

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования -  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра общей физики

Н.А. МАНАКОВ, В.А.ПОМАЗКИН, Е.В.ЦВЕТКОВА

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ  
КОЭФФИЦИЕНТА  
ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ  
ВОДЫ  
ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ  
МЕТОДОМ КАНТОРА-РЕБИНДЕРА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 120

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

Оренбург 2008

УДК 539.19(07)

ББК 22.36я73

М 23

Рецензент:

кандидат физико-математических наук, доцент Юрк О.Д.

**Манаков Н.А.**

**М 23 Измерение зависимости коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры методом Кантора-Ребиндера: методические указания к лабораторной работе № 120 /Н.А.Манаков, В.А.Помазкин, Е.В.Цветкова. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2008. – 11 с**

Методические указания предназначены для студентов дневного, вечернего и заочного факультетов технических специальностей для выполнения лабораторной работы № 120 «Измерение зависимости коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры методом Кантора-Ребиндера».

ББК 22.36я73

© Манаков Н.А., 2008

© ГОУ ОГУ, 2008

## Лабораторная работа № 120

### Измерение зависимости коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры методом Кантора-Ребиндера

#### Цель работы:

- 1 Познакомиться с явлением возникновения поверхностного натяжения в жидкостях.
- 2 Ознакомиться с экспериментальным методом определения коэффициента поверхностного натяжения по методу Кантора-Ребиндера.
- 3 Экспериментально определить значение коэффициента поверхностного натяжения воды при разных температурах.

#### Введение

Согласно канонам молекулярно-кинетической теории (МКТ), в газообразном состоянии молекулы движутся совершенно хаотично и какой-либо порядок в их движении отсутствует. В состоянии жидкости наблюдается «ближний порядок», т.е. каждая молекула всегда окружена вполне определенным числом других молекул. Это число называют **координационным числом или антуражем**. Начиная с некоторого расстояния  $R_0$ , между молекулами возникают силы взаимного притяжения, которые сначала возрастают, а потом уменьшаются и при расстоянии между центрами молекул  $2R_m$  становятся равными 0. Если молекулы сближаются еще теснее (расстояние между центрами молекул менее  $2R_m$ ), то между ними возникают очень значительные по величине силы отталкивания. Условно  $R_m$  называют **радиусом молекулы** (порядка  $10^{-10}$  м), а  $R_0$  – **радиусом сферы молекулярного действия** (порядка  $10^{-8}$  м). Если молекула находится достаточно далеко от поверхности жидкости, плотность которой в слоях, окружающих молекулу, одинакова, то равнодействующая действующих на молекулу сил, в силу их симметрии равна нулю. Если же плотность вещества в пределах сферы радиуса молекулярного действия не одинакова, то равнодействующая сил молекулярного притяжения не равна нулю и направлена в сторону большей плотности. Поскольку плотность любого газа значительно меньше плотности жидкости, на каждую молекулу поверхностного слоя (толщиной около  $R_0$ ) действуют силы молекулярного притяжения, перпендикулярные поверхности и направленные вглубь жидкости. Благодаря этому поверхностный слой давит с большой силой на жидкость, создавая в ней так называемое внутреннее или молекулярное давление. Это давление достаточно велико – для воды около  $11 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>.

Молекулы поверхностного слоя обладают избытком энергии по сравнению с молекулами внутри жидкости. Эта избыточная энергия называется **свободной поверхностной энергией** или просто **поверхностной энергией**. Указанными свойствами поверхностного слоя

обусловлено особое его состояние, которое подобно состоянию натянутой упругой пленки, стремится сократить свою поверхность до минимальных размеров. Это стремление жидкости сократить свою свободную поверхность называется **поверхностным натяжением**.

Силы поверхностного натяжения  $F$  направлены по касательной к поверхности жидкости и действуют нормально к любой линии, проведенной на этой поверхности. Для количественной характеристики силы поверхностного натяжения жидкости вводят *коэффициент поверхностного натяжения*  $\sigma$ , который численно равен силе  $F$ , действующей на единицу длины произвольной линии  $L$ , мысленно проведенной на поверхности жидкости:

$$\sigma = \frac{F}{L} \quad (1)$$

В этом случае  $\sigma$  измеряется в «ньютон деленный на метр» (Н/м).

