рис. 3.3) наливают до риски испытуемый нефтепродукт, закрывают его крышкой, на которой устанавливают прижим с запальником и фитилем, а также термометр с диапазоном 0 - 170°C. Аппарат затем следует подключить к электрической сети.

Нажав на кнопку фиксатора рукоятки 3, привести привод мешалки в состояние сцепления с мешалкой. При сцеплении включится привод и начнется перемешивание нефтепродукта.

Тумблером «нагрев» включить регулятор нагрева, повернуть ручку регулировки нагрева на положение «макс.» и через 3-5 мин убедиться по термометру, что продукт в тигле начал нагреваться.

После этого проверка нагрева считается законченной. Тумблер «нагрев» выключают, регулятор нагрева переводят в положение 0.

Аппарат можно отключить от электрической сети.

Для предварительного определения в аппарате закрытого типа температуры вспышки продукта, температура вспышки которого даже приблизительно неизвестна, рекомендуется провести ускоренное определение. Для этого следует залить в тигель продукт до риски, не допуская смачивания стенок тигля выше указанной метки, закрыть его крышкой, установить термометр с диапазоном до 130°C, привести механизм привода мешалки в состояние сцепления с мешалкой, перемешивание включается автоматически.

Тумблер включения нагрева установить в положение ВКЛ., а ручку регулировки нагрева в положение «8». Поджечь и отрегулировать пламя фитиля и запальника. При повороте рукоятки 9 (рис.3.2) приводят в действие механизм, расположенный на крышке тигля, при этом открывается заслонка и пламя опускается в паровое пространство тигля за 0,5с и оставляется в самом нижнем положении 1с. Затем поворотом рукоятки в обратную сторону механизм возвращается в первоначальное положение. При опускании пламени в окошко тигля, перемешивание нефтепродукта автоматически прекращается.

Определение температуры вспышки проводят через каждые 5-6°C.

За температуру вспышки принимают показания термометра в момент чёткого появления первого (синего для нефтепродуктов) пламени над поверхностью продукта внутри прибора. Для выбора положения ручки регулятора нагрева при определении температуры вспышки приближённо можно воспользоваться графиком (рис. 3.6).

По оси ординат найти значение предполагаемой или предварительно определённой температуры вспышки испытуемого продукта. Провести горизонтальную прямую до пересечения с кривой зависимости. Из точки пересечения провести вертикальную прямую до пересечения с осью положения ручки регулировки скорости нагрева. При этом скорость нагрева продукта приближённо будет соответствовать требованиям методики ГОСТ 6365-75. Установить на приборе найденное значение. Контролировать скорость нагрева необходимо с помощью секундомера и при необходимости следует корректировать ручкой регулятора.

Точное определение температуры вспышки проводить на другой порции этого же продукта со строгим соблюдением методики ГОСТ 6356-75. Для этого прибор устанавливают на ровном устойчивом столе в таком месте, где нет заметного движения воздуха и свет настоль-

ко затемнён, что вспышка хорошо видна. Для её защиты от движения воздуха прибор с трёх сторон окружают экраном.

Тигель и крышку прибора промывают растворителем, высушивают, удаляя все следы растворителя, и охлаждают до температуры не менее чем на 17°C ниже предполагаемой температуры вспышки.

При испытании продуктов с температурой вспышки до 50°C нагревательную ванну охлаждают до температуры окружающей среды.

Испытуемый продукт наливают в тигель до метки, не допуская смачивания стенок тигля выше указанной метки.

Тигель закрывают крышкой, устанавливают в нагревательную ванну, вставляют термометр и включают зажигательную лампочку, регулируя пламя так, чтобы форма его была близкой к шару диаметром 3-4 мм.

Нагревательную ванну включают и нагревают испытуемый продукт в тигле.

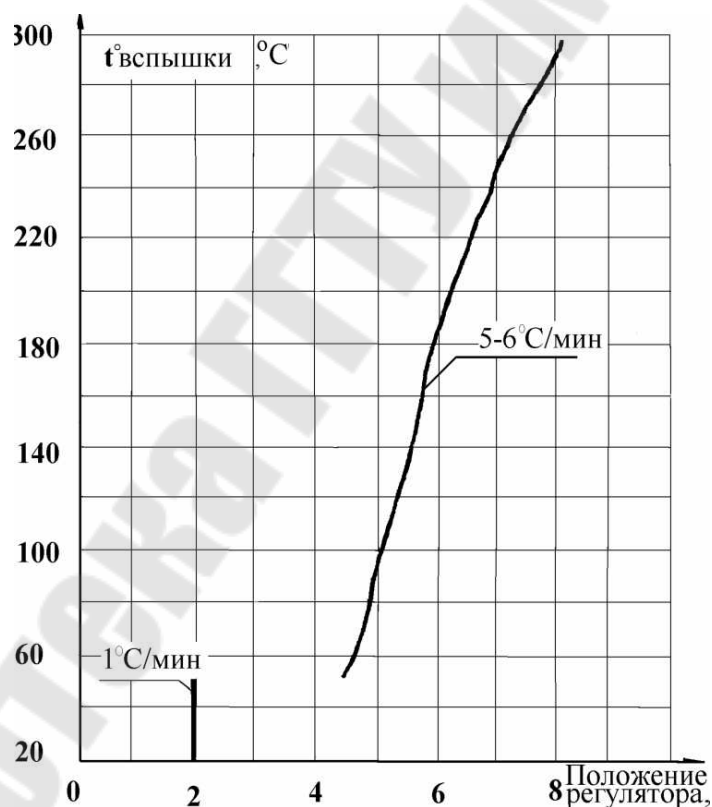


Рис. 3.6. График зависимости температуры вспышки нефтепродукта от положения регулятора нагрева при номинальном напряжении сети

Перемешивание ведут, обеспечивая частоту вращения мешалки от 90 до 120 об/мин, а нагрев прибора следующим образом:

– при испытании продуктов с температурой вспышки до 50°C – 1°C за 40-60с;

– свыше 50°C – 5-6°C (1°C за 10-12 с) (для органических химических продуктов за 30°C до предполагаемой температуры - 1°C за 30 - 40 с).

Испытания на вспышку начинают проводить для продуктов с температурой вспышки:

– до 50°C – не более чем за 10°C до предполагаемой температуры;
– свыше 50°C – не более чем за 17°C до предполагаемой температуры вспышки.

Испытание на вспышку проводят при повышении температуры на каждый 1°C для продуктов с температурой вспышки до 104°C и на каждые 2°C для продуктов с температурой вспышки выше 104°C.

В момент испытания на вспышку, приводят в действие расположенный на крышке механизм, который открывает заслонку и опускает пламя. При этом пламя опускают в паровое пространство за 0,5 с, оставляют в самом нижнем положении 1 и поднимают в верхнее положение.

За температуру вспышки каждого определения принимают показания термометра в момент чёткого появления первого (синего для нефтепродуктов) пламени над поверхностью продукта внутри прибора.

При появлении неясной вспышки она должна быть подтверждена последующей вспышкой при повышении температуры на 1 или 2°C. Если при этом вспышки не произойдёт, испытание повторяют вновь.

При применении газовой зажигательной лампочки последняя в процессе испытания должна находиться в зажжённом состоянии для исключения возможности проникновения газа в тигель. Если в ходе какого-либо испытания на вспышку, зажигательная лампочка погаснет в момент открытия отверстий крышки, то результат этого определения не учитывают.

3.3.2. Определение температуры вспышки в аппарате открытого типа

Перед началом испытаний после длительного (более пяти дней) перерыва в работе аппарата, его следует предварительно прогреть, просушив нагревательный элемент. При этом тигель на нагреватель не ставить. Установить ручку регулировки нагрева в положение 5, а тумблер включения нагрева в положение ВКЛ. Убедиться, что аппарат не касается каких-либо посторонних предметов. Не касаясь аппа-

рата, подключить его к электросети (для прогрева). Через тридцать минут отключить аппарат от сети.

Аппарат устанавливается в вытяжном шкафу. Строго горизонтальное положение аппарата проверяется по зеркалу воды, налитой в тигель до риски внутри тигля. Выравнивание зеркала жидкости достигается регулировкой винтов на ножках прибора.

На нагревательный элемент 14 (рис.3.5) положить нагревательную пластину 13, а на неё асбестовую прокладку 12. На нагревательную пластину 13 поставить тигель 11.

Установить стойку 9, закрепить её гайкой, зажим 8 поднять на половину длины стойки и надёжно зажать винтом.

В зажим 8 вставить термометр 7 и проверить правильность положения газового устройства и термометра, как показано на рис.3.7.

Поднять подвижную часть стойки 9 вверх до упора и повернуть по часовой стрелке. Рукояткой 4 отвести газовое (или фитильное) зажигательное устройство. Аппарат подготовлен к работе.

Для предварительного определения в аппарате открытого типа температуры вспышки продукта, температура вспышки которого даже приблизительно неизвестна, рекомендуется провести ускоренное определение. Для этого следует залить в тигель 11 (рисунок 3.5) нефтепродукт до риски, установить на нагревательную пластину 13.

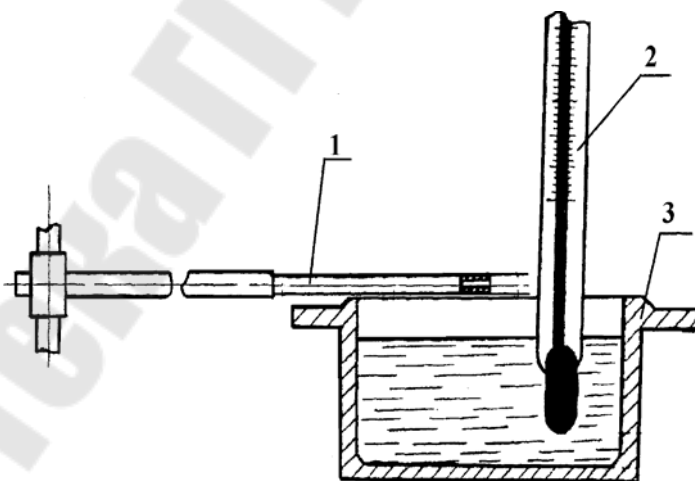


Рис.3.7. Расположение газового устройства и термометра:

1– трубка зажигательного устройства капиллярная; 2 – термометр;

3 – тигель

Подвижную часть стойки 9 с термометром вернуть в рабочее положение. Подключить аппарат к электросети. Тумблер поставить в положение ВКЛ. Ручку 3 регулировки нагрева поставить в положение 7. Повернуть ручки газовых вентилей ГАЗ, ФИТИЛЬ и ЗАПАЛЬНИК

до упора по часовой стрелке, в положение «ЗАКРЫТ». Поднести открытое пламя к запальникам. Отрегулировать величину пламени запальников на длину ручки «запальник». Затем поворотом ручки 3 (рис.3.5) поднести фитиль к пламени запальника и, открыв газ, отрегулировать пламя фитиля так, чтобы оно по форме было близко к шару диаметром 3-4 мм. По мере нагрева продукта через каждые 5-10°C проводить пламя фитиля над тиглем с испытуемым нефтепродуктом. При появлении вспышки отвести пламя фитиля от тигля и тумблером отключить нагрев.

Для более точного определения температуры вспышки или воспламенения подготовить аппарат к проведению повторного анализа.

Для выбора необходимой скорости нагрева следует воспользоваться графиком, представленным на рис.3.8.

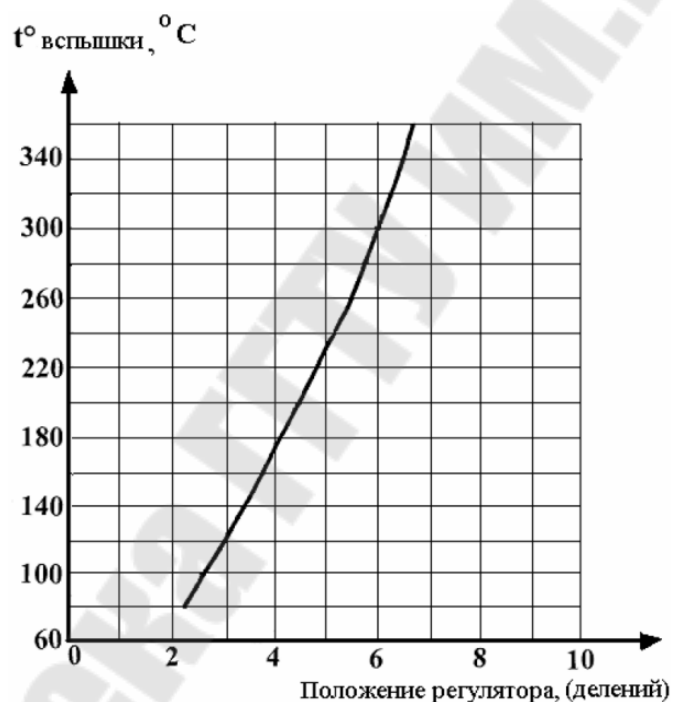


Рис. 3.8. График зависимости температуры вспышки нефтепродукта от положения регулятора нагрева при номинальном напряжении сети

Затем испытуемый продукт по стеклянной палочке наливают в тигель 11 до риски внутри тигля. Вставляют в пробу термометр. Включают в работу газовое устройство и включают обогрев, устанавливая регулировочную ручку в положение, определённое по рисунку 5 на основании предварительного испытания. При этом скорость нагрева будет приблизительно соответствовать требованиям методики международного стандарта ИСО 2592-73. За 28-30°C до ожидаемой температуры вспышки приступают к испытанию на вспышку. Для

этого через каждые 2°С проводят пламенем газового устройства над поверхностью продукта в течение 1 секунды. За температуру вспышки принимается та температура, которую показывает термометр в момент появления синего пламени на поверхности продукта. Появившееся пламя должно погаснуть. Температура воспламенения определяется после определения температуры вспышки. Для этого продолжают нагрев и температура, при которой поднесенное пламя вызвало горение паров в течение 5 с или более, отмечается как температура воспламенения.

После окончания опытов, прибор отключают от электросети, закрывают газ и подают воздух через штуцер 6 для ускоренного охлаждения термоблока, снимают тигель с пробой с асбестовой прокладки, сливают нефтепродукт в термостойкую тару.

Тигель промывают растворителем и сушат. После этого прибор снова готов к работе.

3.4. Обработка опытных данных

3.4.1. Эксперимент в аппарате закрытого типа

Температуру вспышки вычисляют с учётом поправки на барометрическое давление алгебраическим сложением найденной температуры и поправки, определённой по формуле:

$$\Delta T = 0,0362 \cdot (760 - P), \quad (3.3)$$

где ΔT – температурная поправка на барометрическое давление, °С;
 P – фактическое барометрическое давление в мм рт.ст.

При барометрическом давлении, отличающемся от давления 101,08 кПа (760 мм рт. ст.) на 2 кПа (15 мм рт.ст. и более), вводят найденную температурную поправку (ΔT) в табл.3.2.

Таблица 3.2

Поправки на барометрическое давление

Барометрическое давление		Поправка, ΔT , °С
ммрт.ст.	кПа	
630– 658	84– 87	+4
659– 687	88– 91	+3
688– 716	92– 95	+2
717– 745	95– 99	+1
775– 803	103– 107	-1

Допускаемые расхождения между параллельными определения-

ми не должны превышать для нефтепродуктов:

- при $T_{всп}$ до 104°C - 2°C ;
- при $T_{всп}$ выше 104°C - 6°C .

За температуру вспышки продукта принимают среднее арифметическое не менее двух параллельных определений. Полученное значение округляют до целого числа:

$$T_{и} = T_{ср} + 0,0362 \cdot (760 - P) \quad (3.4)$$

Результаты расчетов вносятся в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

Результаты измерений и расчётов в аппарате с закрытым тиглем

№ оп.	Вид жидкости	Температура вспышки опытная, $T_{всп}, ^{\circ}\text{C}$	Вычисленное значение температуры вспышки, $T_{ср}, ^{\circ}\text{C}$	Поправка на барометрическое давление $\Delta T, ^{\circ}\text{C}$	Фактическая температура вспышки $T_{и}, ^{\circ}\text{C}$
1					
2					
3					
4					
5					

3.4.2. Эксперимент в аппарате открытого типа

Если барометрическое давление ниже $95,3$ кПа (715 мм рт.ст.), то необходимо к полученным значениям температуры вспышки и температуры воспламенения ввести соответствующие поправки:

- при давлении $715 - 665$ мм рт.ст. $+2^{\circ}\text{C}$;
- при давлении $664 - 610$ мм рт.ст. $+4^{\circ}\text{C}$;
- при давлении $609 - 550$ мм рт.ст. $+6^{\circ}\text{C}$.

Два результата определений температуры вспышки признаются достоверными (с 95%-ной доверительной вероятностью), если расхождение между ними не превышает 4°C . Расхождение между двумя последовательными определениями температуры воспламенения не должно превышать 6°C .

Таблица 3.4

Результаты измерений и расчётов в аппарате с открытым тиглем

Время, мин	Температура, С	Время, мин	Температура, С
1		18	
2		20	

3		22	
4		23	
5		24	

Продолжение таблицы 3.4

7		25	
10		26	
11		27	
12		28	
13		29	
14		30	
15		31	
16		32	
17		...	

3.5. Контрольные вопросы

- 1) Что такое температура вспышки?
- 2) Почему температура воспламенения выше температуры вспышки?
- 3) Что такое нижний и верхний предел взрываемости?
- 4) Что даёт знание температуры вспышки нефтепродукта?
- 5) Что характеризует температура вспышки?
- 6) Объясните связь между температурой вспышки и температурой кипения для индивидуальных углеводородов и их смесей?
- 7) Как определяется температура вспышки смеси?
- 8) По какой формуле определяется температура вспышки двух-компонентной смеси?
- 9) Как влияет атмосферное давление на температуру вспышки?
- 10) Почему существует разница температур вспышки, измеренных в приборах разных типов?
- 11) Какими приборами измеряется температура вспышки? Каково их устройство и работа?
- 12) Чему равна разница температур вспышки, измеренных в приборах разных типов для разных нефтепродуктов?
- 13) Что принимается за температуру вспышки при её определении в закрытом тигле?
- 14) Как производится определение температуры вспышки масел?

7.

Лабораторная работа №4 Определение температуры замерзания и содержания гликоля в антифризах

Цель работы: экспериментально определить температуру замерзания антифриза и содержание в нем гликоля различными методами.

4.1. Общие сведения

Температура замерзания охлаждающих низкотемпературных жидкостей зависит от процентного содержания в них этиленгликоля (пропиленгликоля) и воды. Такие смеси называются антифризами. В процессе работы различных механизмов, заправленных охлаждающей низкотемпературной жидкостью, процентный состав компонентов, входящих в её состав, может изменяться, а значит, изменяется и температура замерзания антифриза.

Наиболее широкое распространение получили водо-этиленгликолевые смеси, кривая кристаллизации которых приведена на рис. 4.1. Видно, что смесь в различных соотношениях может иметь температуру замерзания от 0 до минус 70°C, при этом изменяется плотность смеси.

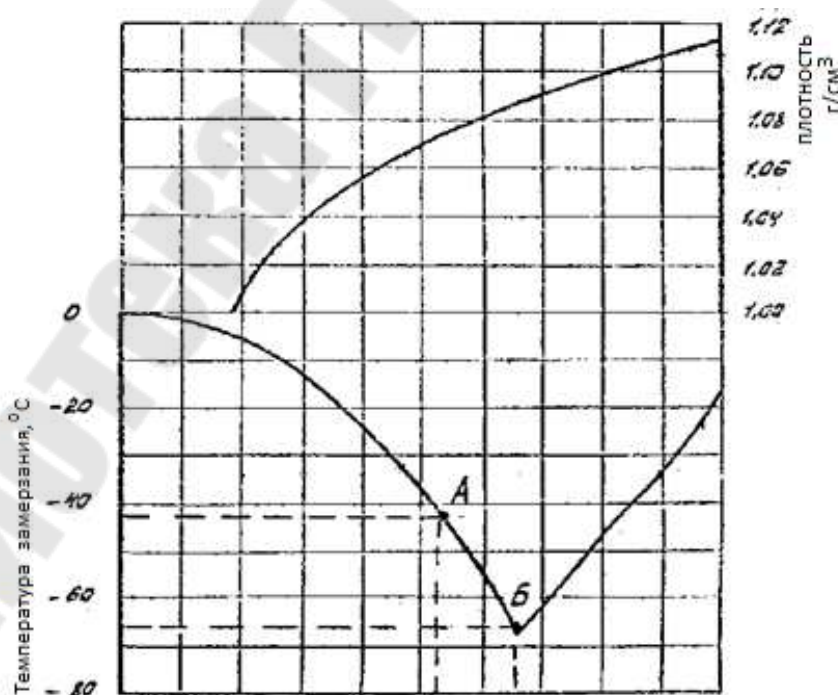


Рис 4.1. Кривая кристаллизации водо-этиленгликолевых смесей

Химическая промышленность, согласно ГОСТ 159-52, выпускает антифризы марок 40 и 65. Жидкость марки 40 представляет собой смесь 53% этиленгликоля и 47% воды, имеет температуру замерзания не выше минус 40°C (точка А на рис. 4.1). Жидкость марки 65 содержит 65% этиленгликоля и 35% воды, имеет температуру замерзания не выше минус 65°C (точка Б на рис. 4.1). В качестве антикоррозионных присадок в антифризы добавляют динатрийфосфат и декстрин. Считается, что динатрийфосфат защищает от коррозии чугунные, стальные а частично медные детали, а декстрин-припой и детали аз алюминия и меди. Декстрин не полностью растворяется в антифризе, некоторая часть его (5-10%) находится в коллоидном или мелкодисперсном состоянии, вследствие чего антифризы могут, быть слегка мутноваты. Антифриз мутный и с осадком декстрина пригоден к употреблению. В антифризе не должно быть крупных взвешенных частиц, расслаивания, а даже следов другой жидкости на поверхности. Такой жидкостью могут быть нефтепродукты, которые не смешиваются, с антифризом, но вызывают, бурное вспенивание и выбросы из системы охлаждения двигателей.

