

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

---

**ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

**Кафедра теплосиловых установок и тепловых двигателей**

# **НАГНЕТАТЕЛИ И ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ТУРБИННЫХ МАСЕЛ**

**Методические указания  
к лабораторной работе № 1**

**Санкт-Петербург  
2019**

УДК 621.1 (07)

Нагнетатели и тепловые двигатели. Определение вязкости турбинных масел: методические указания к лабораторной работе №1 / сост. П.Н. Коновалов, М.С. Липатов; ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб., 2019. - 11 с.

В настоящих методических указаниях приводится теоретическое обоснование необходимости измерения вязкости турбинных масел, излагается порядок её измерения, описано устройство вискозиметра и термостата.

Предназначены для обучающихся ИЭиА и ИБФО направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Рецензент: зав. кафедрой промышленной теплоэнергетики ВШТЭ СПбГУПТД, канд. техн. наук, доцент С.Н. Смородин.

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой теплосиловых установок и тепловых двигателей ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 7 от 25.04.2019).

Утверждены к изданию методической комиссией Института энергетики и автоматизации ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 9 от 05.06.2019).

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

*Цель работы:* получение студентами навыков в работе с вискозиметрами и термостатами.

### 1. Теоретическая часть

Вязкость является важнейшей характеристикой турбинного масла, по которой и производится его маркировка. Различают вязкость динамическую, кинематическую и условную. Если для испытания масла применяется вискозиметр типа ВУ, то вязкость выражается в условных единицах, при использовании вискозиметра Энглера вязкость выражается в градусах Энглера.

Для характеристики вязкостных свойств турбинного масла пользуются как единицами кинематической вязкости, так и единицами условной вязкости. При практических и теоретических расчетах часто приходится встречаться с кинематической вязкостью, равной отношению динамической вязкости к плотности жидкости при той же температуре. Единицей кинематической вязкости является стокс (Ст). Одна сотая доля стокса называется сантистоксом и обозначается  $1\text{сСт} = 0,01\text{Ст}$ . В международной системе единиц (СИ) вязкость измеряется в  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $1\text{Ст} = 10^{-6} \text{м}^2/\text{с}$ .

В системах смазки и регулирования паротурбинных установок применяют турбинные масла марок: Т-22, Тп-22, Тп-22с, Т-30, Т-46, ТСКП-46. Они относятся к высококачественным дистиллятным маслам.

Эксплуатационные свойства масел характеризуются:

1. Вязкостью, которая при температуре масла  $+50\text{ }^\circ\text{C}$  должна быть в пределах  $43,5 \dots 48 \text{ мм}^2/\text{с}$  (сантистоксов);
2. Температурой застывания масла, которая является весьма важным показателем качества масла, позволяющим определить возможность работы масла при низких температурах. Потеря подвижности масла с понижением его температуры происходит вследствие выделения и кристаллизации растворенных в масле твердых углеводородов.

Температурой застывания масла называется та температура, при которой испытываемое масло в условиях опыта загустевает настолько, что при

наклоне пробирки с маслом под углом  $45^\circ$  уровень масла остается неподвижным в течение 1 мин. Температура застывания должна быть не выше  $-10^\circ\text{C}$ ;

3. Температурой вспышки масла, до которой необходимо нагреть масло, чтобы пары его образовали с воздухом смесь, способную воспламениться при поднесении к ней открытого огня. Температура вспышки характеризует наличие в масле легких летучих углеводородов и испаряемость масла при его нагревании. Температура зависит от сорта и химического состава масла, причем с увеличением вязкости масла температура вспышки обычно увеличивается. Температура вспышки определяет также и пожароопасность масла, которая в открытом тигле должна быть не ниже  $+195^\circ\text{C}$ ;

4. Температурой самовоспламенения масла, при достижении которой масло воспламеняется без поднесения к нему открытого огня. Эта температура для турбинных масел примерно вдвое выше, чем температура вспышки, и зависит в основном от тех же характеристик, что и температура вспышки;

5. Кислотным числом, показывающим содержание кислот в масле. Кислотное число представляет собой количество миллиграммов едкого калия, необходимого для нейтрализации 1 г масла. Содержание КОН на 1 г масла должно находиться в диапазоне  $-0,3 \dots 0,55$ ;

6. Прозрачностью, т.е. отсутствием в масле посторонних включений: механических загрязнений, воды, шлама. Прозрачность масла проверяется путем охлаждения пробы масла. Масло, охлажденное до  $0^\circ\text{C}$ , должно оставаться прозрачным;

7. Зольностью, т.е. количеством неорганических примесей, остающихся после сжигания пробы масла в тигле, выраженным в процентах к массе масла, взятого для сжигания. Зольность чистого масла должна быть минимальной. Высокая зольность указывает на плохую очистку масла, т. е. на наличие в масле различных солей и механических примесей. Повышенное содержание солей делает масло малоустойчивым к окислению. Зольность масла не должна быть выше 0,03 %. В маслах, содержащих антиокислительные присадки, допускается повышенная зольность.