Поскольку молекулы поверхностного слоя обладают избытком энергии, можно показать, что коэффициент поверхностного натяжения численно равен свободной поверхностной энергии  $W$ , приходящейся на единицу (один квадратный метр) поверхности жидкости  $S$ :

$$\sigma = \frac{W}{S} \quad (2)$$

В этом случае  $\sigma$  измеряется в «джоуль деленный на квадратный метр» (Дж/м<sup>2</sup>). Численные значения коэффициента поверхностного натяжения, измеренные в Н/м или Дж/м<sup>2</sup> естественно совпадают.

Коэффициент поверхностного натяжения различен для разных жидкостей. Он зависит от рода жидкости, от её плотности, от того, с каким газом или жидкостью она контактирует, от степени чистоты поверхности жидкости, от её температуры. По мере роста температуры увеличивается плотность пара над её поверхностью, поэтому равнодействующая сил молекулярного притяжения, действующая на каждую молекулу поверхностного слоя уменьшается, а следовательно уменьшается и  $\sigma$ .

Настоящая лабораторная установка представляет собой один из вариантов известного прибора Картора-Ребиндера. Поместим в закрытый герметично сосуд капилляр известного сечения таким образом, чтобы один конец его находился при атмосферном давлении, а другой был погружен в исследуемую жидкость таким образом, чтобы его конец был расположен ниже поверхности жидкости. Если давление внутри сосуда медленно уменьшать, то при некотором его значении  $P$  под действием атмосферного давления  $P_A$  через капилляр в жидкость будут продавливаться пузырьки воздуха. Давление внутри газового пузырька в жидкости в момент отрыва равно атмосферному. Это давление уравнивается давлением над

поверхностью жидкости и давлением, обусловленным поверхностным натяжением  $P_H$  (гидростатическим давлением можно пренебречь, т.к. глубина погружения пузырька мала):

$$P_A = P + P_H \quad (3)$$

Найдем величину  $P_H$ . Для этого рассмотрим пузырек радиуса  $R$ , который мысленно рассечем произвольной горизонтальной поверхностью (см. рисунок 1). В следствие поверхностного натяжения верхняя часть пузырька будет притягиваться к нижней, при чем на каждый элемент длины  $dL$  пограничной линии будет действовать сила  $dF = \sigma dL$ , направленная по касательной к поверхности пузырька. Определим элементарную силу нормального давления  $dF_n$  на площадь сечением  $S = \pi r^2$ :

$$dF_n = dF \cos \alpha = \sigma \frac{r}{R} dL \quad (4)$$

Здесь:  $r$  и  $R$  – радиусы выбранной площади пленки и пузырька соответственно (м),

$\alpha$  – угол между векторами  $dF_n$  и  $dF$ , (рад).

Интегрируя по всей длине пограничной линии, получим полную силу нормального давления:

$$F_n = \int_0^{2\pi r} \sigma \frac{r}{R} dl = \sigma \frac{2\pi r^2}{R} \quad (5)$$

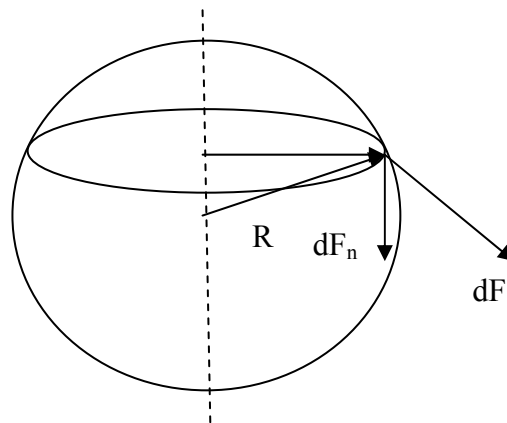


Рисунок 1

Таким образом, величина нормального давления на единицу площади сечения  $S$  равна:

$$\frac{F_n}{S} = \sigma \frac{2\pi \cdot r^2}{2\pi \cdot r^2 R} = \sigma \frac{2}{R} \quad (6)$$

