

**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 ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ КОНДЕНСАТОРА ПУТЕМ ПРОВЕРКИ ЖЕСТКОСТИ КОНДЕНСАТА**

**Методические указания  
к лабораторной работе № 2**

**Санкт-Петербург  
2019**

УДК 628 (07)

Нагнетатели и тепловые двигатели. Определение гидравлической плотности конденсатора путем проверки жесткости конденсата: методические указания к лабораторной работе № 2/ сост. П.Н. Коновалов, М.С. Липатов; ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб., 2019. - 11 с.

В настоящих методических указаниях приводятся правила замеров жесткости, порядок использования колориметра.

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 № 2

*Цель работы:* получение студентами навыков использования колориметра.

### 1. Теоретическая часть

Гидравлическая плотность конденсатора паровой турбины характеризуется попаданием охлаждающей воды в конденсат. Она обеспечивается правильным выбором материала конденсатных трубок и конструктивными мероприятиями, исключающими возможность попадания охлаждающей воды в паровое пространство конденсатора через разъемные соединения, вальцовочные крепления трубок в трубных досках, трещины, образованные в результате различных механических, эрозионных и коррозионных повреждений.

Наиболее опасными с точки зрения ухудшения гидравлической плотности являются механические повреждения трубок, так как обрыв даже одной трубки приводит к аварийному останову паротурбинной установки. Причинами механических повреждений трубок могут быть вибрационная усталость, эрозия периферийных трубок, эрозионное разрушение трубок в местах подвода дренажей, дефекты вальцовки, истончение стенок трубок в результате касания в местах прохода их через промежуточные перегородки и некоторые другие.

Частой причиной повреждения трубок является коррозия, которая обусловлена наличием коррозионно-активных примесей в охлаждающей воде. Коррозионные процессы происходят в трубках, расположенных в области воздухоохладителя, где имеет место высокая концентрация газов в паровоздушной смеси под действием пара, отработавшего в турбине.

Требования к гидравлической плотности конденсаторов заставляют уделять значительное внимание способам дополнительной герметизации вальцовочных соединений, так как попадание охлаждающей воды в конденсат через неплотность указанных соединений является постоянно действующим фактором.

В конденсаторах паровых турбин чаще всего используют следующие способы предотвращения попадания охлаждающей воды через вальцовочные соединения:

- устанавливают двойные трубные доски;
- создают с использованием трубных досок «соленые» отсеки в паровом пространстве конденсатора;
- увеличивают толщину основных трубных досок;
- наносят уплотняющие покрытия на трубные доски и выступающие концы конденсаторных трубок со стороны водяных камер;
- делают кольцевые или винтообразные канавки в отверстиях досок, через которые проходят трубки.

Практически установить факт попадания и определить количество охлаждающей воды в конденсате трудно, поэтому о гидравлической плотности конденсатора судят по жесткости конденсата, так как при попадании воды жесткость конденсата увеличивается.

Жесткость конденсата не должна превышать 0,5 мг/л для прямоточных котлов и энергоблоков АЭС, а для паровых котлов с естественной циркуляцией и давлением от 4 до 10 МПа должна находиться в пределах от 1 до 10 мг/л.

Общая жёсткость обусловлена присутствием солей магния и кальция. Основным способом возникновения магниевой и кальциевой жёсткости воды является растворение солей этих элементов потоками протекающей или фильтрующейся воды через слои, содержащие соединения магния и кальция. Жёсткость воды может вызывать отложения на стенках труб в отопительных и охлаждающих системах.

В приборе НІ 96735 используется адаптированный метод, рекомендованный Агентством охраны окружающей среды (EPA) для измерения величины общей жёсткости в диапазоне от 0 до 750 мг/л в пересчёте на  $\text{CaCO}_3$ . При добавлении реагента к содержащим магний и кальций образцам раствор приобретает красно-фиолетовый оттенок, - чем больше концентрация, тем ярче цвет. Затем полученное изменение цвета

колориметрически анализируется в соответствии с законом Ламберта-Бера. Этот закон гласит, что свет поглощается дополнительным цветом, а испускаемое излучение зависит от концентрации. Для измерения величины общей жёсткости узкий интерференционный фильтр с полосой 466 нм (синий) пропускает к кремниевому фотоприёмнику только синий свет и не пропускает остальной спектр видимого света, испускаемый вольфрамовой лампой. Увеличение интенсивности цвета прореагировавшего образца приводит к увеличению абсорбции специфической длины волны света и уменьшению коэффициента пропускания.

*Основные технические характеристики колориметра:*

*Уровень жесткости:* LR – от 0 до 250 мг/л – P1  
MR – от 200 до 500 мг/л – P2  
HR – от 400 до 750 мг/л – P3

*Чувствительность:* 1 мг/л – в диапазоне от 0 до 100 мг/л  
5 мг/л – в диапазоне от 100 до 750 мг/л.