В масле должны отсутствовать: вода, водорастворимые кислоты и щелочи, механические примеси.

В процессе эксплуатации масло «старее», изменяются его химические и физические свойства. В масле увеличивается содержание водорастворимых кислот и щелочей. Они повышают коррозионную активность масла. Содержание воды в масле недопустимо, её наличие приводит к образованию эмульсии с высоким содержанием воздуха, что способствует окислению масла и возрастанию его коррозионной активности.

Присутствие воздуха является причиной того, что масло становится сжимаемой жидкостью. В связи с этим появляется пульсация золотников системы автоматического регулирования, управления и защиты, уменьшается скорость звука, а значит - скорость гидравлического импульса в указанной системе. Кроме того, уменьшается давление масла за масляным насосом, что обуславливает срыв работы насоса, ухудшается несущая способность масляного клина в подшипниках. Основным источником обводнения масла являются утечки пара из концевых уплотнений, проникающие в картеры подшипников.

Все указанные эксплуатационные факторы влияют на плотность и вязкость масла. Изменение вязкости масла может привести к разрушению подшипниковых опор турбины, а значит - к её аварии, к нарушению работы систем управления и защиты, что способствует отказу турбины. Поэтому изменение вязкости масла является одним из основных диагностических признаков, характеризующих состояние системы маслоснабжения паротурбинной установки, позволяющим принять решение о замене масла.

Вязкость нефтепродуктов, в том числе турбинных масел, определяется с помощью вискозиметров при заданной температуре. Установка и точное поддержание заданной температуры осуществляется применением термостата.

### *Термостат LT - 910*

- погрешность поддержания температуры в диапазоне от +10 до +100 °С - не более  $\pm 0,01$  °С;
- диапазон задаваемых температур - от -30 до +155 °С;
- номинальное напряжение питания - 220 В;
- общая потребляемая мощность - не более 1500 Вт;
- количество мест под вискозиметры - 3;
- объем рабочей жидкости (воды) - 14 литров.

Термостат состоит из погружного термостата и ванны (см. рис. 1). Ванна представляет собой емкость из нержавеющей стали со стеклянными окнами для наблюдения за вискозиметрами, установленными в ванну. На крышке ванны расположены три гнезда для вискозиметров, закрытые крышками и имеющие держатели вискозиметров. Также на крышке ванны имеется отверстие-штуцер для пароотвода и отверстие для установки контрольного термометра (при необходимости). В нижней части ванны расположен кран для слива рабочей жидкости.



*Рис.1. Термостат LT-910*

На панели управления термостатом расположены следующие органы индикации и управления:

А. Пятиразрядный дисплей, предназначенный для отображения текущей и заданной температуры, значений настроек, служебных параметров и кодов.

Б. Светодиодные индикаторы, сигнализирующие о следующих событиях:

-  - недостаточный уровень рабочей жидкости (воды);
-  - включение нагревательного элемента;
-  - выключение перемешивающего устройства.

В. Клавиши:

-  - перемещение курсора и выбор разряда;
-  - увеличение или уменьшение значения цифры разряда;
-  - подтверждение ввода параметра;
-  - включение/ выключение рабочего режима при включенном электропитании.

Г. Выключатель электропитания.

*Внимание!* После выключения термостата выключателем электропитания повторное включение допускается не ранее чем через 15-20 с.

### *Вискозиметр ВПЖ – 1*

Для определения кинематической вязкости служит вискозиметр Оствальда-Пинкевича. Вискозиметр представляет собой стеклянную U-образную трубку, в одно колено которой впаян капилляр, переходящий в две расширенные емкости. Вискозиметр заполняется испытуемой жидкостью и помещается в термостат, где и принимает температуру опыта (например, 70°C). Испытуемой жидкости дают возможность перетекать из правого колена вискозиметра в левое, и с помощью секундомера замеряется время протекания определенного объема жидкости, находящейся между двумя метками.