Этот вывод справедлив для любого сечения. Поэтому давление в любой точке пузырька:

$$P = \sigma \frac{2}{R} \quad (7)$$

Давление будет максимальным, когда  $R$  минимален, т.е. равен радиусу капилляра  $r = d/2$ ,

где  $d$  – диаметр капилляра (м). Тогда:

$$\sigma = \frac{DPd}{4} \quad (8)$$

### Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка выполнена в виде трех блоков (см. рисунок 1), смонтированных на одной раме. Блок А включает в себя резиновую грушу для откачки воздуха, вентиль-регулятор скорости откачивания воздуха, автоклав- манометр (блок В), который гибкими шлангами соединен с вентилем и измерительной трубкой водного манометра. Автоклав- манометр (рисунок 3) представляет собой медную трубу, в верхней и нижней части которой имеются полости, соединенные между собой круглым каналом. На трубе равномерно распределен нагреватель. Температура воды контролируется датчиком температуры, показания которого выведены на шкалу прибора ИСТ-4К.

В верхней части автоклава установлен дроссель №2, в котором имеется штуцер для откачки воздуха, и штуцер, обеспечивающий сообщение с атмосферой капилляра, нижняя часть которого погружена немного ниже поверхности воды в верхней полости автоклава.

Штуцеры №1 и №3 дросселя №2 закрыты пробками. Рабочий штуцер соединен гибким шлангом с резиновой грушей через вентиль-регулятор. Нижний конец автоклава гибким шлангом подсоединен к мерной трубке водяного манометра.

Температуру термостата (положение переключателя  $T_1$ ), напряжение ( $U_1$ ) и ток обмотки нагревателя ( $I_1$ ) контролируют прибором ИСТ – 4К (блок С), подключая его к измеряемой цепи переключателем. Значение температуры стабилизации автоклава задаются переключателем «термостат». Светодиоды «сд» контролируют режим стабилизации температуры. Регулятор «питание» позволяет изменять величину напряжения и тока в обмотке нагревателя термостата (контроль - положение  $U_1$  и  $I_1$ ).

