

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ И ДИФФУЗИИ ВОДЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 125

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 Исследование вязкости и диффузии воды: методические указания к лабораторной работе № 125 /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 № 125 «Исследование температурной зависимости коэффициента вязкости воды».

ББК 22.36я73
© Манаков Н.А., 2008
© ГОУ ОГУ, 2008

Лабораторная работа № 125 «Исследование вязкости и диффузии воды»

Цель работы:

- 1 Познакомиться с явлениями переноса в газах и жидкостях с точки зрения молекулярно-кинетической теории (МКТ) в общем, и с явлением внутреннего трения в частности.
- 2 Познакомиться с методом определения коэффициентов вязкости и диффузии воды.
- 3 Экспериментально определить изменение вязкости и коэффициента диффузии воды с температурой.

Введение

Одним из основных положений МКТ является тезис о хаотичном непрерывном движении молекул, интенсивность которого пропорциональна абсолютной температуре вещества. Правда, в зависимости от агрегатного состояния вещества, характер этого движения изменяется. Если в газах движение абсолютно хаотично, то в жидкостях на хаотичность накладываются условия «ближнего порядка», т.е. молекула всегда движется в окружении вполне определенного числа других молекул (антураж), а твердых телах молекулы лишь хаотично колеблются около положений равновесия (наблюдается и ближний, и дальний порядок). Это движение сопровождается переносом молекулами *массы, энергии и импульса* из одной части вещества в другую. И хотя возникающие при этом макро-изменения в веществе различны, молекулярный механизм их одинаков и поэтому и законы, их описывающие, сходны. Эти явления объединяют под названием *явления переноса*.

Следует различать три таких явления. Явление, при котором учитывается только *перенос массы, называют диффузией*. Характеризуется оно коэффициентом диффузии D :

$$D = \frac{1}{3} v \lambda \quad (1)$$

где λ – длина свободного пробега молекулы (м),
 v – средняя скорость теплового движения (м/с).

Если учитывается только *тепловая энергия*, переносимая молекулами при их хаотичном движении, то мы имеем дело с явлением *теплопроводности*. Это явление характеризуется коэффициентом теплопроводности χ :

$$\chi = \frac{1}{3} \rho v \lambda C_v \quad (2)$$

где: ρ – плотность вещества,
 v – средняя скорость теплового движения,
 λ – средняя длина свободного пробега,
 C_v – молярная теплоемкость при постоянном объеме.

Явление, которое учитывает перенос *импульса молекулы* при переходе из одного слоя в другой, называют *внутренним трением или вязкостью*. Характеризуемой коэффициентом вязкости η :

$$\eta = \frac{1}{3} \rho v \lambda \quad (3)$$

Из сравнения формул (1) и (3) видно, что коэффициенты диффузии и вязкости связаны между собой через плотность вещества, т.е.:

$$D = \frac{\eta}{\rho} \quad (4)$$

Явление внутреннего трения (вязкости) наблюдается в телах при всех агрегатных состояниях, но наибольшее практическое применение это явление имеет в жидкостях и газах. При движении жидкости или газа, поскольку разные слои в них движутся с разными скоростями, возникают *силы внутреннего трения*. Возникают они вследствие того, что движение жидкости или газа слоистое и скорости перемещения разных слоев не одинаковы. Силы внутреннего трения стремятся выровнять скорости движения всех слоев. Выравнивание скоростей слоев осуществляется путем передачи молекулами более быстрых слоев импульсов mv молекулам, движущимся медленнее. Это приводит к увеличению скорости движения молекул более медленного слоя. Слой же, движущийся быстрее, замедляется, так как молекулы из медленного слоя, попадая в более быстрый, отбирают у него часть импульса, что и приводит к его торможению. Таким образом, внутреннее трение обусловлено переносом количества движения молекулами вещества, которые переходят из слоя в слой, в силу хаотичного их теплового движения, создают силы трения между слоями газа или жидкости, перемещающимися параллельно друг другу с различными скоростями. Еще Ньютон доказал, что сила внутреннего трения F пропорциональна коэффициенту вязкости, величине площади соприкосновения движущихся слоев S , градиенту скорости $\frac{dv}{dt}$ движения слоев, (закон Ньютона):