*Точность измерения:* LR  $\pm$  5мг/л  $\pm$  4 % при +25 °С  
MR  $\pm$  7мг/л  $\pm$  3 % при +25 °С  
HR  $\pm$  10мг/л  $\pm$  2 % при +25 °С

*Метод измерения:* реакция между кальцием, магнием и реагентами создает красно - фиолетовый цвет в образце.

*Источник света:* вольфрамовая лампа.

*Окружающие условия:* температура воздуха от 0 до +50 °С, влажность воздуха максимально 95 % без конденсации влаги.

*Автоотключение:* после 10 мин. неиспользования в режиме измерения.

*Размеры:* 193 x104 x 69 мм.

*Вес:* 360 г.

### *Назначение кнопок колориметра:*

1. RANGE/GLPA. При нажатии этой кнопки изменяется диапазон измерения жесткости.

2. CAL CHECK. Нажатие и удерживание кнопки в течение 3 с переводит прибор в режим калибровки.

3. ZERO/CFM. При нажатии кнопки прибор перед измерением обнуляется.

4. READ/UNIT. При нажатии этой кнопки запускается режим измерения. При нажатии и удержании кнопки в течение 3 с результат отображается в различных единицах измерения жесткости.

5. ON/OFF. При нажатии этой кнопки прибор включается или выключается.

### *Индикация ошибок:*

1. Err Light High - слишком много света лампы при измерении, проверить подготовку кюветы.

2. Err Light Low - недостаточно света лампы при измерении, - проверить подготовку кюветы.

3. Err No Light - прибор не может установить уровень света лампы. Проверить образец. Он не должен содержать каких-либо механических примесей.

4. 2Err0 - не произошло обнуление.

5. Err cap - внешний свет проникает в кювету. Нужно убедиться, что крышка кюветы на месте, а сама кювета стоит в гнезде.

6. Cooling lamp - прибор ожидает охлаждения лампы.

## 2. Порядок проведения лабораторной работы

Работа проводится на приборе - колориметре HI 96735 фирмы «HANNA INSTRUMENTS INC» (см. рис. 1).



*Рис.1. Колориметр фирмы «HANNA INSTRUMENTS INC»*

### 2.1. Подготовка к работе.

2.1.1. Включить прибор нажатием кнопки ON/OFF.

2.1.2. Когда прозвучит короткий звуковой сигнал и LCD-дисплей покажет P1 (низкий уровень), P2 (средний уровень) или P3 (высокий уровень), – прибор готов к работе.

Уровень P1, P2 или P3, показанный на дисплее, последний из выбранных накануне уровней жесткости. Чтобы изменить уровень – нажимайте кнопку RANGE/GLP.

Мигающий индикатор ZERO показывает, что прибор нуждается в первичном обнулении, что будет сделано позднее.

### 2.2. Определение жесткости конденсата.

2.2.1. С помощью микрошприца поместить 0,5 мл испытуемого образца (конденсата) в кювету.

2.2.2. С помощью пластмассовой капельницы добавить в кювету 10 мл индикаторного реагента HI 93735A.

2.2.3. Добавить 2 капли реагента HI 93735B. Закрыть кювету крышкой и осторожно встряхивать для смешивания.

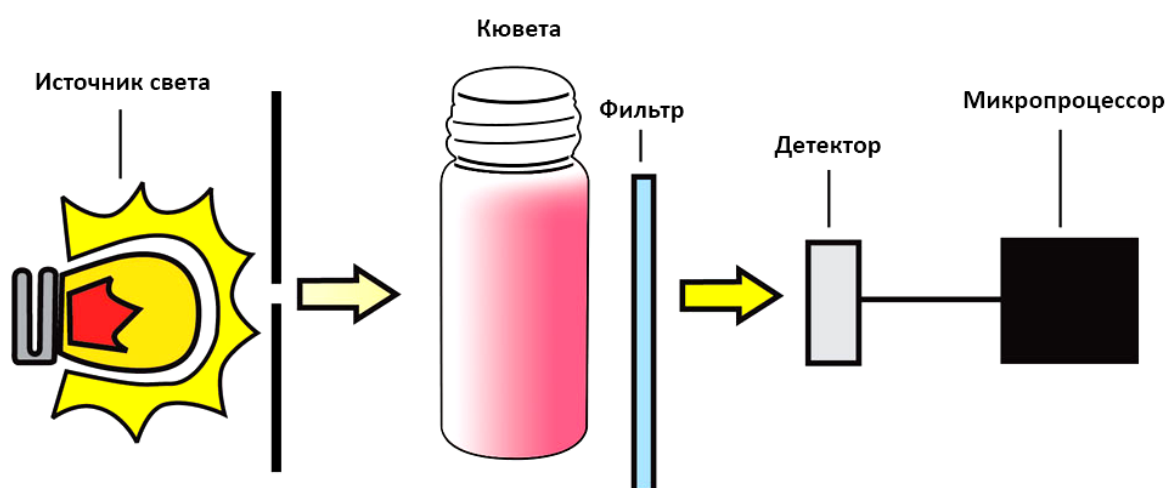
2.2.4. Поместить кювету в гнездо в корпусе прибора. Убедиться, что стрелка на крышке кюветы совпадает со стрелкой на корпусе прибора.