При испарении антифриза выделяющиеся пары содержат значительно больше воды, чем этиленгликоля. В условиях эксплуатации от испарения теряется практически только вода, которую периодически следует добавлять в радиатор. Если объем жидкости уменьшился из-за разлива или протекания, то убыль пополняется такой же смесью, при этом температура замерзания антифриза не изменится.

В последнее время химическая промышленность освоила выпуск низкотемпературных жидкостей типа ТОСОЛ по ТУ 6-02-619-70. Эти жидкости можно применять круглый год, они приготовлены на основе этиленгликоля и содержат антикоррозионные присадки и активатор. Выпускается три марки Тосола - Тосол-А, Тосол-А40, Тосол - А65. Тосол А представляет собой концентрированный этиленгликоль с присадками. Перед употреблением его следует развести равным количеством дистиллированной воды, при этом смесь будет иметь температуру замерзания минус 35°C. Соответственно водный раствор Тосола-А с температурой замерзания не выше минус 40°C маркируют как Тосол -А40, а с температурой замерзания минус 65°C - как Тосол -А65.

Имеется несколько способов определения состава и температуры замерзания антифризов: перегонкой, по плотности, по коэффициенту преломления и гидрометром.

Определение состава и температуры замерзания антифризов по их плотности

Плотность антифризов определяется с помощью ареометра (денсиметра) так же, как и плотность нефтепродуктов.

Для определения плотности жидкости подбирают денсиметр, имеющий шкалу от 1 до 1,2 с ценой деления не более 0,001.

Рекомендуется плотность определять при температуре +20 °С. Если плотность определена при другой температуре, то найденная плотность приводится к температуре +20 °С по формуле:

$$\rho_4^{20} = \rho_4^T + K \cdot (T - 20), \quad (4.1)$$

где ρ_4^{20} – плотность антифриза при 20°С, г/см³;

ρ_4^T – плотность антифриза при температуре определения, г/см³;

T – температура антифриза при определении, °С;

$K = 0,000525$ – коэффициент объёмного расширения жидкости, показывающий изменение плотности жидкости с изменением температуры на 1 °С.

Определив плотность жидкости, находят температуру её замерзания и содержание гликоля в объёмных процентах (таблицей 4.1).

Таблица 4.1

Зависимость между плотностью, температурой замерзания и содержанием гликоля в охлаждающей жидкости

Плотность ρ_4^{20} , г/см ³	Содержание гликоля % по объёму	Температура замерзания T , °С
1,115	100	-12
1,113	99	-15
1,112	98	-17
1,111	96	-20
1,110	95	-22
1,109	92	-27
1,106	90	-29
1,099	80	-48
1,093	75	-58
1,086	67	-75
1,079	60	-55
1,073	55	-42
1,068	50	-34
1,057	40	-24

Продолжение таблицы 4.1

1,043	30	-15
1,029	20	-8

Температуру замерзания и содержание гликоля в жидкости по её плотности можно также определить, пользуясь диаграммой представленной на рис. 4.2.

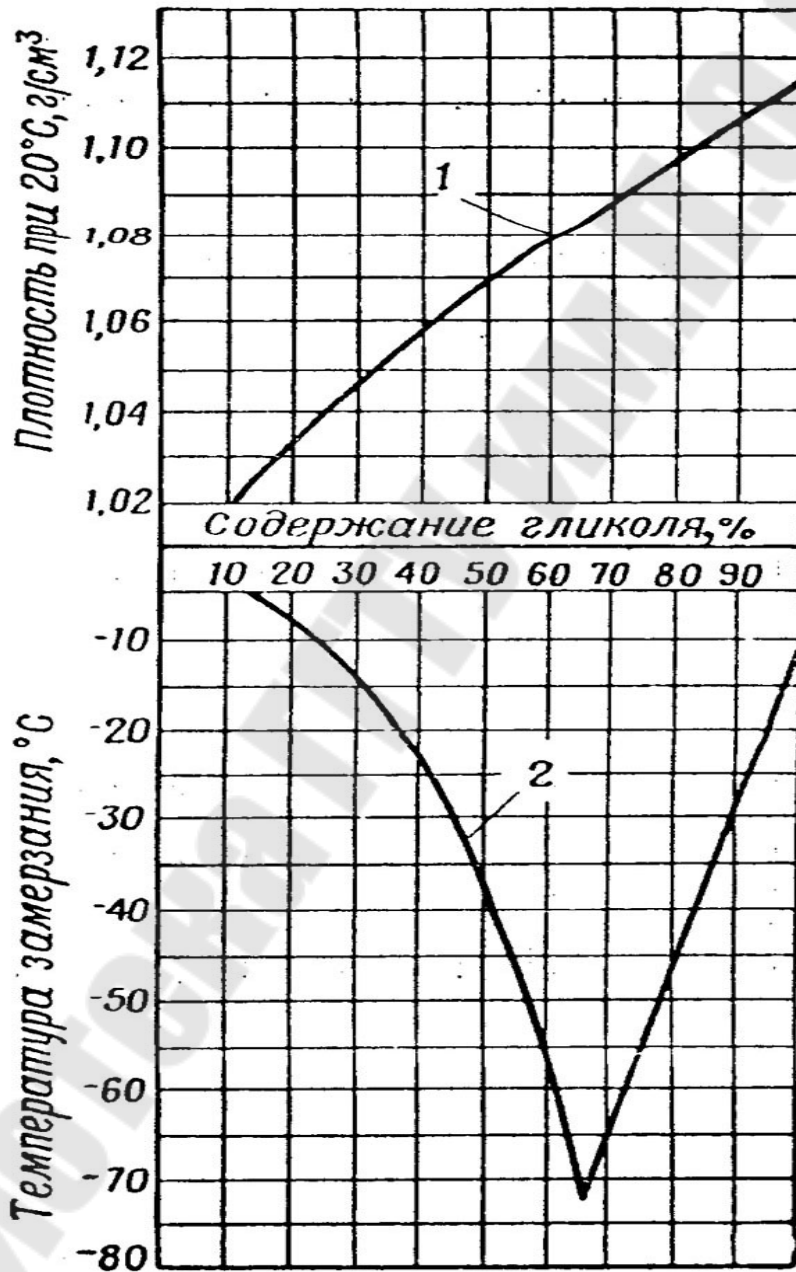


Рис. 4.2. Диаграмма для определения температуры замерзания и содержания гликоля в охлаждающей низкотемпературной жидкости по её плотности

Зная плотность, проводят горизонтальную линию от оси ординат, где приведены значения плотности, до пересечения её с кривой плотности, опускают перпендикуляр на ось абсцисс и получают значение содержания гликоля.

Продолжая опускать перпендикуляр вниз до пересечения его с кривой температур замерзания, и проведя горизонтальную линию влево до оси ординат, получают значение температуры замерзания данной жидкости.

Определение содержания этиленгликоля в антифризе по коэффициенту преломления

Коэффициент преломления связан прямо пропорциональной зависимостью с содержанием этиленгликоля в антифризе, поэтому по известной его величине можно точно установить в образце соотношение этиленгликоля и воды.

Коэффициент преломления определяют на имеющихся в лаборатории рефрактометрах под руководством лаборанта. Содержание этиленгликоля в антифризе рассчитывают по формуле:

$$c = (n - 1,334) \cdot 10^3, \% \quad (4.2)$$

где c – содержание этиленгликоля в антифризе в объёмных процентах; n – коэффициент преломления испытуемого антифриза при 20 °С.

По найденному составу образца определить его температуру замерзания.

Полученные экспериментальные результаты сопоставить с соответствующими данными стандарта на охлаждающие жидкости и на основании этого установить марку антифриза, а также соответствие его нормам ГОСТ 159-52. Наиболее точное представление о качестве антифриза даёт коэффициент преломления и найденные по его величине состав и температура замерзания образца. В частности, температура замерзания, определённая по гидрометру, может отличаться от температуры замерзания, установленной по коэффициенту преломления, на $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Определение содержания этиленгликоля в антифризе по гидрометру.

Гидрометр (рис. 4.3) представляет собой денсиметр, у которого вместо шкалы плотности есть две шкалы: шкала “Гликоль в объёмных процентах” показывает процентное содержание этиленгликоля в антифризе в интервале от 20 % до 100 %; шкала “Температура замерзания в градусах Цельсия” – температуру замерзания жидкости в интервале от -8°C до -67°C . Гидрометр снабжён термометром.

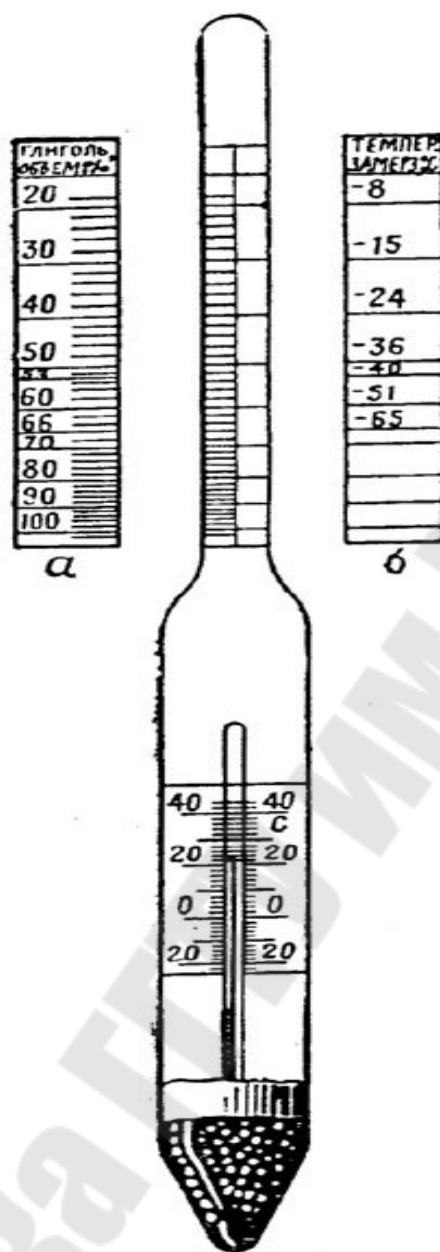


Рис. 4.3. Гидрометр: а – шкала «Глицероль в объёмных процентах»; б – шкала «Температура замерзания»

Чистый сухой гидрометр осторожно опускают в жидкость, держа за верхний конец. Рекомендуется испытуемую жидкость предварительно подогреть до 20 °С. Выдерживают гидрометр в жидкости в течение 3 - 5 мин., с тем, чтобы он принял температуру жидкости. Отсчёт ведут по верхнему мениску жидкости. При отсчете глаз испытателя должен находиться на уровне мениска. По одной шкале определяют процентный состав, по другой – температуру замерзания охлаждающей низкотемпературной жидкости. По термометру гидрометра определяют температуру жидкости. Гидрометр градуирован при тем-

пературе 20 °С. Если определение проводилось при другой температуре, то в показания гидрометра вносят поправку (см. приложение).

Для перевода показаний гидрометра при температуре определения к показаниям при 20 °С в переводной графе таблицы (см. приложение) находят температуру, при которой велось определение. По горизонтальной строке находят показания гидрометра при температуре определения. В том же столбце, но в строке, соответствующей температуре 20 °С, получают значение истинного содержания этиленгликоля в жидкости. Так, например, при температуре 0 °С показания гидрометра 48 %. Истинное содержание этиленгликоля в антифризе будет равно 41 %. Найдя истинный состав антифриза по таблице, определяют с помощью шкал гидрометра, какой температуре замерзания соответствует найденный состав жидкости.

4.2. Порядок проведения работы

Определение состава и температуры замерзания антифризов по их плотности

Плотность охлаждающей жидкости определяют при температуре 20 °С при помощи денсиметра с ценой деления 0,001.

Таблица 4.2

Результаты измерений и расчётов температуры замерзания антифризов по их плотности

№ оп.	Вид жидкости	Плотность антифриза при 20°С, г/см ³	Плотность антифриза при температуре определения, г/см ³	Температура антифриза при определении, °С
1				
2				
...				

Определение содержания этиленгликоля в антифризе по коэффициенту преломления

Если показатели качества испытуемого образца не соответствуют нормам на марку антифриза, указанную в задании, то рассчитывают соотношения, в которых данный образец должен быть смешан с водой либо с этиленгликолем с тем, чтобы смесь удовлетворяла техническим требованиям на установленную заданием марку антифриза.

При добавке этиленгликоля расчёт выполняют по формуле:

$$x = \frac{a - b}{b - k} \cdot V, \quad (4.3)$$

где x – количество добавляемого этиленгликоля в мл на V мл испытуемого образца;

a – объёмный процент воды в испытуемом образце;

b – объёмный процент в исправленном антифризе (в смеси);

k – объёмный процент воды в добавляемом этиленгликоле.

При расчёте количества добавляемой воды используют формулу:

$$y = \frac{c - d}{d} \cdot V, \quad (4.4)$$

где y – количество добавляемой воды в миллилитрах на V миллилитров испытуемого образца;

c – объёмный процент этиленгликоля в испытуемом образце;

d – объёмный процент этиленгликоля в исправленном антифризе (в смеси).

Вычислить x или y на величину $V = 150$ мл, принимая в соответствии с ГОСТ 150-52 для антифриза марки 40 $b = 45\%$; $d = 55\%$; для антифриза марки 65 $b = 35\%$; $d = 65\%$.

Таблица 4.3

Результаты измерений и расчётов содержания этиленгликоля в антифризе по коэффициенту преломления

Вид жидкости	Объём жидкости V , мл	Объёмн. процент воды a	Объёмн. процент в антифризе b	Объёмн. процент воды в доб. этиленгликоле k	Объёмн. процент этиленгликоля c	Объёмн. процент этиленгликоля d	Кол-во добавляемой воды, x , мл

Определение содержания этиленгликоля в антифризе по гидрометру

Гидрометр градуирован при температуре плюс 20°C и если испытание проводилось при другой температуре, то в показания гидрометра необходимо вносить поправку с помощью таблицы 4.4.

Например, при температуре плюс 10°C, гидрометр показал 33% этиленгликоля. Тогда истинное содержание его в антифризе будет равно 35%. Если в таблице нет необходимых значений температур и показаний гидрометра, прибегают к интерполяции. По найденному истинному составу антифриза определяют температуру его замерза-

ния (рис. 4.2). На основании выполненных испытаний делают заключение о соответствии качества испытанного образца антифриза требованиям стандарта.

Таблица 4.4

Содержание этиленгликоля в антифризе при различных температурах, %

Содержание этиленгликоля в антифризе при температуре 20 ⁰ С, %	Температура испытуемого образца, ⁰ С					
	30	20	15	10	0	- 10
20	17	20	21	22	24	26
25	22	25	26	27	29	31
30	27	30	32	33	35	37
35	32	35	37	38	40	43
40	37	40	42	44	47	50
45	41	45	47	49	52	56
50	46	50	52	54	58	62
55	50	55	57	59	63	67
60	55	60	63	65	69	73

Таблица 4.5

Результаты измерений и расчётов этиленгликоля в антифризе по гидрометру

№ п.п.	Вид жидкости	Температура замерзания	Гликоль в объёмных процентах	Содержание этиленгликоля в антифризе при температуре 20 ⁰ С, %
1				
2				
...				

4.3. Контрольные вопросы

- 1) Как называется смесь с этиленгликолем и водой?
- 2) Как выглядит кривая кристаллизации водо-этиленгликолевых смесей?
- 3) Какой диапазон температуры замерзания водо-этиленгликолевых смесей?
- 4) Какие существуют виды антифризов? Каков их состав?
- 5) Какими способами можно определить состав и температуру замерзания антифризов?
- 6) Опишите способ определения состава и температуры замерзания антифризов по их плотности?
- 7) По какой формуле определяется плотность при температуре, отличной от 20°C?
- 8) Опишите способ определения состава и температуры замерзания антифризов по коэффициенту преломления?
- 9) Опишите способ определения состава и температуры замерзания антифризов по гигрометру?
- 10) Как устроен гидрометр?
- 11) Что представляет собой низкотемпературные жидкости?
- 12) Зачем необходимо знать температуру замерзания антифриза?
- 13) Что такое коэффициент объемного расширения жидкости?
- 14) Как привести плотность антифриза при температуре определения к плотности при 20°C?
- 15) Почему при испарении антифриза убыль воспламеняется водой, а при разливе или протекании – той же смесью?

Лабораторная работа №5

Определение пенетрации пластичных смазок

Цель работы: изучить методику определения консистенции пластичных смазок и определить величину пенетрации.

5.1. Общие сведения

Определить консистенцию смазки можно по величине пенетрации, которая характеризует способность смазки выдерживать большое давление, сопротивляться выдавливанию из зоны трения и т. д.; т. е. характеризует степень мягкости консистентных смазок.

При измерении пенетрации происходит сразу несколько явлений, потому что движение конуса в смазке вызывает упругопластические деформации и течение. Этим объясняется то, что две разные смазки могут иметь разные вязкости при близких пенетрациях.

Пенетрация не имеет точного физического смысла, хотя наиболее часто применяется среди показателей, характеризующих эксплуатационные свойства пластичной смазки.

Большим неудобством является отсутствие общепринятых систем названий пластичных смазок и системы классификации. Единственной общепринятой классификацией является классификация, разработанная NLGI (National Lubricating Grease Institute), разделяющая смазки по консистенции. Похожая классификация принята Польским комитетом стандартов. Эти классификации приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Деление пластичных смазок на классы по консистенции (пенетрация при температуре 25°C)

Класс консистенции	По NLGI, Англия	По PN-85/C-04095, Польша
000	445-475	440-480
00	400-430	395-435
0	355-385	350-390
1	310-340	305-345
2	265-295	260-300
3	220-250	215-255
4	175-205	170-210
5	130-160	125-165
6	85-115	80-120

Численные значения величины пенетрации для ряда широко используемых смазок представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Значения пенетрации пластичных смазок

Вид смазочного материала	Пенетрация при 25°С, не менее
Смазка универсальная ЦИАТИМ-205	165
Смазка для роликовых подшипников железнодорожных вагонов ЛЗ-ЦНИИ	200-260
Смазка графитная для открытых шестерён прокатных станков, рессор автомобилей и др. высоконагруженных узлов трения УСсА	250
Смазка трансмиссионная для тяжело нагруженных шестерёнчатых редукторов гусеничной техники ЦИАТИМ-208	При -15°С 300-360
Смазка индустриальная для узлов трения машин при централизованной подаче смазки ИП-1: летняя ИП-1-Л зимняя ИП-1-З	280-310 310-360
Смазка индустриальная металлургическая №137 для смазывания подшипников и других узлов трения металлургического оборудования, работающих при повышенных температурах и нагрузках, с централизованной подачей	335-360
Смазка для скоростных шарикоподшипников ВНИИ НП-260	310-360

Внешние воздействия на узел трения и, следовательно, на пластическую смазку разрушают структуру смазки, что ведёт к изменениям механических и реологических свойств смазки. Как показано на рис. 5.1, с увеличением продолжительности механического воздействия и разрушением структуры растёт пенетрация, т. е. смазка становится мягче (кривые 1 и 2).