$$F = -\eta S \frac{dv}{dt} \quad (5)$$

Градиентом скорости называют вектор, определяющий изменение скорости на единицу длины в направлении, перпендикулярном скорости движения слоев. Из формулы (5) коэффициент вязкости будет равен:

$$\eta = -\frac{F}{S \frac{dv}{dt}} \quad (6)$$

Таким образом, **коэффициент вязкости есть физическая величина, численно равная силе внутреннего трения между двумя слоями с площадью, равной единице площади при градиенте скорости, равном единице.** Знак минус в формуле Ньютона указывает на то, что F направлена противоположно изменению скорости. Размерность коэффициента вязкости – Паскаль в секунду (Па·с). В системе СГС единицей вязкости является 1 пуаз = 1 гр/см·с (пз).

Диффузия (самодиффузия) проявляется тогда, когда плотность вещества в разных его участках неодинакова и заключается в самопроизвольном взаимном проникновении и перемешивании частиц двух соприкасающихся участков газов, жидкостей и даже твердых тел. Явление диффузии связано с направленным переносом массы вещества. Оно подчиняется следующему закону:

$$dM = -DdSdt \frac{d\rho}{dx} \quad (7)$$

где: dM - количество вещества, которое переносится за время dt через элементарную площадку dS в направлении нормали x к рассматриваемой площадке в сторону убывания плотности ρ ,

$\frac{d\rho}{dx}$ – градиент плотности (концентрации) – вектор, указывающий изменение плотности на единицу длины по нормали к слоям. Знак «минус» указывает на то, что масса переносится в сторону убывания плотности,

D – коэффициент диффузии.

Коэффициентом диффузии D называется физическая величина, численно равная количеству массы вещества, перенесенному через единицу площади за единицу времени при градиенте плотности, равном единице в направлении нормали к рассматриваемой площади dS :

$$D = \frac{dM}{dSdt \frac{d\rho}{dx}} \quad (8)$$

Коэффициент диффузии измеряется в $\text{м}^2/\text{с}$. В системе СГС – стокс = $1\text{см}^2/\text{с} = 100$ сантипуаз (спз). Часто коэффициент диффузии называют *кинематической вязкостью*.

Изучив температурные изменения вязкости, мы сможем, учитывая формулу (4), судить и об изменении с температурой диффузии.

Методика и аппаратура для определения коэффициента вязкости воды и его изменений с температурой