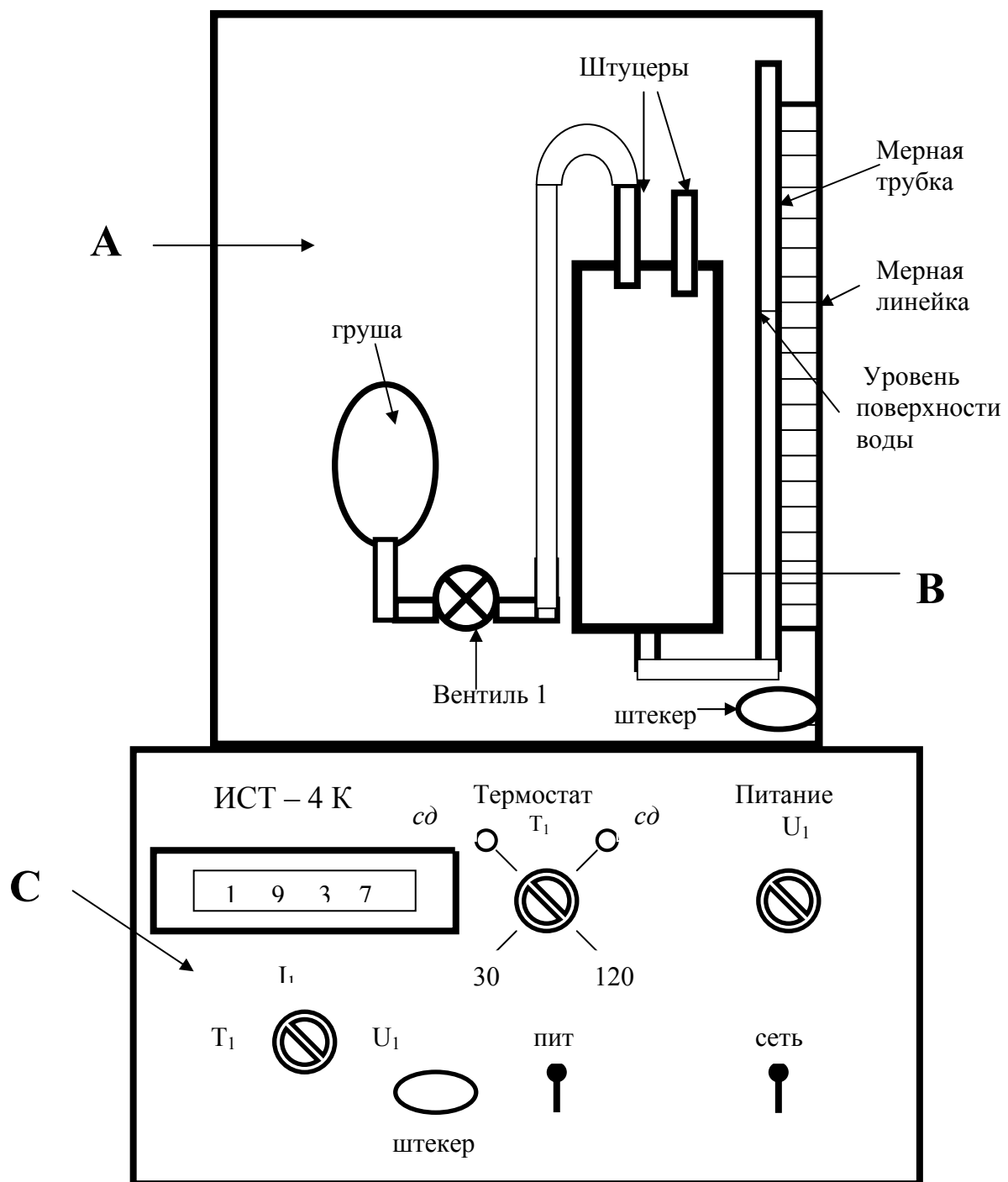


Рисунок 2 - Блок-схема экспериментальной установки

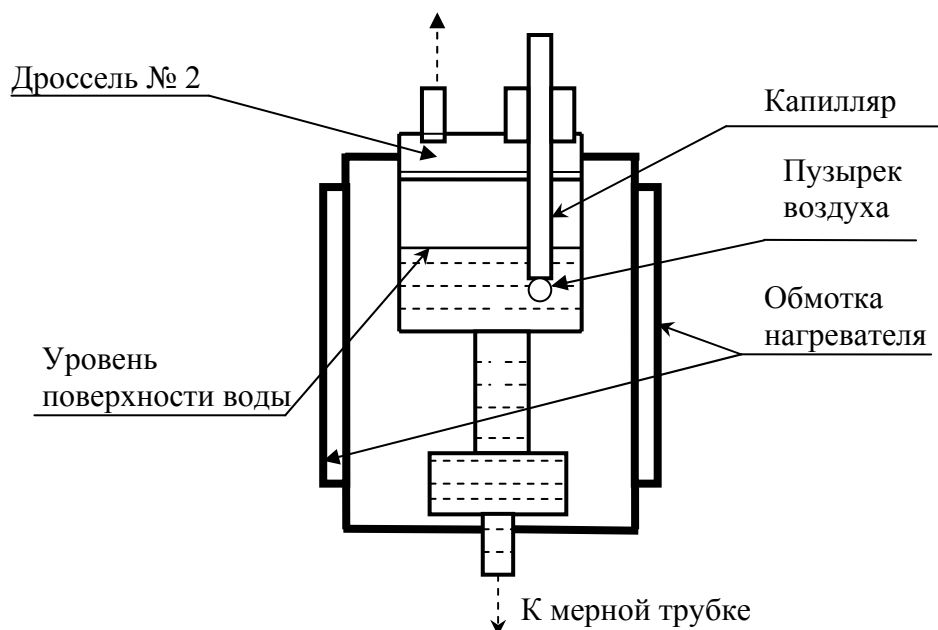


Рисунок 3 - Принципиальная схема автоклава – манометра (Блок В)