При этом поведение смазки в узле трения и её свойства тесно связаны со структурой загустителя. Так, в поликарбомидных смазках, не имеющих сформированных волокон и с коллоидной структурой, отличающейся от первых двух смазок, зависимость пенетрации от продолжительности и интенсивности механических воздействий носит иной характер (кривые 3^I и 3^{II}).

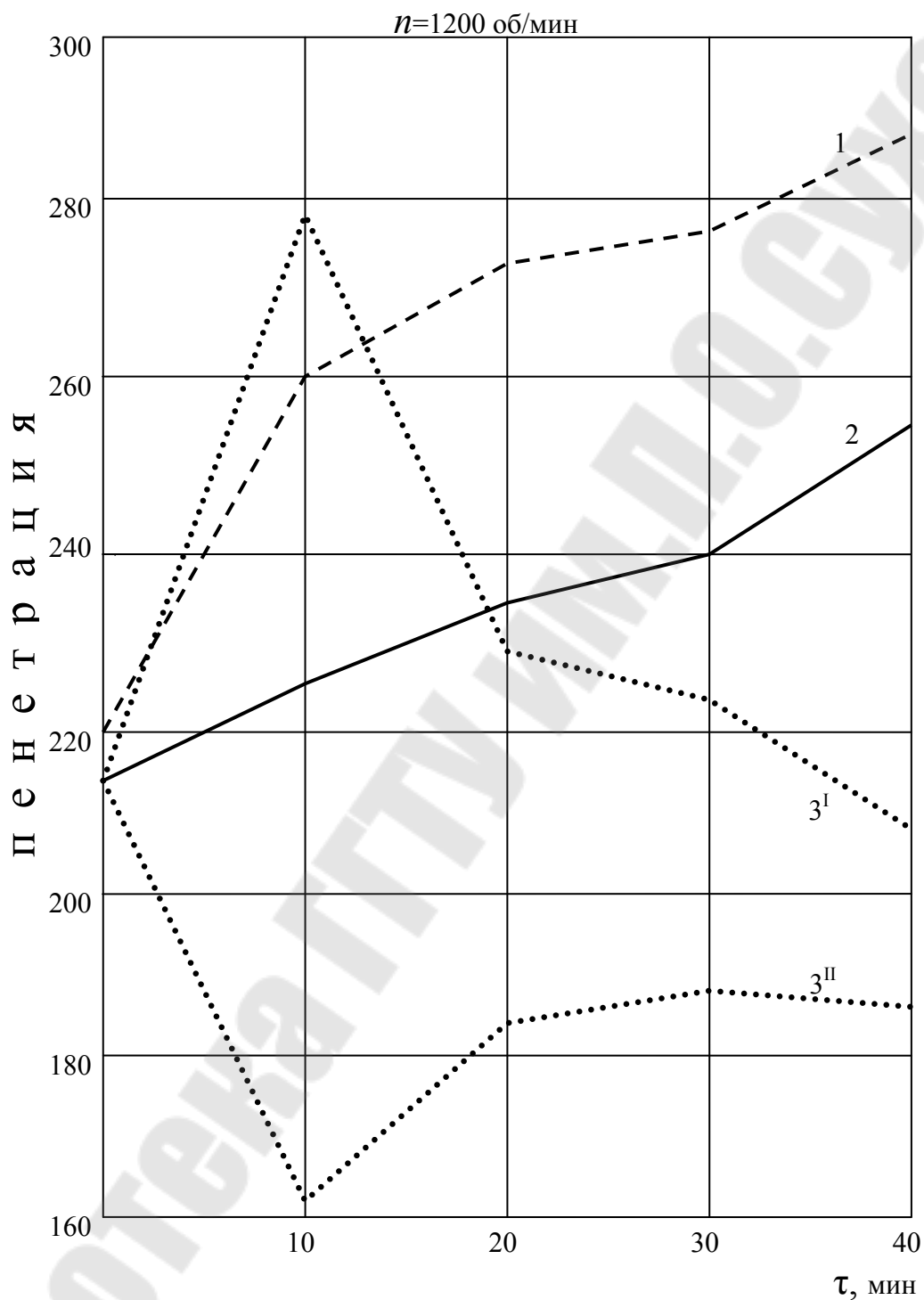


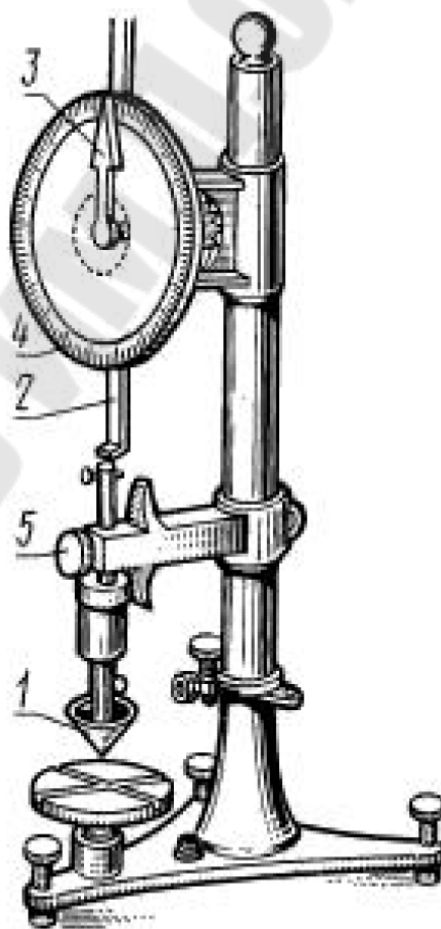
Рис. 5.1. Пенетрация смазок во времени после механического воздействия и разрушения структуры: 1, 2 – многофункциональные литьевые смазки: (1 – LT-4S2, производства ПНР; 2 – ShellAlvaniaR-2, производства США); 3 – поликарбомидная смазка Syntex-2, ПНР (3^I – после механического воздействия; 3^{II} – после разрушения структуры)

Измерение пенетрации заключается в определении глубины, на которую погружается в смазку тело определённой формы и массы через заданный промежуток времени при стандартной температуре. При исследовании консистенции пластичных смазок погружающееся тело имеет форму конуса. Глубина, на которую оно погрузится через 5 сек., выраженная в десятых долях миллиметра, называется пенетрацией.

Пенетрацию измеряют пенетрометром Ричардсона (рис.5.2). При исследовании небольших объёмов смазки измерение проводится миниатюрным конусом – определяется микропенетрация.



а)



б)

Рис. 5.2. Пенетрометр Ричардсона: а), б) внешний вид пенетрометра; 1 – конус; 2 – кремальера; 3 – стрелка циферблата; 4 – циферблат; 5 – пусковая кнопка;

Стандартный метод определения пенетрации пластичной смазки установлен ГОСТом 5346-78. Сущность метода заключается в определении глубины погружения в испытуемую смазку стандартного конуса (рис. 5.3) за 5 сек. при 25°С при общей нагрузке 150 г, выражаемой целым числом десятых долей миллиметра по шкале пенетрометра.



Рис. 5.3. Конус пенетрометра

5.2. Описание опытной установки

Лабораторная установка включает в себя пенетрометр Ричардсона (рис. 5.2) с конусом (рис. 5.3), смесителем и термостатом, обеспечивающим поддержание температуры в заданных пределах.

Пенетрометр состоит из основания, на котором крепится столик. В нижней части стойки крепится рычаг с пусковой кнопкой 5. В отверстии рычага устанавливается плунжер с конусом 1. В верхней части стойки расположен циферблат 4 со стрелкой 3, соединённой с кремальеркой 2, которая во время испытания устанавливается на торец плунжера.

Конус изготовлен из коррозионно-стойкого материала со съёмным наконечником из твёрдой стали с отполированной внешней поверхностью.

5.3. Порядок проведения работы

1) Установить конус 1 таким образом, чтобы его наконечник касался поверхности смазки в центре окружности, при этом конус не должен касаться стенок стакана. Испытания проводят на 5-ти образцах. Перед каждым испытанием конус тщательно очищают.

2) Опустить кремальерку 2 до соприкосновения с плунжером, в котором закреплён хвостовик конуса, и поставить стрелку циферблата на 0.

3) Пустить секундомер и одновременно нажать пусковую кнопку, давая конусу свободно погружаться в смазку. Через 5 сек. кнопку отпустить.

4) Отсчитать показания на шкале циферблата и приподнять кремальерку и плунжер с конусом. Тщательно очистить конус от смазки.

5) Выполнить пункты 1-4 для следующих образцов смазок.

6) При испытании с перемешиванием произвести измерения в точках, находящихся на половине радиуса окружности стакана на угловом расстоянии 120° друг от друга в соответствии с пунктами 1-5.

5.4. Обработка опытных данных

1) Для каждого типа используемой пластичной смазки определить число пенетрации как среднее арифметическое по результатам измерений.

2) По табл. 5.1 установить класс консистенции испытуемых смазок.

3) По табл. 5.2 определить вид смазочного материала. Данные занести в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Результаты измерений пенетрации

№ образца	Пенетрация, десятые доли мм						Класс консистенции	Вид пластичной смазки
	1	2	3	4	5	сред.		
1								
2								
3								
4								
5								

5.5. Контрольные вопросы

1) Для чего предназначены смазки?

2) Из чего состоят пластичные смазки?

3) Как классифицируют пластичные смазки?

4) Что характеризует пенетрация смазок?

5) Что такое пенетрация?

6) Какие свойства пластичных смазок оценивает число пенетрации?

- 7) Какие классы консистенции существуют в зависимости от пенетрации?
- 8) Чему равны величины пенетрации для наиболее распространенных смазок?
- 9) Какие деформации происходят в объёме смазки при определении пенетрации?
- 10) Какие факторы изменяют пенетрацию смазки?
- 11) Как влияет механическое воздействие во времени на смазку на величину пенетрации?
- 12) Как осуществляется измерение пенетрации?
- 13) В чём заключается принцип работы пенетрометра Ричардсона?

Лабораторная работа №6

Определение температуры каплепадения пластичной смазки

Цель работы: экспериментально определить температуру каплепадения пластичной смазки.

6.1. Общие сведения

Температура каплепадения является условной характеристикой теплоустойчивости смазки.

Испытуемая смазка, помещаемая в капсулю специального прибора, нагревается с определенной скоростью и размягчается до такого состояния, при котором происходит образование и падение капли под действием тяжести.

Температура, при которой капля смазки, помещаемая в прибор, приобретает форму полушара, называется температурой каплеобразования. Температура, при которой происходит падение первой капли смазки из прибора, называется температурой каплепадения.

Универсальные пластичные смазки по температуре каплепадения делятся на три группы:

Смазка с температурой падения до 65 °С – они маркируются буквами УН (универсальная низкоплавкая);

Смазка с температурой каплепадения 65 °С-100 °С (универсальная среднеплавкая) – УС;

Смазка с температурой каплепадения выше 100 °С (универсальная тугоплавкая) – УТ.

Смазки УН готовят на немыльных загустителях, смазки УС – на кальциевых мылах, а смазки УТ – на натриевых мылах.

При использовании пластичных смазок учитывается температура узла трения. Температура каплепадения пластичной смазки должна быть выше на 10-12 °С температуры узла трения.

6.2. Описание опытной установки

Определение температуры каплепадения производится в приборе, который состоит из специального термометра б с шариком ртути малого размера и металлической насадки, которая закрепляется на нижней части термометра (рис. 6.1). В металлическую насадку снизу

вставляется стеклянный капсюль 3 для испытуемой смазки. Термометр с насадкой помещается в широкую пробирку 4 и закрепляется с помощью пробки. Пробирка с прибором укрепляется в зажиме штатива 5 и опускается в стакан 2 с водой, установленный на электроплитке 1 или треноге под газ, на асбестовой сетке. Для наполнения капсюля смазкой необходимо иметь шпатель.

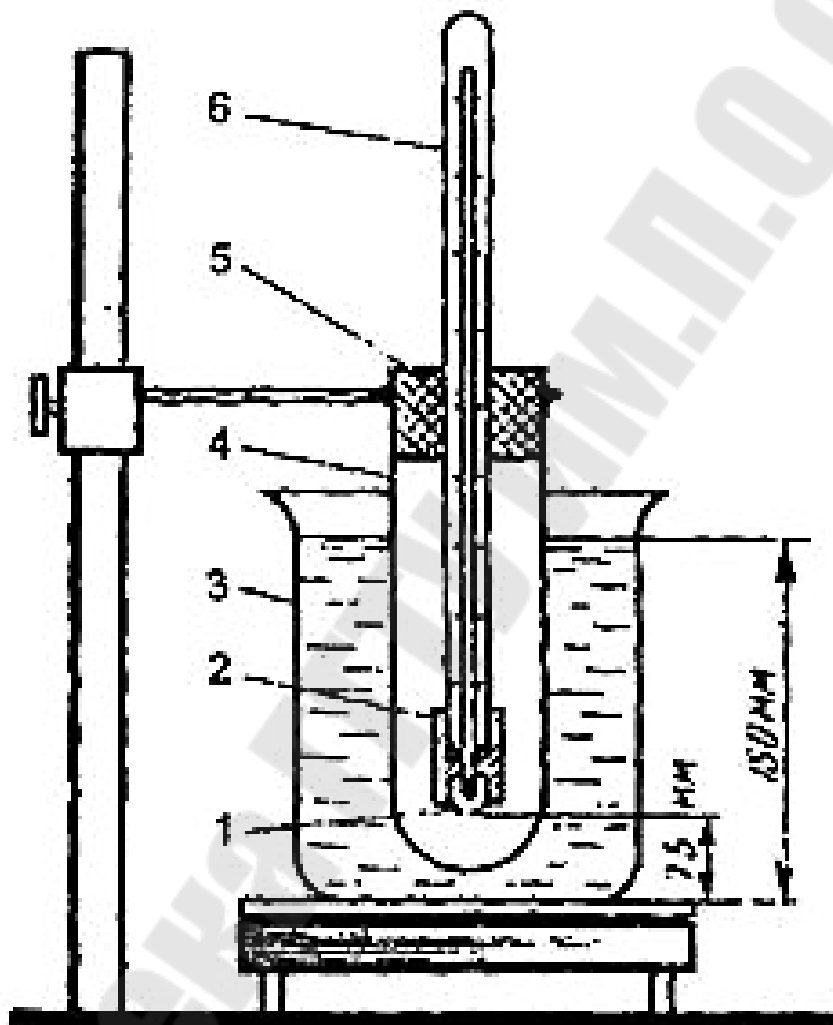


Рис. 6.1. Прибор для определения каплепадения: 1 – чашечка; 2 – гильза; 3 – стакан с жидкостью; 4 – стеклянная муфта; 5 – пробка; 6 – термометр

6.3. Порядок проведения работы

Испытуемую смазку плотно вмазывают шпателем в стеклянный капсюль так, чтобы не было пузырьков воздуха. Излишек смазки срезают ножом с верхней части капсюля. Затем его вставляют в металли-

ческую оправу так, чтобы его верхний край упирался в бортик. Выжатую термометром из нижнего отверстия капсюля смазку снимают ножом. На дне пробирки помещают кружок из бумаги, который сменяют после каждого определения.

Прибор вставляют в пробирку так, чтобы нижний край капсюля находился на расстоянии 25 мм от дна пробирки. Затем пробирка помещается в вертикальном положении в стакан с водой или светлым глицерином так, чтобы нижний край прибора отстоял от дна пробирки на 16 мм. Воду (масло) в колбе нагревают сначала быстро, а затем за 20°С ниже ожидаемой точки каплепадения – медленно со скоростью 1°С в мин.

За температуру каплепадения принимают ту температуру, при которой в процессе нагревания из чашечки падает первая капля испытуемой рабочей жидкости, а если капли не образуется, то за температуру каплепадения принимают ту, при которой выходящий столбик смазки коснется дна муфты.

6.4.Обработка опытных данных

- 1) Для каждого типа используемой пластичной смазки определить температуру каплепадения
 - 2) Для каждого типа используемой пластичной смазки определить температуру узла трения
 - 3) Сравнить показания с ГОСТ 6793-74
- Данные записываются в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Результаты измерений каплепадения

№ образца	Наименование пластичной смазки	Температура каплепадения, t , °С	Температура узла трения для применения смазки, t , °С	Соответствие ГОСТ 6793-74
1				
2				
3				
4				
5				

6.5. Контрольные вопросы

- 1) Для чего предназначены смазки?
- 2) Из чего состоят пластичные смазки?
- 3) Как классифицируют пластичные смазки?
- 4) Дайте определение температуры каплепадения?
- 5) Что характеризует температура каплепадения?
- 6) Как определяется температура каплепадения?
- 7) На какие группы делятся пластичные смазки по температуре каплепадения?
- 8) Чему равна температура каплепадения универсальной низкоплавкой смазки?
- 9) Чему равна температура каплепадения универсальной низкоплавкой смазки?
- 10) Чему равна температура каплепадения универсальной среднеплавкой смазки?
- 11) Чему равна температура каплепадения универсальной тугоплавкой смазки?
- 12) Из чего изготавливают универсальные пластичные смазки?

Лабораторная работа №7

Сравнение интенсивности теплообмена при прямотоке и протivotоке

Цель работы: Определить и сравнить между собой значения коэффициентов теплопередачи для рекуперативных водоводяных теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» с прямоточной и противоточной схемой движения теплоносителей.

7.1. Общие сведения

Теплообменными аппаратами (теплообменниками) называются устройства, предназначенные для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому.

По принципу действия теплообменники подразделяют на три вида: рекуперативные, регенеративные и смесительные.

В рекуперативных теплообменниках теплоносители омывают стенку с двух сторон и обмениваются при этом теплотой. Процесс теплообмена протекает непрерывно и имеет обычно стационарный характер.

Стенка, которая омывается с обеих сторон теплоносителями, называется рабочей поверхностью теплообменника.

Рекуперативные теплообменники подразделяются в зависимости от направления движения теплоносителей. Если теплоносители движутся параллельно в одинаковом направлении, теплообменник называют прямоточным, при противоположном направлении движения — противоточным. В теплообменнике с перекрестным током теплоносители движутся во взаимно перпендикулярных направлениях, при этом возможен однократный и многократный перекрестный ток. Встречаются и более сложные схемы движения теплоносителей.

Конструктивно рекуперативные теплообменники могут выполняться с трубчатыми и пластинчатыми рабочими поверхностями.

Рекуперативные теплообменники, предназначенные для утилизации теплоты в газотурбинных установках, называют регенераторами; теплообменники для рассеивания теплоты горячей воды в окружающее пространство (например, в системе охлаждения автомобильного двигателя) называют радиаторами. Назначением определяются

также такие названия теплообменников: воздухоподогреватели, маслоохладители, пароперегреватели и т. п.

В регенеративном теплообменнике одна и та же поверхность поочередно омывается то горячим, то холодным теплоносителем. При соприкосновении с горячим теплоносителем стенка аккумулирует теплоту, а затем отдаёт её холодному теплоносителю. Для удовлетворительной работы теплообменника его рабочие стенки должны обладать значительной теплоёмкостью.

Характерная особенность регенеративного теплообменника — нестационарный режим теплообмена. Чтобы процесс теплообмена протекал непрерывно при одинаковой продолжительности периода нагрева и охлаждения, такой теплообменник должен иметь две параллельно работающие секции. Конструктивно эти секции могут быть реализованы в виде вращающегося теплообменника или теплообменника с двумя камерами, которые поочередно подключаются то к холодному, то к горячему теплоносителю.

В смесительных теплообменниках процесс теплообмена сопровождается перемешиванием теплоносителей, т.е. они непосредственно соприкасаются друг с другом. Поэтому смесительные теплообменники называются также контактными. Процесс теплообмена в таком аппарате имеет стационарный характер и сопровождается испарением жидкости.

Смесительный теплообменник целесообразно использовать для таких теплоносителей, которые легко разделить после теплообменного аппарата, например, такой парой является вода и воздух. Характерной особенностью смесительного теплообменника является его простота.

Из трёх рассмотренных выше видов теплообменников наиболее широкое и разностороннее применение находят рекуперативные теплообменники.

Найдём зависимость для опытного определения коэффициента теплопередачи для теплообменного аппарата.

Для стационарного теплового и гидродинамического режима уравнение теплопередачи для теплообменных аппаратов имеет вид:

$$Q = k \cdot \Delta t_{cp} \cdot F, \quad (7.1)$$

где Q – тепловой поток, передаваемый через поверхность теплообменника;

k – коэффициент теплопередачи от одного теплоносителя к другому Вт/(м²·К);

Δt_{cp} – среднелогарифмический температурный напор.