Вискозиметр капиллярный стеклянный с висячим уровнем ВПЖ-1 (см. рис. 2) состоит из измерительного резервуара 3, ограниченного двумя кольцевыми метками М1 и М2. Резервуар 3 переходит в капилляр 2 и резервуар 1, который в свою очередь соединен с изогнутой трубкой 5 и трубкой 7.

Трубка 7 имеет резервуар 8 с двумя отметками М3 и М4, указывающими пределы наполнения вискозиметра испытуемой жидкостью. Жидкость из резервуара 3 по капилляру 2 стекает в резервуар 1 по стенкам последнего, образуя у нижнего конца капилляра «висячий уровень».

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

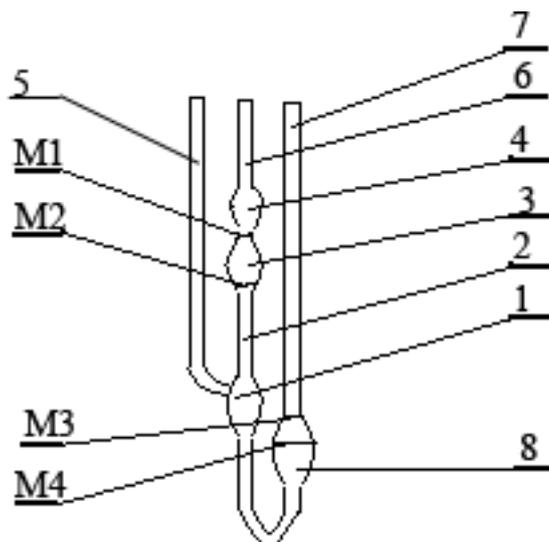


Рис.2 Вискозиметр ВПЖ-1

## 2. Порядок проведения лабораторной работы

2.1. Перед началом работы проверьте уровень воды в ванне термостата. Он должен быть на 2-4 см выше резервуара 4 вискозиметра.

2.2. Включите термостат при помощи выключателя электропитания. При этом включается нагреватель и мешалка термостата, а на дисплее, после кратковременного сообщения «START», появляется текущее значение температуры воды.

2.3. Для просмотра заданного значения температуры необходимо одновременно нажать и удерживать нажатыми клавиши  и .

Заданное значение температуры должно быть равно +50 °С. При необходимости откорректируйте заданное значение температуры следующим образом:

Нажмите клавишу  - при этом на дисплее появится ранее заданное значение температуры и начнет мигать младший (правый) разряд. Для ввода нового значения выберите нужный разряд клавишами   Переход к следующему разряду выполняйте клавишами  

2.4. Дождитесь установления заданной температуры, контролируя текущее значение на дисплее. В процессе разогрева светодиодный индикатор нагревателя постоянно светится красным цветом. При достижении заданной температуры нагреватель переходит в импульсный режим, при этом индикатор светится попеременно красным и зеленым цветом. Светодиодный индикатор работы мешалки светится либо зеленым цветом (мешалка работает), либо красным цветом (мешалка выключена).

2.5. Турбинное масло залейте в вискозиметр через трубку 7 так, чтобы уровень его установился между отметками М3 и М4. Вискозиметр выдержите при температуре измерения в течение примерно 15 мин.

2.6. С помощью резиновой груши, при закрытых кранах, турбинное масло засасывается выше отметки М1, примерно до половины резервуара 4.

2.7. Далее откройте кран на трубке 6 и измеряйте время понижения уровня в трубке 6 от отметки М1 до отметки М2. При этом обращайте внимание на то, чтобы к моменту подхода уровня масла к отметке М1 в резервуаре 1 образовался «висячий уровень», а в капилляре не было пузырьков воздуха.

2.8. Кинематическую вязкость вычисляйте по формуле:  $V = gTK / 9,807$ , где:

$V$  – кинематическая вязкость жидкости ( $\text{мм}^2/\text{с}$ );

$g$  – ускорение свободного падения в месте измерения ( $\text{м}/\text{с}^2$ );

$T$  – время истечения жидкости (с);

$K$  – постоянная вискозиметра ( $\text{мм}^2/\text{с}^2$ ), зависящая в основном от геометрических размеров прибора, в частности, от длины и диаметра капилляра.