Прежде, чем подключить прибор к сети, необходимо проверить следующее:

- 1) штекера блоков В и С должны быть соединены специальным шлангом;
- 2) штуцеры вентиля – регулятора и откачивающего дросселя соединены гибким шлангом;
- 3) разъем «Д<sub>2</sub>» на блоке ИСТ-4К должен быть заблокирован специальной заглушкой;
- 4) тумблера «сеть» и «пит» должны быть в выключенном состоянии (ключики вниз);
- 5) регуляторы «Питание» и «Термостат» повернуть против часовой стрелки до упора;
- 6) уровень воды в трубке манометра должен быть на уровне 100 – 105 мм.;
- 7) вентиль – регулятор должен быть перекрыт (повернут по часовой стрелки до упора);
- 8) откачивающая груша должна быть отсоединена от вентиля.



## Порядок выполнения работы

1 Включаем тумблер «сеть». Должны загореться цифровые индикаторы ИСТ – 4К и **зеленый** светодиод термостата (если горит **красный** фотодиод - обратиться за помощью к преподавателю).

2 Ставим переключатель ИСТ – 4К в положение  $T_1$  и определяем температуру воды в автоклаве.

3 Открываем вентиль (против часовой стрелки полтора – два оборота). Выжидаем пока уровень воды в измерительной трубке не стабилизируется на значении 100-105 мм., что соответствует координате  $h_0$ . Затем вентиль перекрываем.

4 **Перед тем, как начать отсасывать воздух из автоклава, вентиль должен быть *обязательно* перекрыт.** Сжимаем до предела грушу и с помощью гибкого шланга с **дозатором-ограничителем** подсоединяем её к вентилю. Начинаем очень медленно откачивать воздух из автоклава. Для этого, плавно открываем вентиль – регулятор, добиваясь, чтобы скорость опускания воды в мерной трубке была не **БОЛЬШЕ 2-3 мм/с**. Добившись момента, когда из капилляра начнут выделяться пузырьки воздуха (уровень воды в мерной трубке при этом перестанет опускаться, а затем резко на 4 – 7 мм прыгнет вверх), засекаем минимальное значения уровня **h**. Для того, чтобы точнее определить значение  $h$ , рационально, добившись этого режима колебания уровня, минимально уменьшить скорость откачивания воздуха.

5 Определив координату  $h$ , вычисляем избыточное давление в пузырьке:

$$\Delta P = \rho g (h_0 - h), \quad (9)$$

где:  $\rho$  – плотность воды, равная  $10^3 \text{ кг/м}^3$  ( $1 \text{ гр/см}^3$ ),

$g$  – ускорение силы тяжести ( $9,8 \text{ м/с}^2$ ),

$h_0$  – начальная координата уровня воды.

6 Вычисляем значение коэффициента поверхностного натяжения при данной температуре:

$$\sigma = \Delta P d / 4 \quad (10)$$

Диаметр капилляра **d** для нашей работы равен **0,533 мм**.

Результаты измерения и вычислений заносим в первый столбик таблицы.

7 Нагреваем термостат до температуры приблизительно  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для этого тумблер «Пит» ставим в положение включено, переключатель ИСТ–4К в положение  $U_1$  и регулятором «Питание» устанавливаем на

нагревателе термостата напряжение 19-20 В. Переключив переключатель ИСТ–4К в положение  $I_1$ , убеждаемся, что ток по обмотке нагревателя идет. Переключатель «Термостат» ставим в положение между 30 и 60. После того, как датчик температуры покажет нужное значение, регулятором «Термостат» добиваемся того, чтобы включился красный фотодиод. Выждав 2-3 минуты, определяем координату  $h$ .