Среднелогарифмический напор определяется из уравнения:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (7.2)$$

где $\Delta t_{\text{б}}$ – больший температурный напор;

$\Delta t_{\text{м}}$ – меньший температурные напор.

Больший и меньший температурный напоры определяются следующим образом (рис. 7.1.):

а) для прямотока:

$$\Delta t_{\text{б}} = t_1' - t_2', \quad (7.3)$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_1'' - t_2'', \quad (7.4)$$

б) для противотока:

$$\Delta t_{\text{б}} = t_1' - t_2'', \quad (7.5)$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_1'' - t_2', \quad (7.6)$$

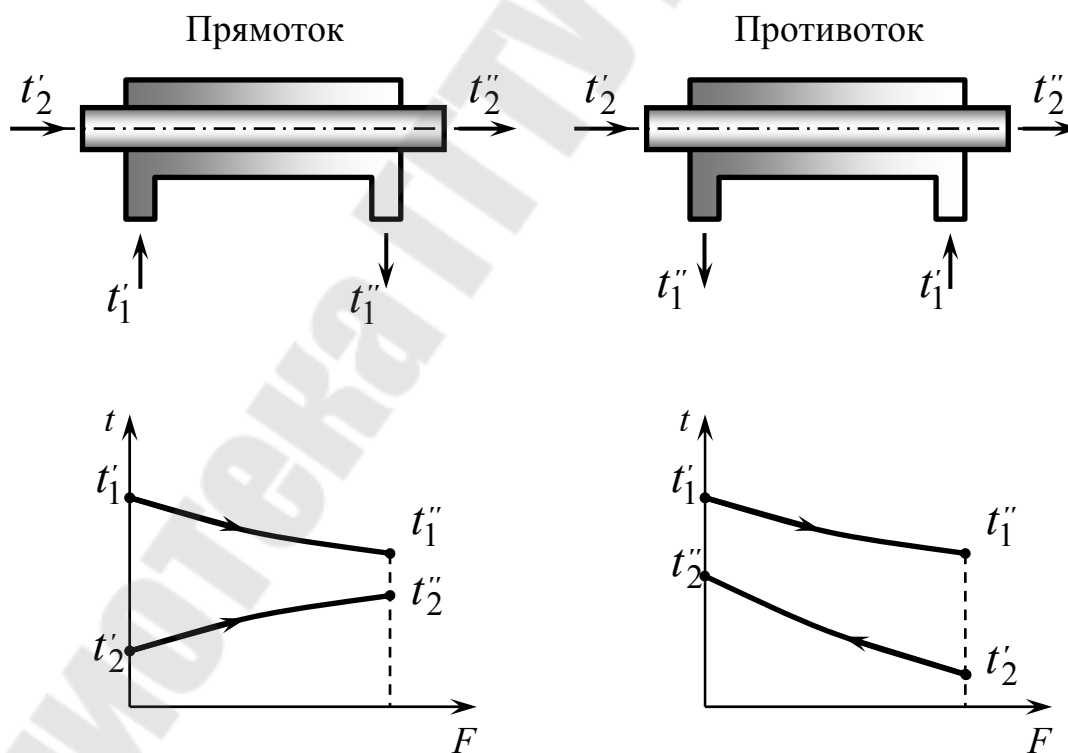


Рис. 7.1. Изменение температуры по поверхности теплообмена

Тепловой поток Q можно выразить иначе, например:

$$Q = M \cdot C_p \cdot (t_2'' - t_2'), \quad (7.7)$$

где M – массовый расход холодного теплоносителя, кг/с;

C_p – теплоемкость холодного теплоносителя, Дж/кг.

Из уравнений (7.1) и (7.2) находим:

$$K = \frac{M \cdot C_p \cdot (t_2'' - t_2')}{\Delta t_{cp} \cdot F}, \quad (7.8)$$

7.2. Описание опытной установки

Опытная установка (рис. 7.2) состоит из теплообменника, который выполнен в виде двух вложенных труб разного диаметра. К внутренней трубе теплообменника 2, подведён трубопровод с холодной водой, подачу которой регулирует вентиль 5, количество подающей холодной воды определяется по расходомеру 1, внешняя труба 6, подключена к источнику горячей воды 12, по средством разветвлённой сети трубопроводов, с вентилями 7,8,9,10,11. Данная разветвлённая сеть, позволяет, при помощи вентиля 7,8,10,11, организовывать в теплообменнике различные направления движения горячего теплоносителя.

Температура теплоносителей на входе в теплообменник и выходе из него, определяется при помощи термопар a, b, c, d , которые подключены к потенциометру 4.

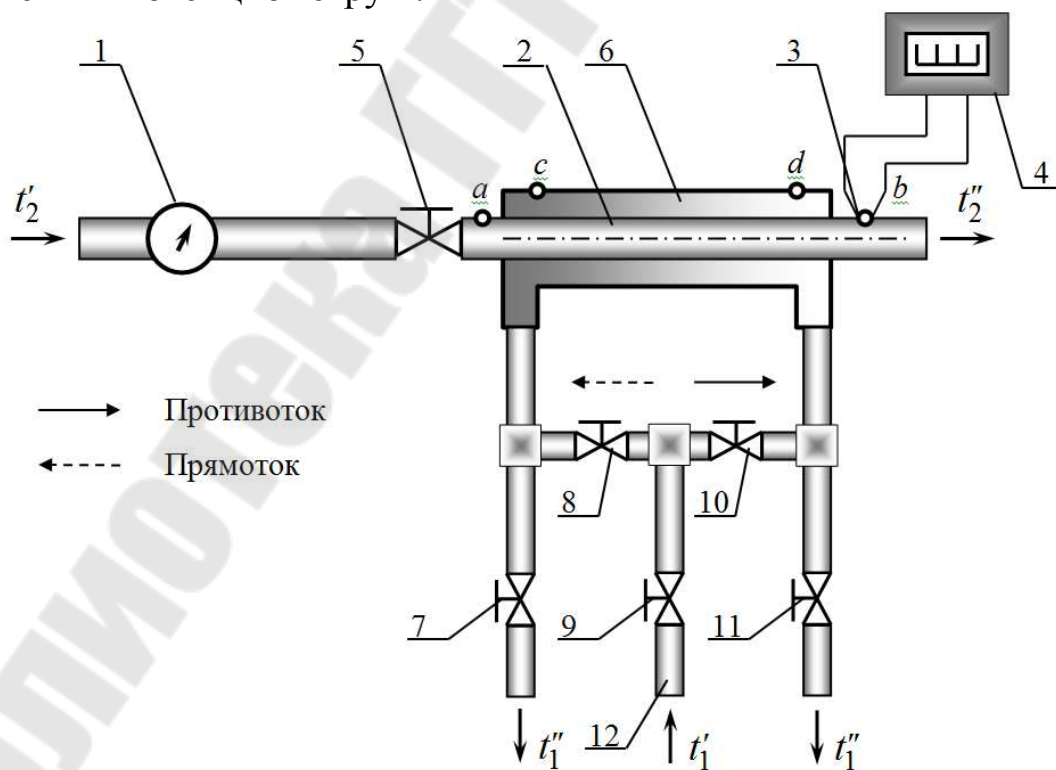


Рис. 7.2. Схема экспериментальной установки: 1 – водяной расходомер для холодной вода; 2 – внутренняя труба теплообменника; 3 –

термопара; 4– потенциометр; 5,7,8,9,10,11 – вентили 6 – наружная труба теплообменника; 12 – подвод горячей воды

7.3. Порядок проведения работы

- 1) Включение установки производится за 15 мин до опыта для получения стационарного теплового режима к моменту измерения.
- 2) Закрываются вентили 5,7,8,9,10,11.
- 3) Открывается вентиль 5, для подачи холодной воды во внутреннюю трубу теплообменника 2.
- 4) С начала настраивается прямоточная схема движения теплоносителей. Для этого открываются вентили 9,8,11.
- 5) Измерения расхода холодной воды M и температур теплоносителей производится в одной и той же последовательности через 5 мин. Необходимо сделать пять измерений по всем величинам при стационарном режиме, который фиксируется стабильностью показаний термопар в точках a, b .
- 6) После, настраивается противоточная схема движения теплоносителей. Для этого закрываются вентили 8,11 и открываются вентили 7,10. далее повторить измерения согласно п. 5.
- 7) Результаты измерений вносятся в таблицу наблюдений 7.1.

7.4. Обработка опытных данных

Вычисления коэффициентов теплопередачи для прямоточного и противоточного теплообменных аппаратов производятся по усреднённым значениям измеренных величин.

Теплоёмкость воды принять равной $C_p = 4186,8$ Дж/(кг·К).

Сравнение коэффициентов теплопередачи производить по формуле:

$$\delta_k = \frac{K_{\text{прот}} - K_{\text{прям}}}{K_{\text{прям}}} \cdot 100, \% \quad (7.9)$$

где $K_{\text{прям}}$ – коэффициент теплопередачи прямоточного теплообменника;

$K_{\text{прот}}$ – коэффициент теплопередачи противоточного теплообменника.

Подсчитывается абсолютная погрешность опытного определения $K_{\text{прям}}$ и $K_{\text{прот}}$.

Таблица 7.1

Результаты измерений и расчетов

№ опыта	Прямоток				Противоток				Примечания		
	M , кг/с	t'_1	t''_1	t'_2	t''_2	M , кг/с	t'_1	t''_1		t'_2	t''_2
1											$d = 0,02$ м; $l = 0,1$ м;
2											
3											
4											
5											
Среднее											
$K_{\text{прям}}$											
$K_{\text{прот}}$											
δ_k											
Абсолютная погрешность											

7.5. Контрольные вопросы

- 1) В чем состоит тепловой баланс гидросистемы?
- 2) Как зависит срок службы масла от температуры в гидросистеме?
- 3) Чему равен рабочий температурный диапазон для масел?
- 4) Какое существует эмпирическое правило, связывающее температуру в гидросистеме и срок службы масла?
- 5) Что называется теплообменными аппаратами?
- 6) Как обозначаются теплообменные аппараты на гидросхемах?
- 7) Как классифицируют теплообменные аппараты?
- 8) Какие теплообменные аппараты наиболее часто применяются в гидросистемах?
- 9) Как классифицируют теплообменные аппараты по направлению движения теплоносителей?
- 10) Какие существуют теплообменные аппараты по виду хладагента?
- 11) Запишите уравнение теплопередачи для теплообменных аппаратов.
- 12) Как определяются температурные напоры для прямотока и противотока?

- 13) Как графически изображается изменение температуры по поверхности теплообмена для прямотока и противотока?
- 14) Из каких частей состоит и как работает опытная установка?

Лабораторная работа №8

Изучение потерь энергии при транспортировании жидкостей по трубопроводу

Цель работы: экспериментальное определение потерь энергии на транспортирование жидкостей по сложному трубопроводу

8.1. Общие сведения

Транспортирование текучих сред (жидкостей и газов) по трубопроводам осуществляется с помощью нагнетательных устройств (насосов, вентиляторов и т.п.). Для того, чтобы перемещать текучую среду, нагнетательное устройство должно затрачивать некоторую энергию. Оказывается, эта энергия зависит не только от физических свойств текучей среды, но и от характеристик трубопроводной системы. Эксплуатационные расходы энергии на транспортирование можно существенно сократить за счёт выбора оптимальной геометрии трубопроводной системы, что может быть реализовано только после изучения основных закономерностей течения жидкостей и газов по трубопроводам.

Поток жидкости либо газа можно характеризовать объёмным расходом Q (м³/с) и средней по сечению трубы скоростью V (м/с). Расход является одной из основных характеристик потоков жидкости либо газа. Расходом называется количество жидкости или газа, которое перемещается через поперечное сечение трубопровода в единицу времени. Расход и скорость связаны между собой соотношением:

$$Q = V \cdot S, \quad (8.1)$$

где S – площадь поперечного сечения трубы, м².

При движении реальных жидкостей и газов часть механической энергии движения необратимо превращается в тепловую. Эта часть энергии называется потерей энергии ΔE . Потери энергии обусловлены существованием сил вязкого трения в жидкостях и газах, т.е. вязкости. С потерями энергии связаны потери давления:

$$\Delta p_{\text{пот}} = \rho \cdot \Delta E, \text{ Па} \quad (8.2)$$

и потери напора:

$$\Delta h_{\text{пот}} = \frac{\Delta p_{\text{пот}}}{\rho \cdot g} = \frac{\Delta E}{g}, \text{ м} \quad (8.3)$$

где ρ – плотность жидкости либо газа;
 g – ускорение свободного падения.

Существование сил вязкости приводит к затратам энергии на перемещение текучих сред. Часть мощности, затрачиваемая нагнетательным устройством на транспортирование по трубопроводу текучих сред с расходом Q , определяется выражением:

$$N = \Delta p_{\text{пот}} \cdot Q, \text{ Вт} \quad (8.4)$$

Гидравлические потери давления (напора) обычно делят на два вида. Первый вид представляет собой потери давления на трение $\Delta p_{\text{тр}}$ при стабилизированном движении жидкости в длинных трубах. Эти потери равномерно распределяются по всей длине трубы. Потери второго вида ($\Delta p_{\text{м}}$) сосредоточены на сравнительно коротких участках трубопроводов и вызываются местными изменениями конфигурации канала. Эти сопротивления называются местными. Примерами местных сопротивлений могут служить участки резкого расширения и сужения трубопровода, места слияния и разделения потоков, различного рода трубопроводная аппаратура (вентили, клапаны, задвижки, дроссели и т.п.). Характерной особенностью движения жидкости через местные сопротивления является образование вихрей в потоке, что вызывает значительные потери энергии (давления, напора).

Таким образом, полные потери давления и напора определяются выражениями:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{пот}} &= \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}}, \\ \Delta h_{\text{пот}} &= \Delta h_{\text{тр}} + \Delta h_{\text{м}}. \end{aligned} \quad (8.5)$$

Потери напора по длине для случая установившегося движения жидкости по трубопроводу круглого сечения определяются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta h_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \text{ м} \quad (8.6)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (коэффициент потерь напора по длине);

l – длина рассматриваемого участка трубы, м;

d – диаметр трубопровода, м;

v – средняя скорость движения жидкости, м/с.

Из формулы видно, что величина потерь напора по длине возрастает с увеличением скорости потока, длины трубы и уменьшается с увеличением диаметра трубопровода.

Местные потери определяются по формуле:

$$\Delta h_{\text{м.с}} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \text{ м,} \quad (8.7)$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления.

Коэффициент гидравлического трения λ зависит от режима течения жидкости и шероховатости трубы. Эта зависимость называется законом сопротивления.

Коэффициент местного сопротивления ζ также зависит от режима течения и от вида и конструктивного исполнения местного сопротивления.

Сравнительный анализ различных гидравлических сопротивлений показывает, что потери энергии значительно возрастают при резком изменении диаметра трубы, при резких поворотах и т.п.

Значения коэффициентов сопротивления, как правило, определяются опытным путём и в обобщённом виде содержатся в справочниках в виде эмпирических формул, таблиц, графиков. В приложении к работе приведены некоторые данные по гидравлическим сопротивлениям.

Основные методы снижения потерь энергии при транспортировании жидкостей и газов по сложным трубопроводам: использование труб с гладкой внутренней поверхностью; обеспечение плавных поворотов потока; устройство более плавного изменения поперечного сечения потока жидкости; устройство плавных входов и выходов из труб; разогрев при перекачивании высоковязких жидкостей; введение полимерных добавок в поток жидкости.

8.2. Описание опытной установки

Опытная установка (рис. 8.1) состоит из резервуара 12, заполненного водой, центробежного насоса 13 с электродвигателем, расходомерного устройства (счетчика жидкости) 11, всасывающего 3 и напорного трубопроводов 4.

Напорная труба 4 после вентиля 8 переходит в трубопровод переменного сечения 5, на характерных участках которого установлены пьезометры 1, сливной трубопровод с вентилем 6. Вакуумметр 9 и манометр 10 служат для измерения давления соответственно на входе и на выходе из насоса. Расходомер 11 служит для измерения количества жидкости, проходящего через поперечное сечение трубопровода.

Вентиль 6 перекрывает подачу жидкости на сливе трубопровода 5 переменного сечения. Вентиль 7 предназначен для регулирования

расхода жидкости. Вентиль 8 перекрывает подачу жидкости в трубопровод переменного сечения.

В данной работе для измерения давления служат вакуумметр 9, манометр 10 и пьезометры 1. Пьезометры 1 сообщаются верхним концом с атмосферой, а нижним концом – с трубопроводом переменного сечения 5. Пьезометры служат для определения избыточного давления в трубопроводе переменного сечения 5, вакуумметр – во всасывающем трубопроводе 3, манометр – в напорном трубопроводе 4.

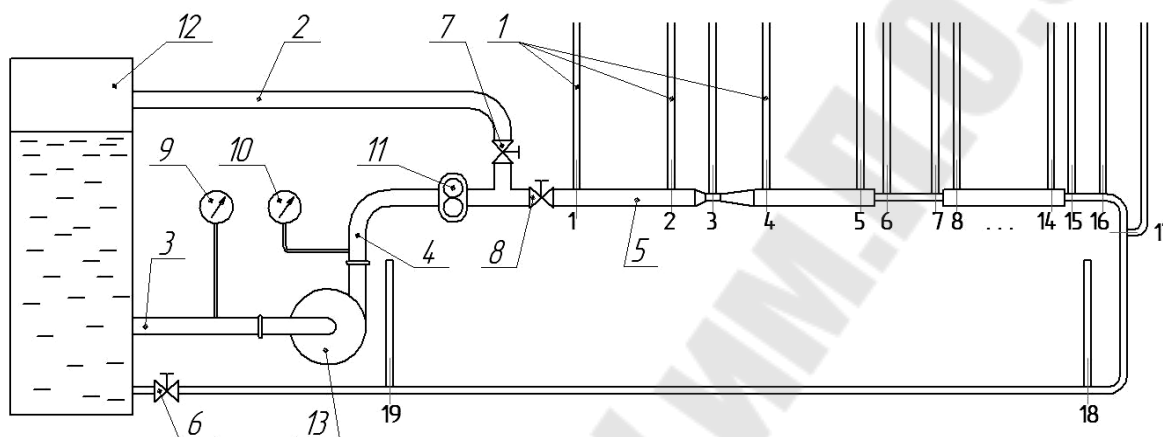


Рис. 8.1. Схема опытной установки

8.3. Порядок проведения работы

- 1) Измерить расстояние по горизонтали l_0 между точкой подключения манометра 10 и центром сечения 1 на трубопроводе 5.
- 2) Полностью открыть вентили 6 и 8, вентиль 7 закрыть.
- 3) Включить в работу насос 13, подающий воду из водосборного бака 12 в систему.
- 4) Установить уровень жидкости вентилем 8 в пьезометре, соответствующем сечению 1 на максимальном уровне (примерно 1м).
- 5) Произвести измерения давления в трубопроводах 4 и 5 по манометру 10 и пьезометрам в сечениях 1...19.
- 6) При помощи расходомерного устройства 11 определить расход для каждого опыта.

8.4. Обработка опытных данных

- 1) Вычислить расход жидкости по формуле:

$$Q = \frac{V}{t}, \text{ л/с}$$

где V – объем жидкости прошедший через расходомерное устройство ($1\text{л}=1000\text{см}^3$);

t – время за которое жидкость прошла через расходомерное устройство.

Определить среднее значение расхода:

$$Q_{\text{ср}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3}, \text{ л/с.}$$

- 2) Вычислить для каждого поперечного сечения площадь:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

где d – внутренний диаметр сечения.

- 3) Вычислить для каждого сечения значения средних скоростей:

$$v = \frac{Q_{\text{ср}}}{F}.$$

- 4) Вычислить потери напора по формуле:

$$h = h_{i+1} - h_i \text{ м.}$$

5) Для каждого значения скорости потока вычислить потери напора по длине и на отдельных участках трубопровода местные сопротивления по выражениям 8.7 и 8.8.

- 6) Вычислить коэффициент гидравлического трения:

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \cdot \lg \frac{d}{2 \cdot \Delta}\right)^2},$$

где $\Delta =$ _____ – абсолютная шероховатость.

- 7) Определить расчетные значения потерь напора:

$$h_{\text{вр.т}} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g}, \quad h_{\text{вс.т}} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}, \quad h_{\text{п.т}} = \zeta_{\text{п}} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}.$$

8) Определить мощность, затрачиваемую на преодоление каждого из гидравлических сопротивлений определяется по формуле:

$$N = \Delta h_{\text{пот}} \cdot Q \cdot \rho \cdot g$$

Провести сравнительный анализ потерь энергии на каждом из участков сложного трубопровода. Обратить внимание на влияние скорости течения на потери энергии.