2.9. Повторите указанное в пунктах 2.4 – 2.8, изменяя значения температуры воды в термостате сначала на  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , потом на  $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2.10. Проведите измерения по пунктам 2.5 – 2.8 дважды.

### 3. Отчетность

В результате проведения настоящей лабораторной работы обучающиеся оформляют отчет, в котором должна быть приведена следующая заполненная таблица.

№ п/п	Испыту- емая жидкость	Заданная темпера- тура $t$ , °C	Время истечения жидкости $T$ , с	Постоянная вискозиметра $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	Вязкость жидкости $V$ , мм <sup>2</sup> /с	Среднее значение вязкости жидкости $V$ ср., мм <sup>2</sup> /с
1						
2						
3						
4						

Строят график зависимости вязкости турбинного масла от его температуры (см. рис. 3), отражают полученные результаты в выводе по лабораторной работе.

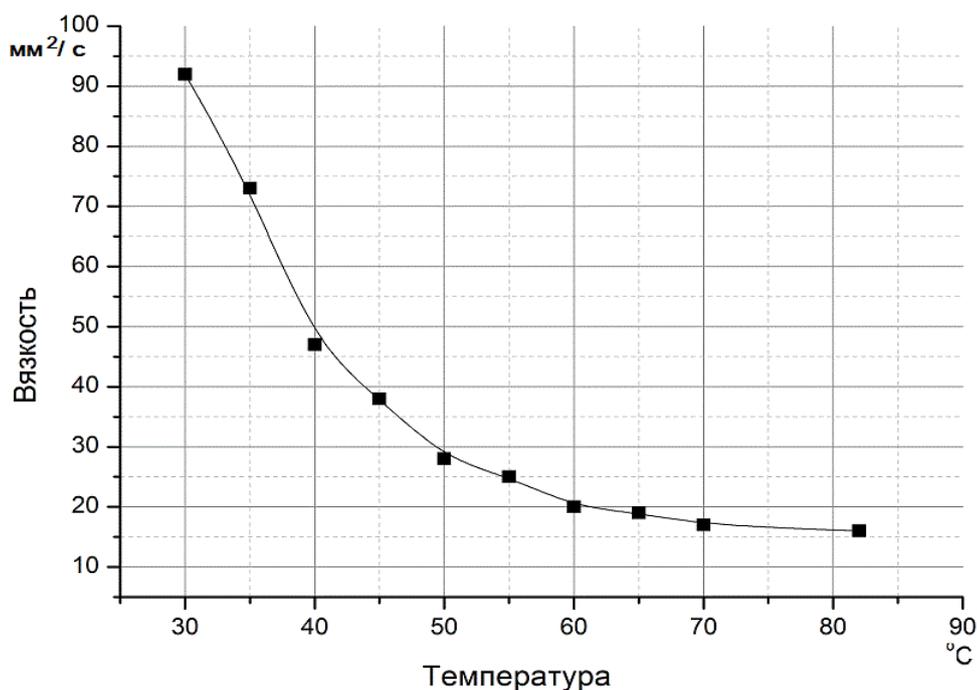


Рис.3. Зависимость вязкости от температуры масла

## Библиографический список

1. Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник / под ред. А.Г. Костюка - М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

2. Термостат вискозиметрический LOIP LT-910. Руководство по эксплуатации. Паспорт. ЗАО «Лабораторное оборудование и приборы». - СПб., 2008.

3. Вискозиметр капиллярный стеклянный ВПЖ – 1. Паспорт. ОАО «Дружная горка». Октябрь 2016.

## Содержание

Лабораторная работа №1.....	3
1. Теоретическая часть.....	3
2. Порядок проведения лабораторной работы.....	8
3. Отчетность.....	10
Библиографический список.....	11

**КОНОВАЛОВ ПЕТР НИКОЛАЕВИЧ  
ЛИПАТОВ МАКСИМ СЕРГЕЕВИЧ**

# **НАГНЕТАТЕЛИ И ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ТУРБИННЫХ МАСЕЛ**

**Методические указания  
к лабораторной работе № 1**

Редактор В.А. Басова  
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2019 г., поз. 46

---

Подп. к печати 06.06.2019.

Формат 60x84/16.

Бумага тип. № 1.

Печать офсетная.

Объем 0,75 печ.л; 0,75 уч.-изд.л.

Тираж 70 экз.

Изд. № 46. Цена "С" . Заказ №

---

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,  
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.