Таблица 1

$t^{\circ}\text{C}$					
$h$ мм					
$\Delta h$ мм					
$\Delta P$ ммН <sub>2</sub> О					
$\sigma$ мН/м					

8 Далее, изменяя температуру в автоклаве переключателем «Термостат», устанавливаем нужное её значение, и определяем  $\sigma$  для этих температур. Рекомендуемые значения температур: комнатная (+24 °С), +40 °С, +55 °С, +68 °С, +80 °С. В связи с тем, что при температурах выше 80 °С вода начинает интенсивно «парить», **нагревать автоклав выше 85 °С не рекомендуется.**

9 Построить график зависимости  $\sigma$  от  $T$ .

По окончании измерений, перевести ручки регулировки температуры и напряжения в нулевое положение, отключить тумблеры «питание» и «сеть», перекрыть вентиль-регулятор, снять тепло отражательный чехол с автоклава.

## Контрольные вопросы

- 1 Объяснить, как возникает явление поверхностного натяжения в жидкостях.
- 2 Почему значения коэффициента поверхностного натяжения, выраженные в Н/м или Дж/м<sup>2</sup> совпадают.
- 3 Какая основная гипотеза положена в основу метода Кантора-Ребиндера.
- 4 Объяснить, почему уровень воды в мерной трубке при отсасывании воздуха, дойдя до минимального значения, затем скачком прыгает вверх на 4-8 мм.
- 5 Как объяснить изменения коэффициента поверхностного натяжения с температурой.
- 6 С чем связан эффект «смачивания» и «не смачивания» жидкостей.

## Список использованных источников

- 1 **Савельев, И.В.** Курс физики: учебник / И.В.Савельев. – М.: Наука, 1992. – 304 с.
- 2 **Трофимова Т.И.** Курс физики: учебник / Т.И.Трофимова. – М.: Высшая школа, 1990. – 478 с.
- 3 **Яворский Б.М.** Справочное руководство по физике / Б.М.Яворский, Ю.А.Селезнев. – М.: Наука, 1989. – 575 с.

**Методические указания для преподавателей и лаборантов к проведению работы № 120 «Измерение зависимости коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры методом Кантора-Рейндера».**

1. В работе использовать дистиллированную хорошо отфильтрованную воду.
2. Используется Дроссель №2 с заглушенными штуцерами №1 и №3. Капилляр дросселя необходимо не реже, чем 1 раз в две недели чистить с помощью калиброванных проволочек из комплекта принадлежностей к данной работе.
3. Разъем «Д<sub>2</sub>» на блоке ИСТ-4К должен быть заблокирован специальной заглушкой;
4. Резиновую грушу подключать к вентилю – регулятору с помощью гибкого шланга, с установленным внутри дозатором.
5. Плавную регулировку скорости отсоса воздуха следует осуществлять при помощи отвертки, используя для этого специально нарезанные шлицы.
6. Если при включении в сеть вместо **зеленого** фотодиода загорается **красный**, необходимо, сняв термоотражательный чехол с автоклава, охладить его до температуры, близкой к комнатной, с помощью вентилятора.
7. Если в вентиль – регулятор скорости откачки воздуха попала вода, его следует очень тщательно просушить. Для этого, отсоединив от автоклава, открыть вентиль полностью(три – четыре оборота против часовой стрелки) и продуть с помощью резиновой груши, используя для соединения её с вентилем гибкий шланг без калибровочного ограничителя. Продувать вентиль следует с обеих сторон не менее 20-30 раз.
8. Может быть только пять причин по которым не удастся достичь режима колебания уровня воды в мерной трубке:
  - Неправильно установлен начальный уровень воды;
  - В вентиль попала вода;
  - Засорился капилляр;
  - Нет герметичности в верхней камере автоклава (плохо закручен дроссель).
  - Не оптимальна скорость откачивания воздуха.

**Поверхностное натяжение воды на границе с воздухом**

T <sup>0</sup> C	0	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	100
σ дн/см	75.7	74.2	73.5	72.7	72.0	71.2	69.6	67.9	66.2	64.4	62.6	58.8

Дж.Кэй, Т.Лэби, Таблицы физических и химических постоянных, Физматгиз, М,1962.с247.