Таблица 8.1

Результаты измерений расхода жидкости

№ оп.	№ п.п.	Объем жидкости прошедший через расходомерное устройство	Объем жидкости прошедший через расходомерное устройство	Время за которое жидкость прошла через расходомерное устройство	Расход жидкости прошедший через расходомерное устройство
–	–	л	см ³	с	см ³ /с
1	1				
	2				
	3				
	Средний расход жидкости Q_{cp}				
2	1				
	2				
	3				
	Средний расход жидкости Q_{cp}				
3	1				
	2				
	3				
	Средний расход жидкости Q_{cp}				

Таблица 8.2

№ п.п.	Диаметр трубопровода d	Расстоян. между сечен. l	Площадь поперечн сечения трубопровода F	Потери напора по длине h	Средн скорость v	Коэф. гидравлического трения λ	Коэф. местного сопротивления ζ	Мощность N	№ опыта		
									1	2	3
	м	м	м ²	м	м/с	–		Вт	–	–	–
Пьезометр № 1		–		–							
Пьезометр № 2											
Пьезометр № 3											
Пьезометр № 4											
Пьезометр № 5											
Пьезометр № 6											
Пьезометр № 7											
Пьезометр № 8											
Пьезометр № 9											
Пьезометр № 10											
Пьезометр № 11											
Пьезометр № 12											
Пьезометр № 13											
Пьезометр № 14											
Пьезометр № 15											
Пьезометр № 16											
Пьезометр № 17											
Пьезометр № 18	см										
Пьезометр № 19	см										

Результаты измерений и расчётов

8.5. Контрольные вопросы

- 1) С помощью каких устройств транспортируются жидкости по трубопроводам?
- 2) Какими величинами можно охарактеризовать поток жидкости или газа?
- 3) Какой формулой выражается связь между расходом и скоростью жидкости в трубопроводе?
- 4) Почему при движении жидкостей возникают потери энергии?
- 5) Какой формулой выражается связь между потерями энергии и давления, потерями энергии и напора?
- 6) Что относится к местным гидравлическим сопротивлениям?
- 7) По какой формуле определяются потери давления на местных сопротивлениях?
- 8) Каким образом определяется коэффициент местного сопротивления при расчетах?
- 9) Какие потери энергии называются потерями на трение?
- 10) Чем вызваны потери энергии по длине трубопровода?
- 11) По какой формуле определяются потери давления на трение?
- 12) От чего зависит коэффициент гидравлического трения?
- 13) По какой формуле определяется коэффициент гидравлического трения при ламинарном режиме течения жидкости?
- 14) По какой формуле определяется коэффициент гидравлического трения при турбулентном режиме течения жидкости?
- 15) Что такое коэффициент сопротивления трубопровода?
- 16) Что представляет собой характеристика трубопровода?
- 17) Как при расчетах потерь учитываются сопротивления гидравлических аппаратов?
- 18) Опишите состав и принцип действия опытной установки.
- 19) Каков порядок проведения эксперимента?

Лабораторная работа №9

Определение коэффициента фильтрации и коэффициента проницаемости пористого слоя

Цель работы: Исследовать режим движения рабочей жидкости при фильтрации через слой зернистого материала. Определить коэффициент фильтрации и проницаемости пористого слоя.

9.1. Общие сведения

Анализ отказов и нарушений работы агрегатов гидросистем показал, что их надёжность и срок службы в большей степени зависят от наличия в рабочих жидкостях загрязнений. Экономический ущерб от применения некондиционных по загрязнённости жидкостей гидравлических систем очень значительный. По зарубежным данным из 100 аварийных ситуаций в гидросистемах 90 происходит вследствие загрязнённости жидкости.

Особенно чувствительны к загрязнениям агрегаты, работающие при высоких рабочих давлениях. Для защиты аппаратуры, чувствительной к загрязнениям, жидкость перед заправкой гидросистемы и в самой системе подвергают очистке.

Все способы очистки жидкости от нерастворимых частиц загрязнений делятся на две группы:

- отделение загрязнений при прокачке жидкостей через пористый фильтровальный материал (фильтрация)
- очистка жидкостей в силовых полях – гравитационных, центробежных, магнитных, электрических и др.

Наиболее распространённым способом очистки является фильтрование. По способу задержания частиц загрязнения фильтроэлементы делятся на поверхностные, объёмные и комбинированные; последние сочетают в себе признаки двух первых групп. Объёмные фильтроэлементы выполняются из пористого материала значительной толщины: бумаги, картона, целлюлозы, стекловолокна, войлока, замши, сукна, минеральной ваты, пористой керамики, и металлокерамики и прочие. Жидкость очищается, проходя по узким, длинным и извилистым поровым каналам фильтровального материала. Особенно хорошо задерживаются в таких элементах волосообразной частицы. Объёмные фильтроэлементы удерживают частицы самых различных

размеров, так как размеры и проходные сечения поровых каналов у них мене однородны, чем у поверхностных фильтроэлементов. По сравнению с поверхностными объёмные фильтроэлементы имеют более высокое гидравлическое сопротивление и часто могут быть восстановлены, но обеспечивают более качественную фильтрацию и преобладают большей грузоемкостью.

Фильтрацией называется движение жидкостей, газов и их смесей в пористых и трещиноватых средах, т. е. в твёрдых телах, пронизанных системой сообщающихся между собой пор и микротрещин.

Основное соотношение теории фильтрации (закон фильтрации) устанавливает связь между скоростью фильтрации (расходом) и распределением напоров (давлений), которое вызывает фильтрационное течение.

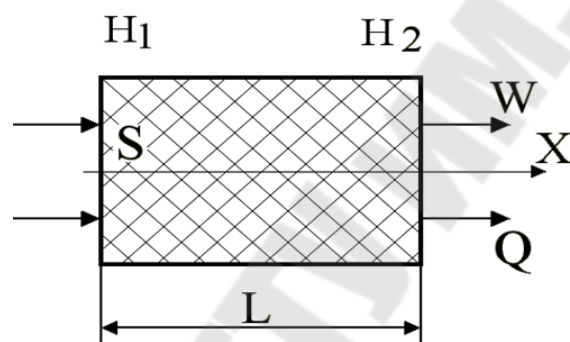


Рис. 9.1. Фильтроэлемент

Простейшим законом фильтрации является закон фильтрации Дарси, который устанавливает линейную зависимость между объёмным расходом Q (скоростью фильтрации W) несжимаемой жидкости и потерей напора, приходящейся на единицу длины:

$$Q = K_{\phi} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} \cdot S \quad (9.1)$$

$$\text{или} \\ W = K_{\phi} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L}, \quad (9.2)$$

где H_1 и H_2 — полные напоры в начальном и конечном сечениях пористого слоя, м;

S — площадь поперечного сечения пористого слоя, м^2 ;

K_{ϕ} — коэффициент фильтрации, зависящий как от свойств пористой среды, так и от свойств (вязкости) фильтрующейся жидкости, м/с.

Фильтрационные свойства пористой среды характеризуются коэффициентом проницаемости K , связанным с коэффициентом фильтрации K_{ϕ} соотношением:

$$K_{\phi} = \frac{K}{\mu} \cdot \rho \cdot g \text{ или } K = \frac{K_{\phi} \cdot \mu}{\rho \cdot g}, \text{ м}^2 \quad (9.3)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости рабочей жидкости, Па·с.

Коэффициент проницаемости K зависит только от свойств пористой среды и не зависит от свойств фильтрующей рабочей жидкости.

Проницаемость фильтровального слоя измеряется специальными единицами, называемыми дарси:

$$1 \text{ Д} = 1,02 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2.$$

С учётом коэффициента проницаемости закон фильтрации Дарси в дифференциальной форме записывается в виде:

$$W = -\frac{K}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx}. \quad (9.4)$$

Линейный закон фильтрации Дарси удовлетворительно описывает фильтрационные течения рабочих жидкостей при ламинарном режиме фильтрации. При неламинарной фильтрации, а также очень малых скоростях фильтрации обнаруживается существенное отклонение реальных фильтрационных течений от линейного закона Дарси.

9.2. Описание опытной установки

Принципиальная схема опытной установки приведена на рис 9.2.

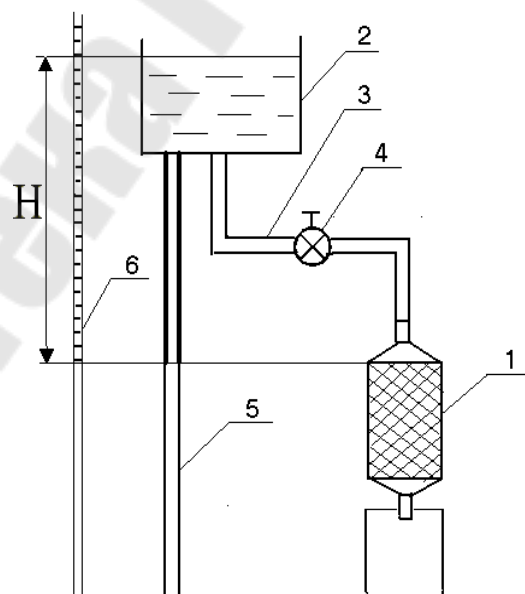


Рис.9.2. Схема опытной установки

Вертикальный прозрачный цилиндр 1 заполнен зернистым материалом (песком) определённой крупности. Через слой зернистого материала фильтруется жидкость, поступающая в цилиндр из напорного резервуара 2 по гибкому шлангу 3 с краном 4. Высота напорного резервуара может изменяться с помощью трубчатой опоры 5. Высота (напор) H измеряется с помощью линейки 6. Расход фильтрующейся жидкости измеряется объёмным методом с помощью мерного стакана и секундомера.

9.3. Порядок проведения работы

1) Подготовить лабораторную установку к работе. Для этого заполнить напорный резервуар 2 жидкостью до отметки, открыть кран 4 и дождаться, когда жидкость начнет стекать в стакан. Затем закрыть кран 4.

2) Установить максимальный напор H , дополнить напорный резервуар 2 до отметки, подставить чистый мерный стакан под цилиндр 1, открыть кран 4 и включить секундомер. Наполнить мерный стакан до отметки, засекая время по секундомеру, закрыть кран 4. Жидкость из мерного стакана вылить в напорный резервуар 2. Записать показания термометра в напорном резервуаре.

3) Провести 5 или 6 опытов, меняя величину напора H до минимального уровня.

4) Данные измерений и вычислений представить в виде таблицы 9.1.

5) Построить график зависимости расхода жидкости через пористый слой от напора (потери капора) H .

Таблица 9.1

Результаты измерений и расчётов

Диаметр цилиндра	$D =$ мм		
Высота слоя зернистого материала	$L =$ мм		
Температура жидкости	$T =$ °С		
Кинематический коэффициент вязкости жидкости	$\nu =$ см ² /с		
Напор	H	см	
Объем воды в мерном стакане	W	см ³	
Время наполнения мерного стакана	t	с	
Расход воды через пористый слой	Q	см ³ /с	
Коэффициент фильтрации	K_{ϕ}	см/с	
Коэффициент проницаемости	K	см ²	

$$Q = \frac{W}{t}; K_{\phi} = \frac{L}{H \cdot S} \cdot Q; K = \frac{K_{\phi} \cdot v}{g}.$$

9.4. Контрольные вопросы

- 1) Что понимают под чистотой рабочей жидкости?
- 2) Какое действие оказывают загрязнители на рабочую жидкость?
- 3) На какие виды делятся загрязнители?
- 4) Как классифицируют твердые загрязнители?
- 5) Что является критерием допустимого количества загрязнений в рабочих жидкостях?
- 6) Сколько существует классов чистоты рабочей жидкости?
- 7) Чему равны рекомендуемые значения классов чистоты рабочей жидкости, назначаемые при проектировании, изготовлении, испытании и эксплуатации некоторых гидроустройств?
- 8) Рабочие жидкости каких классов применяются для гидроприводов общемашиностроительного назначения?
- 9) Что такое абсолютная тонкость фильтрации?
- 10) Какие существуют методы определения чистоты рабочей жидкости?
- 11) Какие существуют способы очистки рабочей жидкости?
- 12) Какой наиболее распространенный способ очистки рабочей жидкости в гидросистемах?
- 13) Что называется фильтрацией?
- 14) Как классифицируют фильтры?
- 15) Какие существуют типы фильтроэлементов?
- 16) Сформулируйте закон фильтрации.
- 17) Какой формулой выражается закон Дарси?
- 18) Чем характеризуются фильтрационные свойства пористой среды?
- 19) По какой формуле определяется коэффициент фильтрации?
- 20) По какой формуле определяется коэффициент проницаемости?
- 21) Какой единицей измерения характеризуется проницаемость фильтровального слоя?
- 22) Опишите состав и принцип действия опытной установки.
- 23) Каков порядок проведения эксперимента?

Лабораторная работа №10

Определение гидравлической характеристики фильтра

Цель работы: Экспериментально определить гидравлическую характеристику фильтра для очистки рабочей жидкости

10.1. Общие сведения

В процессе эксплуатации гидропривода фильтры обеспечивают необходимую чистоту масла, работая в режимах полнопоточной (рис. 10.1*а-в*) или пропорциональной (рис. 10.1 *г-ж*) фильтрации во всасывающей, напорной или сливной линиях гидросистемы. Фильтры могут оснащаться средствами визуальной или электрической индикации загрязненности, а также перепускным клапаном. Наличие последнего позволяет защитить фильтроэлемент от разрушения, однако часто приводит к опасному заблуждению - уверенности эксплуатационников в чистоте гидросистемы, в то время как фильтр практически не работает. Поскольку фильтр эффективно защищает лишь элемент гидросистемы, установленный непосредственно после него (остальные элементы защищены частично), схемы фильтрации обычно содержат комбинацию фильтров, установленных на разных линиях гидросистемы: всасывающей и напорной (рис. 10.1*з*); всасывающей и сливной (рис. 10.1*и*); напорной и сливной (рис. 10.1*к*); всасывающей, напорной и сливной (рис. 10.1*л*).

При выборе типа фильтра и места его установки следует учитывать, что приёмные (всасывающие) фильтры ухудшают всасывающую способность насосов, поэтому их тонкость фильтрации обычно составляет 80...160 мкм (грубая очистка). Всю гидросистему (за исключением насоса) защищают напорные фильтры, однако они отличаются повышенной материалоемкостью, а следовательно, стоимостью. Сливные фильтры исключают возможность попадания загрязнений (в том числе продуктов износа гидроагрегатов) в бак и во многих случаях являются предпочтительными. Для высоконадёжной защиты наиболее ответственных узлов гидропривода (например, дросселирующих гидрораспределителей) непосредственно перед ними устанавливаются напорные фильтры без перепускного клапана с фильтроэлементом, выдерживающим полный перепад давлений. Рекомендуемая пропускная способность полнопоточных напорных и сливных фильт-

ров не менее 1/3 объёма гидробака в мин, когда через фильтр может проходить дополнительный поток РЖ (из аккумулятора, при работе дифференциального цилиндра и т.п.), пропускная способность должна соответственно увеличиваться. Впрочем, в пределах имеющегося для размещения фильтра рабочего пространства всегда лучше устанавливать фильтр с запасом по пропускной способности и грузоемкости.

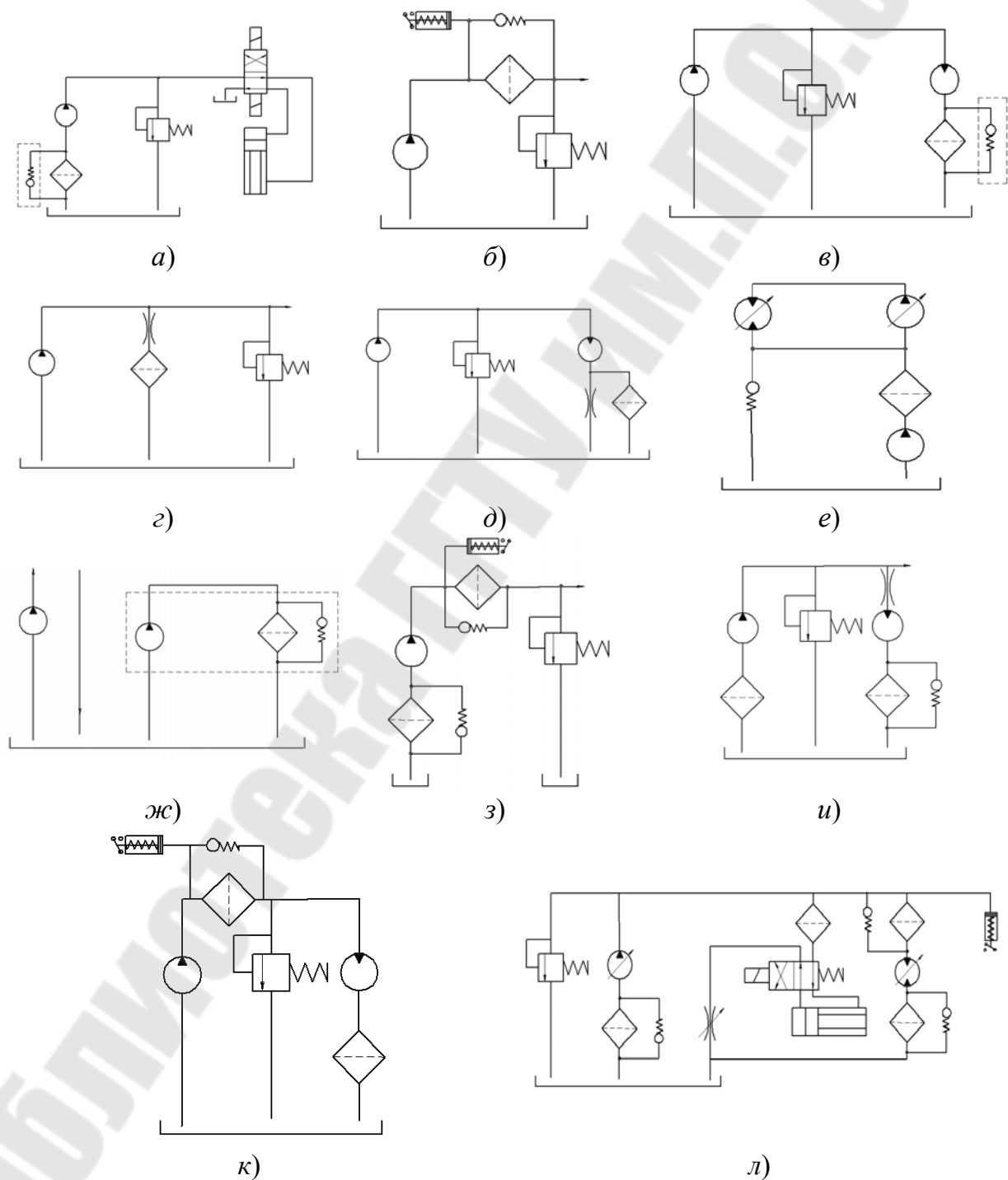


Рис. 10.1. Схемы установки фильтров в гидросистемах

10.2 Описание опытной установки

Испытание проводят на стенде, схема которого приведена на рисунке 10.2, с использованием рабочей жидкости, имеющей вязкость и плотность, указанную в технических характеристиках фильтра.

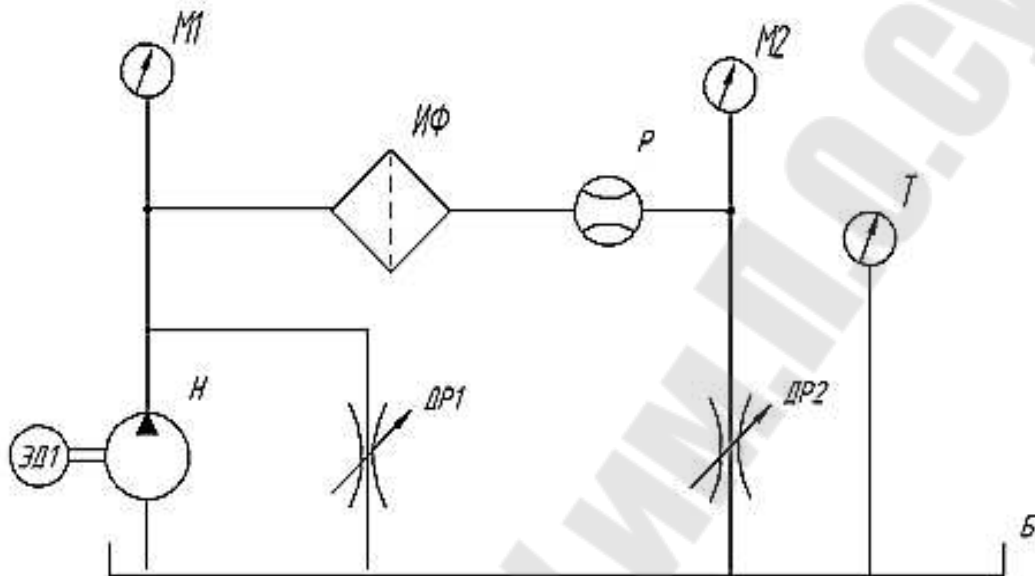


Рис. 10.2. Схема стенда для определения гидравлической характеристики фильтра

10.3. Порядок проведения работы

Последовательность испытания следующая.