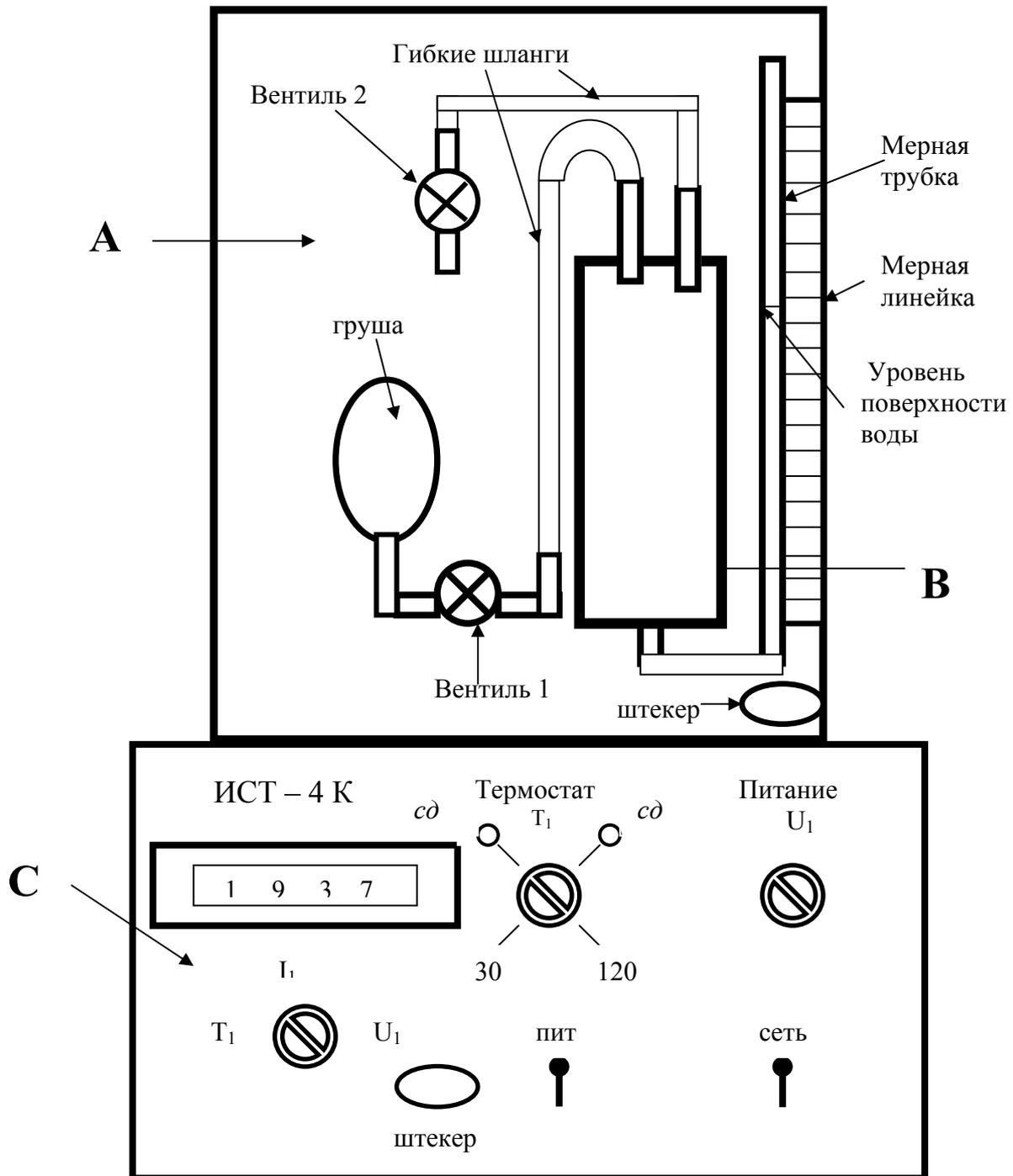


Рисунок 1 - Блок-схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка выполнена в виде трех блоков (Рисунок 1), смонтированных на одной раме. **Блок А** включает в себя резиновую грушу для откачки воздуха, вентиль-регулятор скорости откачивания воздуха из верхней полости автоклава - манометра (**блок В**), вентиля для регулирования степени напуска воздуха в верхнюю часть автоклава. Оба вентиля, резиновая груша и автоклав–манометр с трубкой водного манометра соединены гибкими шлангами.

В качестве метода измерения вязкости был использован классический метод вискозиметра. Проливая исследуемую жидкость через капилляр известной длины и диаметра и определяя скорость протекания жидкости, мы можем судить об её вязкости.