2.2.5. Нажать на кнопку ZERO/CFM. На дисплее появятся «иконки» лампы, кюветы и измерителя, означая начало фазы измерения. Через несколько секунд на дисплее появится «-0.0-». Прибор обнулен и готов к работе.

2.2.6. Вынуть кювету и добавить в нее содержимое одного пакета фиксирующего реагента N1 93735C. Закрыть крышку и осторожно встряхивать для смешивания.

2.2.7 Поместить кювету в гнездо в корпусе прибора, обеспечив совпадение стрелок на крышке кюветы и корпусе прибора.

2.2.8. Нажать на кнопку READ/UNIT. На дисплее появляются «иконки» лампы, кюветы и измерителя, означающие процесс измерения, который наглядно изображён на рис. 2.



*Рис.2. Схематичный процесс измерения жесткости испытуемого образца*

2.2.9. В итоге измерения прибор прямо показывает жесткость измеряемого конденсата. Нажимая на кнопку READ/UNIT и удерживая ее в течение 3 с последовательно выводим на дисплей результат измерения в мг/л, °f, °D, °E соответственно.

2.2.10. Ополоснуть кювету конденсатом.

2.2.11. Повторить действия, изложенные в пунктах 2.2.1 - 2.2.10, еще два раза.



2.2.12. Сопоставить полученные результаты измерения жесткости конденсата. Разброс значений жесткости конденсата не должен превышать пределов, указанных в разделе 1 «Теоретическая часть». В противном случае измерения жесткости конденсата необходимо повторить.

2.2.13. Рассчитать среднее значение величины жесткости конденсата.

2.3. Определение жесткости конденсата с примесью воды.

2.3.1. Приготовить испытуемый образец – смесь конденсата и водопроводной воды (5 частей конденсата и 1 часть воды) в отдельной емкости. Тщательно его перемешать.

2.3.2. С помощью микрошприца поместить 0,5 мл испытуемого образца в кювету.

2.3.3. Произвести действия, изложенные в п.п. 2.2.2 – 2.2.10.

2.3.4. Повторить действия, изложенные в п.п. 2.3.2 и 2.2.2 – 2.2.10, еще два раза.

2.3.5. Сопоставить полученные результаты измерения жесткости смеси конденсата и водопроводной воды. Разброс значений жесткости смеси не должен превышать пределов, указанных в разделе 1 «Теоретическая часть». В противном случае измерения жесткости смеси необходимо повторить.

### 3. Отчетность

В результате проведения настоящей лабораторной работы обучающиеся оформляют отчет, в котором должна быть приведена следующая заполненная таблица, а также сделаны выводы по выполненной работе.

№ п/п	Испытуемый образец	Установленный уровень измерения жёсткости P1, P2 или P3	Установленная точность измерения	Измеренное значение жёсткости	Среднее измеренное значение жёсткости	Единица измерения жёсткости
1	Конденсат					
2	Конденсат					
3	Конденсат					
4	Смесь конденсата и воды					
5	Смесь конденсата и воды					
6	Смесь конденсата и воды					

## Библиографический список

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

2. Колориметр Н1 96735. Инструкция по эксплуатации. Фирма «HANNA INSTRUMENTS». Интернет ресурс: [www.hannainsn.com](http://www.hannainsn.com)

## Содержание

Лабораторная работа №2.....	3
1. Теоретическая часть.....	3
2. Порядок проведения лабораторной работы.....	7
3. Отчетность.....	10
Библиографический список.....	11

**КОНОВАЛОВ ПЕТР НИКОЛАЕВИЧ  
ЛИПАТОВ МАКСИМ СЕРГЕЕВИЧ**

# **НАГНЕТАТЕЛИ И ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ КОНДЕНСАТОРА ПУТЕМ ПРОВЕРКИ ЖЕСТКОСТИ КОНДЕНСАТА**

**Методические указания  
к лабораторной работе № 2**

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

Темплан 2019 г., поз. 48

---

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. № 48.    Цена "С" . Заказ №

---

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