В бак заливают рабочую жидкость, удаляют из системы воздух, обеспечивают заданную вязкость и прокачивают через технологический фильтр. После пятикратной очистки рабочей жидкости в системе проводят измерение перепада давлений на корпусе фильтра без испытываемого фильтроэлемента в зависимости от расхода. Увеличивая значение расхода десятью приращениями от 0 до $1,2 \cdot Q_{\text{ном}}$, измеряют перепад давлений. Затем повторяют испытание, уменьшая значение расхода от $1,2 \cdot Q_{\text{ном}}$ до 0, фиксируют среднее значение результатов, полученных при увеличении и уменьшении расхода.

Затем испытываемый фильтроэлемент, прошедший испытания на герметичность, устанавливают в корпус фильтра и аналогичным способом определяют зависимость перепада давлений от расхода для корпуса фильтра с фильтроэлементом.

Перепад давлений на фильтроэлементе определяют как разность перепадов давлений фильтра с фильтроэлементом и корпуса фильтра и представляют графически или таблицей в виде зависимости перепада давлений от расхода жидкости:

$$\Delta p = \Delta p_{\phi 1} - \Delta p_{\text{крс}} = \frac{(\Delta p_{\phi 1} + \Delta p_{\phi 2})}{2} - \frac{(\Delta p_{\text{к1}} + \Delta p_{\text{к2}})}{2}.$$

Таблица 10.1

Результаты измерений и расчётов гидравлической характеристики фильтра

Q	$\Delta p_{\text{к1}}$	$\Delta p_{\text{к2}}$	$\Delta p_{\text{к.ср}}$	$\Delta p_{\phi 1}$	$\Delta p_{\phi 2}$	$\Delta p_{\phi.\text{ср}}$	Δp
...							

По таблице 10.1 находят значение номинального перепада давлений при номинальном расходе, он не должен превышать приведённый в стандартах на данный фильтр.

10.4. Контрольные вопросы

- 1) Что понимают под чистотой рабочей жидкости?
- 2) Что такое абсолютная тонкость фильтрации?
- 3) Какие существуют методы определения чистоты рабочей жидкости?
- 4) Какие существуют способы очистки рабочей жидкости?
- 5) Какой наиболее распространённый способ очистки рабочей жидкости в гидросистемах?
- 6) Что называется фильтрацией?
- 7) Как классифицируют фильтры?
- 8) Какие существуют типы фильтроэлементов?
- 9) Какие параметры относят к основным для фильтров?
- 10) Как обозначаются фильтры на гидросхемах?
- 11) Где возможна установка фильтров в гидросистеме? Какие достоинства и недостатки?
- 12) Фильтрация рабочих жидкостей и её влияние на работу гидросистем?
- 13) Методы фильтрования и типы фильтров?
- 14) Метод определения гидравлической характеристики фильтров?

Лабораторная работа №11

Определения класса чистоты рабочей жидкости

Цель работы: Экспериментально определить класс чистоты рабочей жидкости, ознакомится с методами и приборами для определения класса чистоты рабочей жидкости.

11.1. Общие сведения

При соблюдении требований к чистоте гидросистемы удаётся повысить её надёжность и уменьшить эксплуатационные расходы в среднем на 50%. Повышение тонкости фильтрации рабочей жидкости (РЖ) в гидросистеме с 25 до 5 мкм увеличивает ресурс насосов в 10 раз и гидроаппаратуры в 5-7 раз. Однако очистка обеспечивает наибольший эффект лишь при соблюдении требований по типам применяемых масел, правилам их хранения и транспортирования, качеству очистки и герметизации гидросистем, регламентам их эксплуатации.

Для предварительной оценки степени загрязнённости может применяться метод, при котором на белую бумагу с хорошим влагопоглощением наносится несколько капель масла из работающего гидропривода. При свежем масле образуется светлое жёлтое пятно, а по мере загрязнения цвет пятна становится более темным, причём на бумаге хорошо видны частицы грязи. Содержание воды может оцениваться по результатам кипячения пробы (если мутное масло становится прозрачным, значит, имеется вода и использование масла недопустимо). Для количественной оценки степени загрязнённости в настоящее время существует большое количество приборов, в том числе портативных.

Следует отметить, что чистота гидросистемы прямо связана с её герметичностью, поскольку замена или доливка рабочей жидкости всегда сопровождается внесением дополнительных загрязнений. Установлено, что в состоянии поставки рабочей жидкости имеет класс чистоты не выше 12 по ГОСТ 17216-2001 или 17-16 по ИСО 4406, поэтому в процессе заправки гидросистем рекомендуется использовать специальные агрегаты обслуживания, обеспечивающие тонкую очистку заливаемой рабочей жидкости; возможна также заправка через сливной фильтр или фильтр байпасного контура. В процессе эксплуатации гидросистем периодически проверяют чистоту рабочей жидко-

сти с помощью счётчиков частиц загрязнений. При этом проба берётся обычно из сливной линии перед фильтром во время работы гидросистемы или сразу после её выключения с целью обеспечения необходимого уровня перемешивания жидкости.

Для фильтроэлементов, изготовленных из материалов с неупорядоченной структурой (бумаги, стекловолокна и др.), применяют три оценочных критерия: коэффициент эффективности фильтрования β_x , перепад давлений Δp и грязеёмкость. Коэффициент β_x характеризует отношение числа частиц определённого размера x в пробе рабочей жидкости перед фильтром и после него.

Таблица 11.1

Зависимость уровня очистки от коэффициент эффективности фильтрования

β_x	1	2	5	10	20	75	100	200	1000	5000
Уровень очистки, %	0	50	80	90	95	98,7	99	99,5	99,98	99,99

При $\beta_x = 2$ фильтр задерживает 50% частиц размером x . Такую тонкость фильтрации принято считать номинальной. При $\beta_x \geq 75$ имеем абсолютную тонкость фильтрации.

Перепад давлений Δp характеризует гидравлическое сопротивление фильтра и складывается из сопротивления корпуса и фильтроэлемента. Последняя составляющая (основная) прямо пропорциональна потоку рабочей жидкости и её вязкости и обратно пропорциональна площади фильтрующей поверхности и коэффициенту удельной пропускной способности, характеризующему пористость фильтроматериала. Фильтроэлементы обладают достаточной прочностью, их разрушающее давление всегда выше давления срабатывания перепускного клапана. Специальные исполнения напорных фильтров для сервотехники способны выдерживать $\Delta p = 21$ МПа. Грязеёмкость определяет время работы фильтроэлемента до его очистки или замены.

Требованиями к чистоте рабочей жидкости устанавливается либо тонкость фильтрации, либо класс чистоты. В соответствии с ГОСТ 17216-2001 установлены 19 классов чистоты (табл. 11.2).

По стандарту ИСО 4406 в 1 см^3 пробы рабочей жидкости определяется количество загрязняющих частиц размером свыше 5 и свыше 15 мкм, после чего по табл. 11.2 определяются коды (классификационные числа), которые в виде дроби (в числителе код для частиц более 5 мкм; в знаменателе более 15 мкм) указываются в классе чис-

тоты по ИСО (по новой версии ИСО устанавливаются размерные группы частиц больше или равными 4, больше или равными 6 и больше или равными 14 мкм, а в обозначении класса чистоты последовательно указываются их коды, например, 9/7/5).

Таблица 11.2

Классы чистоты рабочей жидкости по ГОСТ 17216-2001

Класс чистоты	Количество частиц загрязнений в $100 \pm 0,5 \text{ см}^3$ жидкости, не более, при размере частиц, мкм								Масса загрязнений, % не более	Z			
	от 0,5 до 1	св 1 до 2	св 2 до 5	св 5 до 10	св 10 до 25	св 25 до 50	св 50 до 100	св 100 до 200			волокна		
00	800	400	32	8	4	1			АО	Не нормируется	-		
0	1600	800	63	16	8	2			*				
1		1600	125	32	16	3	Отсутствие**						
2			250	63	32	4	1						
3				125	63	8	2						
4				250	125	12	3						
5				500	250	25	4	1					
6				1000	500	50	6	2	1				
7				2000	1000	100	12	4	2				
8				4000	2000	200	25	6	3			0,0001	105
9				8000	4000	400	50	12	4			0,0003	210
10	Не нормируется			16000	8000	800	100	25	5			0,0005	415
11				31500	16000	1600	200	50	10			0,001	830
12				63000	31500	3150	400	100	20			0,002	1645
13					63000	6300	800	200	40			0,004	3275
14					125000	12500	1600	400	80			0,008	6520
15						25000	3150	800	160			0,016	
16						50000	6300	1600	315	0,032			
17							12500	3150	630	0,064			

* АО - абсолютное отсутствие частиц загрязнений.

** При взятии нескольких проб число обнаруженных частиц меньше числа взятия проб.

Примечания:

1) Масса загрязнений для классов 6-12 не является обязательным контрольным параметром.

- 2) Волокнами считаются частицы толщиной не более 30 мкм при отношении длины к толщине не менее 10:1.
- 3) Частицы загрязнений размером более 200 мкм (не считая волокон) в жидкости не допускаются.
- 4) Поскольку приведенные в ГОСТ 17216-2001 соотношения между количествами частиц различных размерных групп в реальной жидкости обычно не соблюдаются, допускается устанавливать классы чистоты 8-14 по индексу загрязненности, который вычисляют по формуле:

$$z=(10 \cdot n_{10}+25 \cdot n_{25}+50 \cdot n_{50}+100 \cdot n_{100}+200 \cdot n_{200}+400 \cdot n_B) \cdot 10^{-3}, \quad (11.1)$$

где n_{10} , n_{25} , n_{50} , n_{100} , n_{200} , и n_B – число частиц и волокон в 100 см жидкости с размером частиц соответственно в интервалах 5...10, 10...25, 25...50, 50...100, 100...200 мкм.

Таблица 11.3

Коды ИСО для обозначения классов чистоты

Код ИСО	Количество частиц в 1 см ³	Код ИСО	Количество частиц в 1 см ³	Код ИСО	Количество частиц в 1 см ³
1	Св. 0,01 до 0,02	10	Св. 5 до 10	19	Св. 2500 до 5000
2	Св. 0,02 до 0,04	11	Св. 10 до 20	20	Св. 5000 до 10000
3	Св. 0,04 до 0,08	12	Св. 20 до 40	21	Св. 10000 до 20000
4	Св. 0,08 до 0,16	13	Св. 40 до 80	22	Св. 20000 до 40000
5	Св. 0,16 до 0,32	14	Св. 80 до 160	23	Св. 40000 до 80000
6	Св. 0,32 до 0,64	15	Св. 160 до 320	24	Св. 80000 до 160000
7	Св. 0,64 до 1,3	16	Св. 320 до 640	25	Св. 160000 до 320000
8	Св. 1,3 до 2,5	17	Св. 640 до 1300	26	Св. 320000 до 640000
9	Св. 2,5 до 5	18	Св. 1300 до 2500	27	Св. 640000 до 1300000

Пример обозначения класса чистоты по ИСО показан в табл.11.4.

Таблица 11.4

Пример обозначения класса чистоты рабочей жидкости

Типовая проба	
Размер частиц x , мкм	Количество частиц размером более x в 1 см ³ пробы рабочей жидкости
2	5120
5	89
10	43
15	21
25	3
50	0,4

При такой характеристике пробы класс чистоты рабочей жидкости по ИСО обозначается 14/12

В таблице 11.5 приведены соотношения между различными системами оценки чистоты рабочей жидкости в гидросистемах.

Таблица 11.5

Соотношения между различными системами оценки чистоты рабочей жидкости в гидросистемах

Код ИСО	Количество частиц не более, в 1 см ³ при размере		Класс чистоты по ГОСТ 17216-2001	ACFTD Gravimetric Level, mg/L	NAS 1638 (1964)	Disavowed "SAE" Level (1963)
	≥5 мкм	≥15 мкм				
26/23	640000	80000		1000		
25/23	320000	80000				
23/20	80000	10000		100		
22/20	40000	10000	17*			
21/19	20000	5000	16*			
21/18	20000	2500			12	
20/18	10000	2500	15*			
20/17	10000	1300			11	
20/16	10000	625		10		
19/16	5000	625	14*		10	
18/16	2500	625	13*			
18/15	2500	312			9	6
17/14	1250	156	12		8	5
16/13	625	78	11	1	7	4

Продолжение таблицы 11.5

15/13	312	78	10			
15/12	312	39			6	3
14/12	156	39	9			
14/11	156	19,5			5	2
13/10	78	9,7	8	0,1	4	1
12/9	39	4,9	7		3	0
11/9	19,5	4,9	6			
11/8	19,5	2,44			2	
10/8	9,7	2,44	5			
10/7	9,7	1,22			1	
10/6	9,7	0,6		0,01		
9/7	4,9	1,22	4			
8/6	2,44	0,6	3			

* Сравнение по количеству частиц более 15 мкм.

Классы чистоты масла для различных узлов гидропривода приведены в таблице 11.6.

Таблица 11.6

Классы чистоты масла для различных узлов гидропривода

Узлы гидропривода	Номинальная тонкость фильтрации, мкм	Класс чистоты по ГОСТ 17216-2001
Насосы шестерённые ($p \leq 2,5$ МПа); насосы пластинчатые нерегулируемые ($p \leq 6,3$ МПа)	40	14...15
Насосы пластинчатые нерегулируемые ($p = 12,5-16$ МПа); насосы пластинчатые регулируемые ($p \leq 6,5$ МПа); гидромашины аксиально-поршневые ($p = 6,3-16$ МПа); гидроцилиндры; направляющая гидроаппаратура ($p \leq 20$ МПа); регулирующая гидроаппаратура ($p \leq 20$ МПа)	25	12...14
Комплектные ЭГШП, дросселирующие гидрораспределители, сервотехника	5...10	10...12
Системы и устройства для гибких автоматизированных производств	5	9...10

Уровень загрязнённости масла в гидросистемах при полноценной фильтрации зависит от характеристик фильтра и давления p ,

развиваемого насосом (табл.11.7). Всасывающие фильтры, работающие в режиме полнопоточной фильтрации, предотвращают попадание в насос сравнительно крупных частиц, а в остальные элементы гидросистемы – более мелких частиц. Поскольку приёмные фильтры ухудшают условия всасывания насосов, перепад давлений на фильтроэлементе не должен превышать 0,018...0,02МПа. Предпочтительно использование приёмных фильтров с указателем загрязнённости.

Для безкавитационной работы насоса необходимо соблюдать условие (11.1):

$$\Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 \pm \gamma \cdot h \cdot 10^{-6} \leq 0,02 \text{ МПа}, \quad (11.2)$$

где Δp_1 – потери давления на прямых участках всасывающей линии, МПа;

Δp_2 – потери давления в местных сопротивлениях, МПа;

Δp_3 – потери давления на фильтре, МПа;

γ – удельный вес рабочей жидкости, Н/м³;

h – высота всасывания, м; знак «+», если насос расположен над баком.

Приёмные сетчатые фильтры монтируются непосредственно на нижнем конце всасывающей трубы насоса (возможна параллельная установка нескольких фильтров). Фильтры рекомендуется выбирать с запасом по пропускной способности, так как их техническое обслуживание затруднено. При очистке фильтроэлементы погружаются в растворитель и загрязнения удаляются металлической щёткой, после чего производится продувка сетки сжатым воздухом. В обозначении фильтра указываются разделённые дефисом условный проход D_y (мм), номинальная тонкость фильтрации (мкм), а в исполнении фильтра с перепускным клапаном – дополнительно цифра 2 (например 10-160-2 ТУ РБ 1045.67-2006).

Таблица 11.7

Достижимые классы чистоты масла по ГОСТ 17216-2001 в гидросистемах

p , МПа	Номинальная тонкость фильтрации, мкм				p , МПа	Номинальная тонкость фильтрации, мкм			
	40	25	10	5		40	25	10	5
0,25	11	11	10	9	4	15	14	13	12
0,63	13	12	11	10	10	16	15	14	13
1,6	14	13	12	11	16	17	16	15	14

В таблице 11.8 приведены рекомендуемые фирмой Vickers, классы чистоты рабочей жидкости.

Для немасляных РЖ коды уменьшаются на 1 (например, если код для масла 17/15/13, то для водно-гликолевой смеси должно быть 16/14/12). Коды уменьшаются еще на 1, если имеют место хотя бы два условия из нижеперечисленных:

- частый запуск при температуре ниже -18°C ;
- имеются случаи работы при температуре выше $+70^{\circ}\text{C}$;
- повышенные вибрации и пульсирующая нагрузка;
- отказ гидропривода приводит к большим потерям из-за простоя оборудования;
- возможность опасности для оператора при повреждении гидропривода.

Таблица 11.8

Рекомендуемые классы чистоты рабочей жидкости фирмой Vickers

Узлы гидропривода	Классы чистоты при рабочем давлении, МПа		
	14	до 21	св. 21
Насосы шестерённые и пластинчатые нерегулируемые	20/18/15	19/17/15	
Насосы поршневые нерегулируемые	19/17/15	18/16/14	17/15/13
Насосы регулируемые	18/16/14	17/15/13	16/14/12
Распределители с электроуправлением		20/18/15	19/17/14
Регулирующие аппараты		19/17/14	19/17/14
Встраиваемая аппаратура		18/16/13	17/15/12
Пропорциональная аппаратура		17/15/12	16/14/11
Сервоаппаратура		16/14/11	15/13/10
Гидроцилиндры	20/18/15	20/18/15	20/18/15
Гидромоторы	20/18/15	19/17/14	18/16/13
Гидростатические передачи	17/15/13	16/14/12	16/14/11

После определения класса чистоты определяют код тонкости фильтрации и место установки фильтра в соответствии с рекомендациями таблице 11.9.

Таблица 11.9

Выбор кода тонкости фильтрации и места установки фильтра в зависимости от требуемого класса чистоты (по данным Vickers)

Класс чистоты	Код тонкости фильтрации при месте установки*					
	<i>P</i> или <i>T</i>	<i>P</i> или <i>T</i>	<i>P</i> и <i>R</i> (20%)	<i>P, T</i> и <i>R</i>	<i>R</i> (20%)	<i>R</i> (10%)
14/12/10		03	03	03		

Продолжение таблицы 11.9

15/13/11		03	03	05		
16/14/12	03	05	05	05	03	
17/15/13	03	05	05	05 или 10	03	03
18/16/14	05	10	05 или 10	10	05	03
19/17/15	05 или 10	10	10	10	05 или 10	05
20/18/15	10					
21/19/16					10	

* *P* — напорная линия; *T* - сливная линия; *R* - рециркуляционный контур (пропорциональная фильтрация) или контур с дополнительным насосом и фильтром; в скобках указывается поток через контур в процентах от подачи насоса.

Для всех систем необходим герметичный резервуар с сапуном (тонкость фильтрации 3 мкм). Заливаемая в систему РЖ должна быть отфильтрована фильтром с кодом 05. Место установки (*P* и *T*) рекомендуется для систем с высокими нагрузками и нерегулируемым насосом; *P* и *R* (20 %) - для систем с регулируемыми насосами; *P*, *T* и *R* - для систем с высокими нагрузками и регулируемым насосом.

11.2. Описание опытной установки

Для определения класса чистоты рабочей жидкости используется прибор ПКЖ-902

Прибор выполнен переносным (рис. 11.1) и состоит из следующих основных частей: шасси 1, передней и задней рамки 2, передней и задней панелей 3, 4. На задней панели размещены радиаторы 5, с транзисторами 6, а также силовой шнур 7, контрольный разъем 8, держатель предохранителя 9, клеммы заземления 10.

На шасси расположены: оптический датчик 11, силовой трансформатор 12, высоковольтный стабилизатор 13. В кронштейнах 14 установлены платы индикации 15, управления 16, усилителя 17, питания 18.

На передней панели расположены цифровое табло 19 для индикации результатов измерения, лампа 20 "Измерение", кнопки "ПУСК" 21, "СТОП" 22, тумблер "СЕТЬ" 23. Сверху прибор закрывается кожухом 24, на котором имеется ручка для переноски 25. К датчику 11 подстыковывается воронка 26 для заливки и подготовки пробы жидкости к анализу. На воронке имеется штуцер 27 для подвода жидкости и воздуха. Воронка имеет верхнюю и нижнюю риски, между которыми заключено 100 см³ её внутреннего объёма.

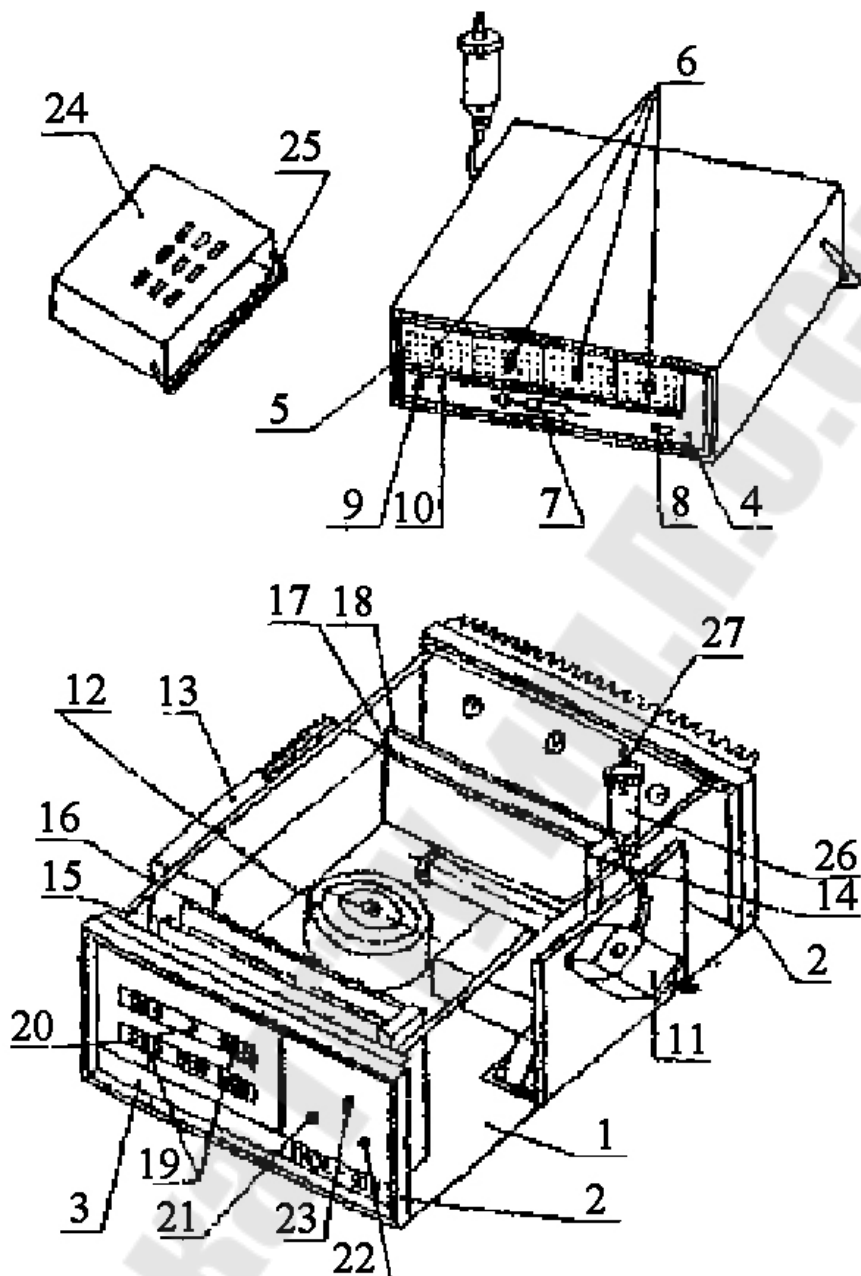


Рис. 11.1. Прибор для контроля чистоты рабочей жидкости ПКЖ-902

Датчик имеет следующие основные элементы (рис. 11.2). На одной геометрической оси расположены приёмный канал 5, конусное сопло 8, объектив 3, а также установленные под 45° к оси зеркало 9 и перпендикулярно к оси фотоэлектронный умножитель 10, и диафрагма 11. Оптическая ось осветителя 1 расположена перпендикулярно оси сопла, причём фокальная часть луча расположена в приёмном канале непосредственно у выхода сопла. Источником света служит лампа 2, свет которой проходит через два объектива 3 и расположенную между ними диафрагму 4.

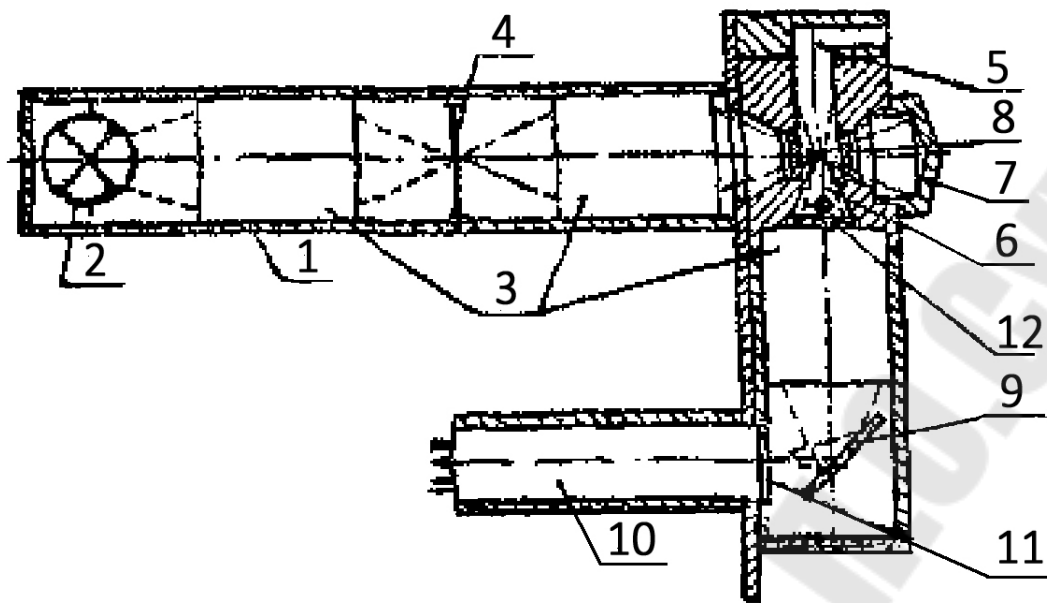


Рис. 11.2. Принцип работы датчика прибора ПКЖ-902

В приёмный канал свет входит через окна 6 и выходит в светоловушку 7. Окно 12 служит для пропускания импульсов света от частиц загрязнений через объектив и далее на зеркало и на фотоэлектронный умножитель.

Принцип работы. Работа прибора основана на регистрации светочувствительным элементом (ФЭУ) света, отражённого отдельными частицами загрязнений (инородных частиц), находящихся в потоке контролируемой жидкости. Использование зависимости интенсивности отражённого света от размеров частиц позволяет производить анализ частиц по размерам.

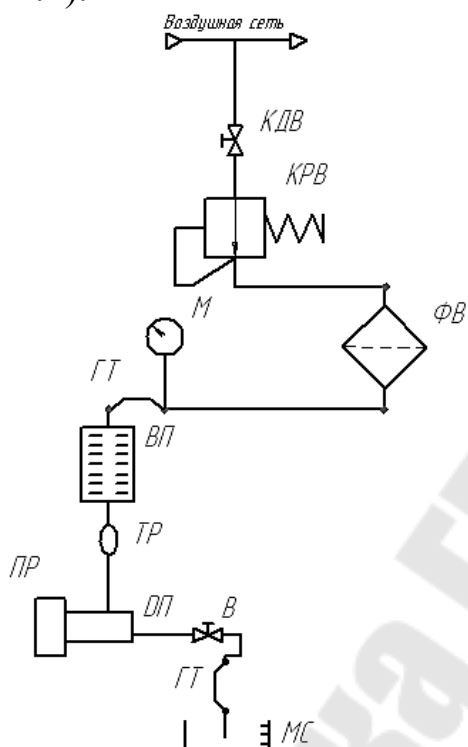
Контролируемая жидкость подаётся (рис. 11.2) через подводящий канал в сопло 8, на выходе из которого в приёмном канале 5 формируется затопленная струя, пересекающая луч света в его фокальной части. Диаметр сопла выбирается таким, чтобы диаметр струи жидкости в месте пересечения с лучом света был равным или несколько меньшим диаметра луча, что позволяет контролировать всю жидкость, проходящую через датчик. Объём, образованный указанным пересечением, является чувствительным объёмом, который находится в поле зрения ФЭУ.

Инородные частицы, находящиеся в жидкости, проходя вместе с потоком через чувствительный объём, дают импульсы отражённого света, которые регистрируются ФЭУ. Длительность импульсов равна времени прохождения частицы через чувствительный объём, а амплитуда определяется размерами частиц.

Электрические импульсы с выхода ФЭУ усиливаются и анализируются по амплитуде платой усилителя, с которой они в виде кода поступают на плату управления. В соответствии с кодом селектор на плате управления подаёт импульсы на входы той или иной группы десятичных счётчиков на плате индикации.

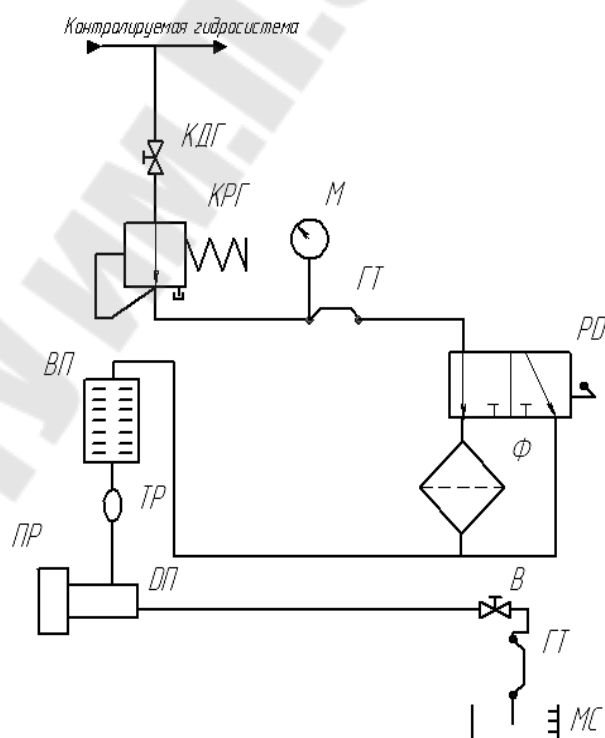
Питание прибора осуществляется от платы питания. Высокое напряжение для питания ФЭУ получается в высоковольтном стабилизаторе путём преобразования постоянного напряжения в переменное с последующим выпрямлением.

Использование прибора производится по двум схемам (рис. 11.3 и 11.4).



КДВ – кран двухходовой воздушный; КРВ – клапан редукционный воздушный; М – манометр; ВП – воронка прибора; ФВ – фильтр воздушный; ПР – прибор ПКЖ-902; ТР – трубопровод с расширением; В – кран прибора; ГТ – гибкий трубопровод; МС – мерный сосуд.

Рис. 11.3. Схема включения прибора для оценки отдельной пробы жидкости



КРГ – клапан редукционный гидравлический; М – манометр; ВП – воронка прибора; Ф – фильтр гидравлический; КДГ – кран двухходовой гидравлический; ПР – прибор ПКЖ-902; ТР – трубопровод с расширением; ГТ – гибкий трубопровод; МС – мерный сосуд; В – кран прибора; РД – распределитель двухпозиционный.

Рис. 11.4. Схема включения прибора в гидросистему

11.3. Порядок проведения работы

11.3.1. Подготовка прибора к работе

Предусмотрены два возможных случая контроля чистоты жидкости.

В первом случае прибор должен быть установлен на столе в чистом помещении (лаборатории) или пылезащитном блоке. Контроль запылённости атмосферы, в которой используется прибор, должен производиться прибором контроля запылённости воздуха типа ПКЗВ-905 или другими средствами измерения запылённости, обеспечивающими им меньшую чувствительность. При этом чистота воздуха должна соответствовать 1 классу чистоты помещений по стандарту. Аналогичному контролю необходимо подвергать, воздух, используемый для выдавливания проб жидкости из воронки прибора.

Перед контролем каждой пробы гидравлический тракт прибора (от входного штуцера воронки до выходного штуцера крана) тщательно промыть чистой жидкостью (например, керосином) до получения установившихся идентичных показаний, отличающихся одно от другого (по сумме всех диапазонов) не более чем на 30 %. Очистку жидкости производить в малогабаритной центробежной установке типа УМЦ-901А или другими средствами, обеспечивающими не меньшую тонкость и производительность очистки.

Для Контроля чистоты жидкости 3, 4, 5-го и других классов чистоты по ГОСТ 17216-2001 чистота промывочной жидкости должна соответствовать уровню не более 100 частиц по сумме все диапазонов в 100 см³ жидкости.

11.3.2. Подготовка прибора к работе при контроле отдельных проб жидкости

- 1) Тумблер "Сеть" включить.
- 2) Клемму заземления на задней стенке соединить с общим контуром заземления.
- 3) Подсоединить шнур питания к сети с напряжением 220 В, 50 Гц.
- 4) Поставить тумблер в положение "Вкл."

При этом должны засветиться индикаторные лампы на табло, причём допускается отсутствие свечения отдельных ламп и сегмен-

тов. Время самопрогрева прибора 30 мин, в том числе последние пять минут при нажатой кнопке "Пуск".

5) Соединить кран датчика с ёмкостью для слива жидкости.
6) Промыть гидравлический тракт прибора.
7) Подсоединить к штуцеру воронки шланг от воздушной сети через систему подготовки воздуха (см. рис. 11.3).

8) Отвернуть накидную гайку и снять крышку воронки.

9) Залить в воронку чистую промывочную жидкость до верхней кольцевой отметки.

10) Закрыть крышку воронки, завернув накидную гайку.

11) Редуктором КРВ (см. рис. 11.3) установить минимальное давление воздуха.

12) Открыть краны КДВ и В. Увеличивая давление воздуха в воронке, редуктором КДВ произвести выдавливание жидкости из воронки через датчик на слив до тех пор, пока свободная поверхность жидкости не достигнет нижней кольцевой отметки. Закрыть краны В и КДВ.

13) Повторяя п. 12 и отмечая с помощью секундомера время прохождения свободной поверхностью жидкости расстояния от верхней до нижней отметки (между которыми объем 100 см³), редуктором КРВ установить расход жидкости 0,3... 0,4 л/мин. Записать фактическое значение расхода.

14) Выполнить п. 8 и 9.

15) Сделать выдержку не менее одной минуты для удаления из жидкости газовых пузырей.

16) Нажать кнопку "Пуск". Должна загореться лампочка "Измерение", а на цифровом табло засветятся нули.

17) Открыть краны В и КДВ.

18) При достижении свободной поверхностью жидкости нижней отметки нажать кнопку "Стоп", закрыть кран В, не допуская, чтобы свободная поверхность жидкости ушла за пределы видимости. Записать показания табло. Перед контролем каждой пробы промывочной или контролируемой жидкости при необходимости доливать промывочную жидкость до уровня нижней отметки,

19) Повторить пп. 8, 9, 15, 18 до получения установившихся идентичных показаний табло (отличие двух смежных замеров по суммам показаний всех диапазонов не более 30%). Допускается промывку гидравлического тракта прибора производить контролируемой жидкостью до получения установившихся идентичных показаний

прибора (отличие результатов замеров не более 30%; в каждом замере брать сумму показаний всех диапазонов табло).

Для контролируемых и промывочных жидкостей вязкостью менее $5 \text{ мм}^2/\text{с}$ допускается выполнять промывку и контроль при истечении жидкости самотёком вместо выдавливания воздухом. В этом случае величина расхода не регламентируется.

В случае присутствия в чувствительной зоне датчика газовых пузырей, которые видны через наружное окно датчика при нажатой кнопке "Пуск", к вывернутой заглушке подсоединить прибор к воздушной сети (см. рис. 11.3), с помощью редуктора КРВ довести расход жидкости до максимального значения, не превышая давления 0,2 МПа. Произвести прокачку с указанным расходом до удаления пузырей.

11.3.3. Подготовка прибора к работе при контроле чистоты жидкости в потоке

- 1) Выполнить операции 1-4.
- 2) Собрать схему по рис. 11.4.
- 3) Соединить кран В с ёмкостью для слива жидкости (например, с баком контролируемой гидросистемы).
- 4) Установить редуктор КРГ на минимальное давление.
- 5) Включить насос гидросистемы.
- 6) Открыть краны КРГ и В. Промывка гидравлического тракта прибора не менее 30 мин.
- 7) С помощью редуктора КРГ, мерной ёмкости МС и секундомера установить расход жидкости через прибор 0,3...0,4 л/мин.

Записать фактическое значение расхода для вычисления концентрации загрязнений в 100 см^3 жидкости. В случае если в контролируемой гидросистеме вместе с жидкостью поступают в прибор газовые пузыри, которые регистрируются прибором, необходимо использовать установку дегазации жидкости. Установка дегазации включается в систему последовательно перед входом в воронку.

11.4. Обработка опытных данных

11.4.1. Порядок работы при контроле отдельных проб жидкости

- 1) Открыть крышку воронки.
- 2) Залить пробу контролируемой жидкости до уровня верхней отметки.

- 3) Произвести операции по пп. 15-18.
- 4) Дать заключение о чистоте жидкости в соответствии с ГОСТ 17216-2001.

11.4.2. Порядок работы при контроле чистоты жидкости в потоке

- 1) Одновременно нажать кнопку "Пуск" и включить секундомер.
- 2) По истечении 5 мин нажать кнопку "Стоп". Записать показания табло.
- 3) Дать заключение о чистоте жидкости в соответствии с технологией. Допускается уменьшать время замера до одной минуты по усмотрению преподавателя, но следует иметь в виду, что увеличение времени замера повышает точность измерения.

Результаты измерений расхода и определение количества частиц занести в табл. 11.10.

Таблица 11.10

Результаты измерений и расчёта количества частиц

№ опыта	Расход Q , см ³ /с	Время t , с	Количество частиц загрязнителя жидкости при размере частиц на 100 см ³ , мкм								Индекс загрязнённости	Класс чистоты
			От 0,5 до 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 5	Св. 5 до 10	Св. 10 до 25	Св. 25 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 200		
Количество частиц до фильтра n_1												
1												
2												
3												
Количество частиц после фильтра n_2												
1												
2												
3												
Уровень очистки фильтра $\beta_x = \frac{n_1}{n_2}, \%$												

Согласно данным опыта из табл. 11.10 привести количество частиц загрязнителя жидкости к 100 см³ согласно ГОСТ 17216-2001 (табл. 11.2) и

определить класс чистоты жидкости при работе без фильтра и с фильтром. Затем определить индекс загрязнённости по формуле (11.1) и результат занести в табл. 11.10. Определить уровень очистки фильтра по каждому размеру частиц и результат занести в табл. 11.10.

11.5. Контрольные вопросы

- 1) Что понимают под чистотой рабочей жидкости?
- 2) Что является критерием допустимого количества загрязнений в рабочих жидкостях?
- 3) Сколько существует классов чистоты рабочей жидкости?
- 4) Чему равны рекомендуемые значения классов чистоты рабочей жидкости, назначаемые при проектировании, изготовлении, испытании и эксплуатации некоторых гидроустройств?
- 5) Рабочие жидкости каких классов применяются для гидроприводов общемашиностроительного назначения?
- 6) Что такое абсолютная тонкость фильтрации?
- 7) Как предварительно определяется степень загрязнённости рабочей жидкости?
- 8) Как связана чистота гидросистемы с ее герметичностью?
- 9) Какие критерии оценивают фильтрующую способность фильтроэлементов?
- 10) Как определяется коэффициент фильтрации?
- 11) Как определяется индекс загрязнённости?
- 12) Как выбираются код тонкости фильтрации и место установки фильтра (по данным Vickers)?
- 13) Опишите состав и принцип действия опытной установки.
- 14) Какие существуют схемы включения прибора для контроля чистоты рабочей жидкости?
- 15) Каков порядок проведения эксперимента?

Лабораторная работа №12

Уплотнительные соединения устройств и элементов гидросистем

Цель работы: изучить различные виды уплотнений подвижных и не подвижных соединений устройств и элементов гидросистем

12.1.Классификация уплотнений

В современных машинах, аппаратах и приборах нашли широкое применение пневматические, гидравлические и вакуумные системы, функционирование которых связано с надежной герметизацией полостей с различной средой или давлением.

В качестве герметизирующих элементов используют различного рода уплотнители из металла, пластмассы, кожи, резины и других материалов. Резина, обладающая такими необходимыми для уплотнителей свойствами, как эластичность, долговечность, коррозионностойкость, простота в изготовлении и экономичность, занимает одно из первых мест в качестве конструкционного материала.

Резиновые уплотнители прочно вошли в конструкции современных самолетов, судов, автомобилей и тракторов, насосов и трубопроводной арматуры, контрольно-измерительных приборов и т. д.

От резиновых уплотнителей требуют сохранения работоспособности в контакте с различными средами (от инертных газов до высококонцентрированных кислот, с хладагентами и теплоносителями, с маслами и топливами) в диапазоне температур от минус 60 до плюс 300 °С, при давлениях от тысяч атмосфер до глубокого разрежения, при фрикционном, ударном и вибрационном воздействиях. Резиновые уплотнители не должны вызывать коррозию контактирующих с ними материалов, не выделять вредные для человека вещества.

Подобный набор требований не может быть обеспечен одним материалом и одной универсальной конструкцией уплотнителя. Поэтому существует большой ассортимент каучуков и ингредиентов [1], используемых резиновой промышленностью для производства уплотнителей, и еще большая номенклатура типов и размеров уплотнительных деталей и сборочных единиц, выпускаемых заводами РТИ.

Существует нескольких существенных признаков, по которым классифицируют уплотнители: функциональное назначение, конструкция, материал, род уплотняемой среды, способ изготовления и др.

По функциональному назначению уплотнители могут быть разделены на ряд классов.

- 1) Уплотнители неподвижных соединений, работающие при осевом и радиальном сжатиях и при радиальном растяжении.
- 2) Уплотнители подвижных соединений с возвратно-поступательным, вращательным, вращательно-колебательным и винтовым движением.
- 3) Уплотнители периодического действия.

Классифицируя уплотнители по конструктивному признаку, из всего многообразия можно выделить следующие основные типы:

- 1) Кольцевые прокладки прямоугольного и квадратного, круглого и овального, трапецеидального и Т-образного, Х-образного, П-образного и других сечений,
- 2) Прокладки различного сечения со сложной формой периметра: прямоугольной, овальной, трапецеидальной, треугольной и т. п.
- 3) Манжеты V-образного профиля.
- 4) Шевронные уплотнители.
- 5) Манжеты с металлической арматурой (сальники)
- 6) Резинометаллические клапаны.
- 7) Мембраны.
- 8) Трубочатые уплотнители.
- 9) Пластины, диски и пр.



По роду герметизируемой среды уплотнители можно разделить на следующие виды:

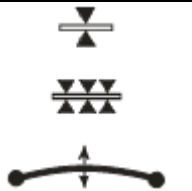



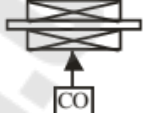
- 1) Уплотнители газообразных сред.
- 2) Уплотнители жидких сред.
- 3) Уплотнители вакуума.

Обычно на первом этапе конструирования невозможно выбрать конкретный вид уплотнения, можно лишь наметить систему уплотнений агрегата, пользуясь условными обозначениями (табл. 12.1) и выявить функциональное назначение каждого уплотнения.

Таблица 12.1

Условные графические обозначения уплотнений

Тип	Группа	Класс	
		контактные	бесконтактные
УН	Кольца		
	Прокладки		
	Диафрагмы		

УПС	Одноступенчатые и многоступенчатые (три ступени) УПС и УВ Диафрагмы		
УВ			
УК	Уплотнительный комплекс с системой обеспечения		

12.2. Конструкции уплотнений

В современном машиностроении используются различные группы уплотнений, которые по конструктивным признакам, в частности, структуре герметичного соединения можно разделить на три группы: контактные, бесконтактные и разделительные (рис. 12.1).

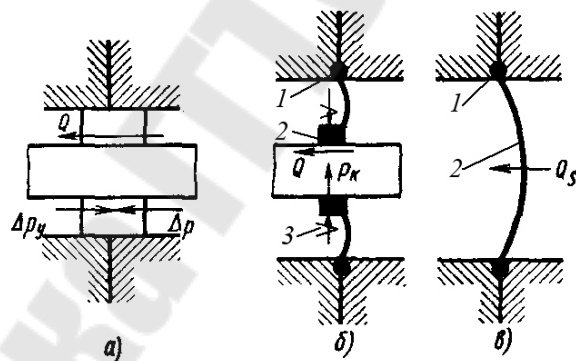


Рис. 12.1. Принципиальные схемы уплотнений различных классов:
а) бесконтактные; б) контактные; в) разделительные

Контактные уплотнения (манжетные, уплотнения кольцами, сальниковые и др.) имеют наиболее высокую надёжность герметизации, ограниченную долговечность и значительные потери энергии на преодоление сил трения при движении. Контактные уплотнения при высоких давлениях изнашиваются и требуется периодическая их замена. При этом также изнашиваются сопряжённые с ними детали: валы, штоки и цилиндры. Несмотря на отмеченные недостатки, контактные уплотнения часто являются незаменимыми там, где утечки жидкости не допускаются или должны быть очень малыми.

В структурную схему контактных уплотнений (рис. 12.1, б) входят четыре элемента. Неподвижный элемент 1 обеспечивает герметичность закрепления всех элементов уплотнения на одной из сопрягаемых деталей путём сварки, пайки, склеивания или другими методами. Элемент 1 контактирует со второй сопрягаемой деталью и в сочетании с упругим элементом 3, создающим напряжения сжатия в контакте, обеспечивает герметичность последнего в состоянии покоя и при перемещениях детали в плоскости контактирования. Непроницаемый для сред эластичный элемент 2 герметично прикреплён к контактному элементу и служит для сохранения герметичности при перемещениях деталей по нормали к сопрягаемым поверхностям.

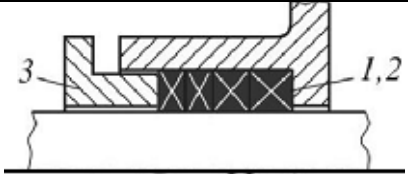
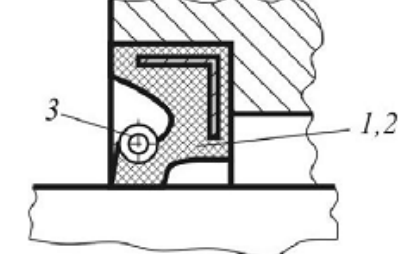
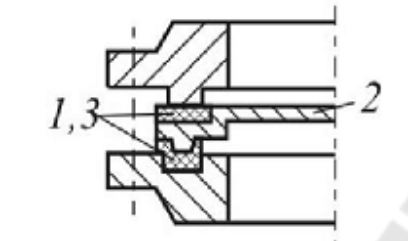
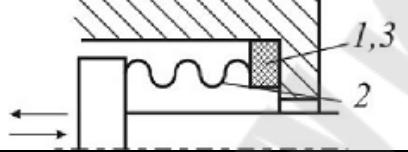


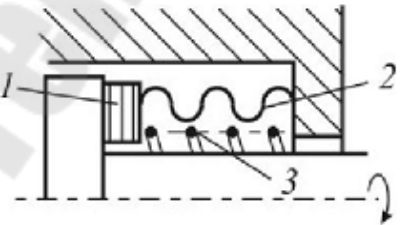
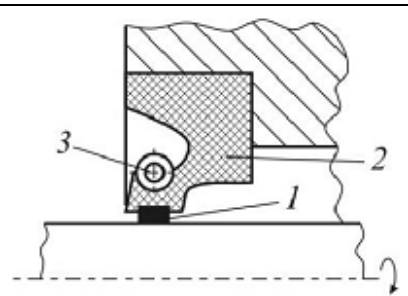
Элемент 1 обязательно входит во все уплотнения и поэтому может быть исключен из рассмотрения. Конструкции, содержащие три оставшихся элемента, образуют группу *совершенных уплотнений*. Отсутствие в схеме какого-либо элемента переводит её в группу *несовершенных*. Разновидности контактных уплотнений образуются путём всевозможных сочетаний элементов структурной схемы (табл. 12.2).

Таблица 12.2

Контактные уплотнения

Группа, подгруппа	Структурная схема	Примеры уплотнений	Характеристика
Совершенные			
А	1 2 3		Герметизатор в виде круглого резинового кольца
			Герметизатор в виде поло-го тороидального элемента
Б	1 2 3		Пластичная набивка с упругим сердечником

Продолжение таблицы 12.2

Б			Сальниковое уплотнение
			Манжетное уплотнение с браслетной пружиной и (или) армированной манжетой
В	1 3 2		Предохранительная мембрана, закрепленная с помощью упругих прокладок
			Металлический сальфон, закрепленный на корпусе с помощью прокладки
Г	1 2 3		Сальфон с антифрикционным кольцом
			Резиновая манжета с пластмассовым кольцом
Д	1 2 3		Сальфон с антифрикционным кольцом и торцевой пружиной
			Манжета с антифрикционным кольцом и браслетной пружиной

Несовершенные			
Е	2 3		Упругие прокладки
Ж	2 3		Прокладки с упругим поджимом
			Резьбовое соединение труб с полимерным покрытием на резьбе
З	1 3		Поршневое кольцо
			T-образный резиновый герметизатор с защитными кольцами
И	1 3		Сегментальное кольцо с браслетной пружиной
			Подпружиненные конические кольца

В **бесконтактных уплотнениях** (центробежных, винтоканавочных, щелевых и др.) жидкость запирается без непосредственного контакта уплотняющих элементов с перемещающимися деталями.

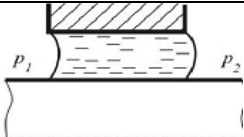
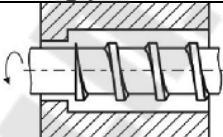
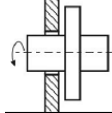
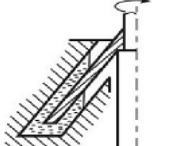
Основным признаком бесконтактных уплотнений является гарантированный зазор между сопряжёнными деталями. Конструкции бесконтактных уплотнений позволяют реализовать в зазорах физические процессы, которые препятствуют утечке сред. По признакам этих процессов выделяют вязкостные, массовые и вихревые уплотнения. В *вязкостных уплотнениях* сопротивление движению сред созда-

ётся силами трения. Принцип действия *массовых уплотнений* состоит в создании противодействия путём использования массы сред или развивающихся в них инерционных сил. *Вихревые уплотнения* генерируют вихри, препятствующие истечению герметизируемых сред.

Основные конструкции бесконтактных уплотнений представлены в табл. 12.3.

Таблица 12.3

Бесконтактные уплотнения

Под-класс	Пассивные		Активные	
	Примеры конструкций	Уплотнение	Примеры конструкций	Уплотнение
Вязкостные		Капиллярные		Винтовое
		С плавающим кольцом		Индукционное
		Многощелевое		Магнито-жидкостное
		Гидрозатвор прямого типа		Дисковое
				Центробежное
				Лопастное
Массовые		Гидрозатвор обратного типа		Конический гидрозатвор
		Лабиринтные		Лабиринтно-винтовое
Вихревые		Эжекторные		Дисковые с полимерной жидкостью

Разделительные уплотнения, структурная схема которых приведена на рис. 12.1, *1*, состоят из непроницаемого для герметизируемых сред тонкостенного элемента - диафрагмы, которая соединена с сопрягаемыми деталями таким образом, что отделяет герметизируемый объем от окружающей среды. Элемент *1* обеспечивает неразъемное герметичное закрепление диафрагмы *2* на сопрягаемой детали, например, путём сварки, пайки, склеивания. Принципиальным отличием разделительных уплотнений от контактных является отсутствие контактного и упругого *3* элементов. В конструкциях, разделительных уплотнений реализуется метод герметизации путём формирования неразъемных соединений, и они, обеспечивают более высокую степень герметичности по сравнению с другими типами уплотнения.

Диафрагмы обычно имеют вид плоских или выпукло-вогнутых мембран, сильфонов и оболочек различных конфигураций и объёма. *Мембраны* чаще всего выполняют из металлов, графита, стекла и пластмасс, свойствами которых определяются конструктивные особенности и технология закрепления мембран на сопрягаемых деталях. *Сильфон* - тонкостенный цилиндрический стакан с поперечно гофрированной боковой поверхностью, деформация которой обеспечивает удлинение или сжатие стакана вдоль оси подобно пружине под действием внешней нагрузки. *Оболочки* обычно применяют в конструкциях, в которых сопряжённые поверхности перемещающихся деталей имеют значительные размеры.

12.3.Порядок проведения работы

- 1) Изучить по схемам или узлам различные типы уплотнений.
- 2) Описать назначение, преимущества, недостатки, область применения уплотнений.
- 3) Сделать эскиз изучаемого вида уплотнения (выдается преподавателем на занятии).

12.4. Контрольные вопросы

- 1) Что такое герметизация?
- 2) Что такое герметичность?
- 3) Что такое уплотнительное устройство (уплотнение)?
- 4) Что такое герметизатор?
- 5) Что такое герметология?

- 6) Какие существуют методы герметизации?
- 7) Какие уплотнители наиболее часто применяются в гидро- и пневмосистемах общего машиностроения?
- 8) Назовите конкретные устройства, в которых применяются уплотнения?
- 9) Какие требования предъявляются к резиновым уплотнителям?
- 10) По каким признакам классифицируют уплотнители?
- 11) На какие виды делят уплотнители по функциональному назначению?
- 12) На какие виды делят уплотнители по конструктивному признаку?
- 13) На какие виды делят уплотнители по роду герметизируемой среды?
- 14) Изобразите условные графические обозначения уплотнений.
- 15) Изобразите принципиальные схемы уплотнений: контактных, бесконтактных, разделительных?
- 16) Охарактеризуйте контактные уплотнения, опишите их достоинства и недостатки.
- 17) На какие группы делятся контактные уплотнения?
- 18) На сколько подгрупп делятся контактные уплотнения?
- 19) Приведите пример контактных совершенных уплотнений различных подгрупп: изобразите конструктивную схему, из каких элементов состоит это уплотнение, где может применяться и т.п.
- 20) Приведите пример контактных несовершенных уплотнений различных подгрупп: изобразите конструктивную схему, из каких элементов состоит это уплотнение, где может применяться и т.п.
- 21) Охарактеризуйте бесконтактные уплотнения, опишите их достоинства и недостатки.
- 22) На какие подклассы делятся бесконтактные уплотнения?
- 23) Приведите пример бесконтактных уплотнений различных подклассов: изобразите конструктивную схему, из каких элементов состоит это уплотнение, где может применяться и т.п.
- 24) Охарактеризуйте разделительные уплотнения, опишите их достоинства и недостатки.
- 25) Какой метод герметизации реализуется в разделительных уплотнениях?
- 26) Какие существуют виды разделительных уплотнений?

Список литературы

- 1) Машиностроительный гидропривод /Под ред. В.Н.Прокофьева. - М. Машиностроение, 1978. – 450 с.
- 2) Кондаков Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем. – М., Машиностроение, 1982. – 216 с.
- 3) Нефтепродукты. Масла. Смазки. Присадки. – М., Издательство стандартов, 1977. - 503 с.
- 4) Каплан С.З., Радзвенчук И.Ф. Вязкостные присадки и загущенные масла. –Л., Химия, 1982. – 136 с.
- 5) Розенгарт М.И. Техника лабораторной перегонки и ректификации. М.: Госхимиздат, 1951
- 6) Справочник по триботехнике: В 3 т. Т. 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения/ Под общ. Ред. М.Хебды, А.В.Чичинадзе, -М. Машиностроение, 1990. – 416 с.
- 7) Папок К.К., Рогозин Н.А. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям. –М.:Химия,1975. – 392с.
- 8) Пучков Н.Г. Товарные нефтепродукты, их свойства и применение: Справочник. – М.: Химия, 1971.
- 9) Резников М.Е. Топливо и смазочные материалы для летательных аппаратов – М.: Воениздат, 1973. – 232 с.
- 10) Коновалов В.М., Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков. –М., Машиностроение, 1976. – 288 с.
- 11) Виппер А.Б., Виленкин А.В., Гайснер Д.А. Зарубежные масла и присадки. – М., Химия, 1981. – 192 с.
- 12) Учебный курс по гидравлике: В 4 т. Т. 3: Проектирование и сооружение гидроустановок. – Гамбург, ФРГ, МаннесманнРексрот, 1988. – 376 с.
- 13) Б.В. Белянин, В.Н. Эрих, В.Г. Корсаков. Технический анализ нефтепродуктов и газа. – Л.: Химия, 1986. – 183 с.
- 14) И.Л. Гуревич. Технология переработки нефти и газа. Часть 1. – М.: Химия, 1972. – 359 с.
- 15) П.Г. Баннов. Процессы переработки нефти. – М.: ЦНИИ-ТЭнефтехим, 2000. – 224 с.
- 16) Уплотненияиуплотнительнаятехника: Справочник/Л. А. Кондаков, А. И. Голубев, В. В. Гордеев и др.; Подобщ. ред. А. И. Голубева. Л. А. Кондакова. - 2-еизд., перераб. идоп. - М.: Машиностроение, 1994.- 448 с.: ил.

- 17) Майер Э. Торцовые уплотнения: Пер. с нем. - М.: Машиностроение, 1978. - 288 с., ил.
- 18) Скаскевич, А.А. Основы герметологии: тексты лекций / А.А. Скаскевич, В.А. Струк. – Гродно: ГрГУ, 2010. – 140 с.
- 19) Веренич И.А. Чистота рабочих жидкостей и масел/лабораторные работы / И.А. Веренич. – Минск: БНТУ, 2006. – 15 с.
- 20) Веренич И.А. Гидросистемы транспортных и технологических машин: лабораторные работы / И.А. Веренич. – Минск: БНТУ, 2002. – 49 с.
- 21) ГОСТ 17216-71 «Промышленная чистота. Классы чистоты жидкостей».
- 22) ГОСТ 17216-2001 Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей. [Текст]. Введ. 2003-01-01. – Минск: ИПК «Изд-во стандартов», 2002.
- 23) РТМ 2 ГОО-б-84 «Промышленная чистота. Требования к чистоте рабочих жидкостей объемных гидроприводов».
- 24) ГОСТ 14066-68 «Фильтры объемных гидроприводов и смазочных систем. Ряды основных параметров».
- 25) ГОСТ 25371-97 «Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости»
- 26) . ГОСТ 1547-84 «Масла и смазки. Методы определения наличия воды ».
- 27) ГОСТ 6356-75 «Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле».
- 28) 7. ГОСТ 19006-73 «Топливо для двигателей. Метод определения коэффициента фильтруемости».
- 29) ГОСТ 4333-87. «Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле». – Москва: Издательство стандартов, 1982.– 417 с.

Содержание

	Стр.
Введение.....	3
Общие указания по выполнению и оформлению лабораторных работ	4
Лабораторная работа № 1	
Определение кинематической вязкости рабочей жидкости	7
Лабораторная работа № 2	
Определение плотности рабочей жидкости	14
Лабораторная работа №3	
Определение температуры вспышки	19
Лабораторная работа №4	
Определение температуры замерзания и содержания гликоля в антифризах	34
Лабораторная работа №5	
Определение пенетрации пластичных смазок	44
Лабораторная работа №6	
Определение температуры каплепадения пластичной смазки	51
Лабораторная работа №7	
Сравнение интенсивности теплообмена при прямотоке и противотоке.....	55
Лабораторная работа №8	
Изучение потерь энергии при транспортировании жидкостей по трубопроводу	62
Лабораторная работа №9	
Определение коэффициента фильтрации и коэффициента проницаемости пористого слоя.....	70
Лабораторная работа №10	
Определение гидравлической характеристики фильтра.....	75
Лабораторная работа №11	
Определения класса чистоты рабочей жидкости	79
Лабораторная работа №12	
Уплотнительные соединения устройств и элементов гидросистем....	96
Список литературы	105

**Андреевец Юлия Ахатовна
Лаевский Дмитрий Викторович**

**РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ,
СМАЗКИ И УПЛОТНЕНИЯ
ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ**

ПРАКТИКУМ

**по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-36 01 07
«Гидропневмосистемы мобильных
и технологических машин»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 23.04.15.

Рег. № 133Е.

<http://www.gstu.by>