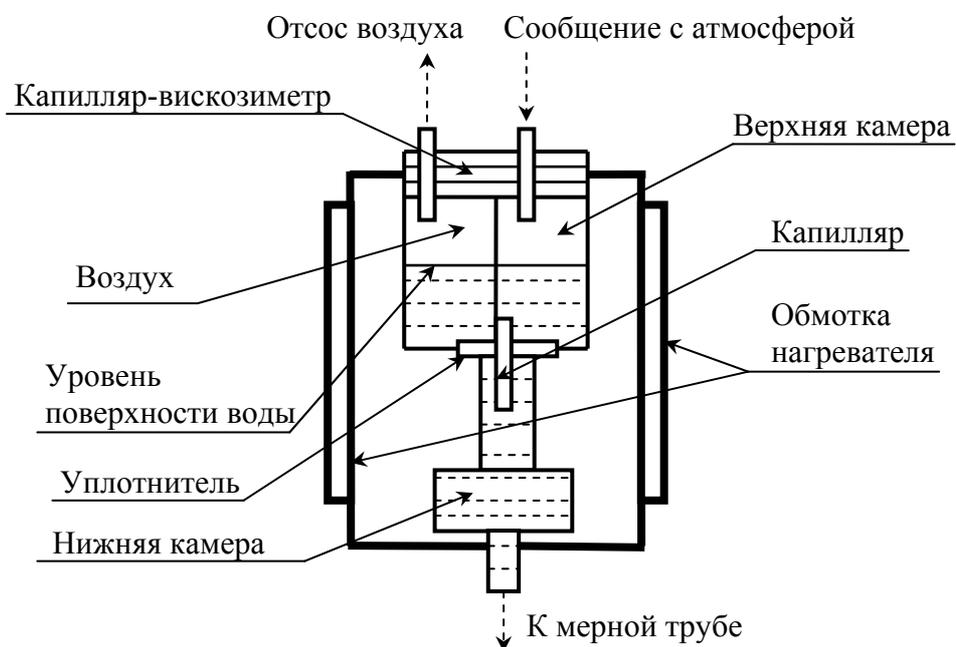


Рисунок 2 - Принципиальная схема автоклава – вискозиметра (**Блок В**)

Автоклав - вискозиметр (Рисунок 2) представляет собой медную трубу, в верхней и нижней частях которой организованы камеры, 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 капилляр – вискозиметр, в котором имеется штуцер для откачивания воздуха из верхней камеры автоклава с помощью *резиновой груши и вентиля 1* и штуцер, обеспечивающий сообщение верхней камеры автоклава с атмосферой, степенью открытия которого управляет *вентиль 2*. Соединение между верхней и нижней частями автоклава осуществляется только через капилляр. Закачав через

капилляр из нижней камеры воду в верхнюю, мы, обеспечив сообщением верхней камеры с атмосферой, даем возможность проливаться воде через капилляр в нижнюю камеру. Измерив объем пролившейся воды и время её протекания, можем судить о вязкости воды, зная сечение и длину капилляра.

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). Время протекания воды контролируется секундомером-таймером с точностью до 0,01 сек., который расположен в выдвижном лотке блока С. Кнопка «SET» запускает и останавливает секундомер, а кнопка «ADVANCE» обнуляет показания секундомера.

Пусть h_0 – уровень воды в мерной трубке до начала измерений. Откачав воздух из верхней камеры до значения h_i , добиваемся перепада давлений на концах капилляра:

$$\Delta p = \rho \cdot g(h_0 - h_i) \cdot 1 + \left(\frac{S}{S_A} \right) \quad (9)$$

где ρ – плотность воды (1000 кг/м³), $g = 9,8$ м/с² – ускорение силы тяжести, S – сечение мерной трубки (0,804 см²), S_A – сечение верхней камеры автоклава (5,3 см²).

Скорость протекания воды через капилляр диаметром d (0,82 мм) и длиной L (42 мм) в единицу времени:

$$\frac{dv}{dt} = \pi d^4 \cdot \Delta p / (128 L \eta) \quad (10)$$

При этом:

$$\frac{dv}{dt} = S \frac{dh}{dt} \quad (11)$$

Из приведенных соотношений находим, что уровень воды в мерной трубке приближается к равновесному положению по экспоненциальному закону:

$$h_0 - h_i = \text{Const} e^{-(t/\tau)} \quad (12)$$

где τ – постоянная времени, равная:

$$\tau = \frac{128SL\eta}{\pi d^4 \rho g \left(1 + \frac{S}{S_A}\right)} \quad (13)$$

Измерив время Δt прохождения жидкостью расстояния между уровнями h_0 и h_1 , и h_0 и h_2 , найдем постоянную процесса:

$$\tau = \frac{\Delta t}{\ln(h_0 - h_1)/(h_0 - h_2)} \quad (14)$$

И тогда коэффициент вязкости будет равен:

$$\eta = \frac{\pi d^4 \rho g \left(1 + \frac{S}{S_A}\right) \tau}{128SL} \quad (15)$$

$$\eta = C\tau \quad (16)$$

где C - константа для данной работы и определяется следующим образом:

$$C = \frac{\pi d^4 \rho g \left(1 + \frac{S}{S_A}\right)}{128SL} \quad (17)$$

Порядок выполнения работы

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

- штекера блоков В и С должны быть соединены специальным шлангом;
- разъем «Д₂» на блоке ИСТ-4К заблокирован специальной заглушкой;
- тумблера «сеть» и «пит» в положении выключено (ключики вниз);
- регуляторы «Питание» и «Термостат» повернуть против часовой стрелки до упора;
- уровень воды в трубке манометра должен быть на уровне 100 – 105 мм.;
- **оба вентиля должны быть перекрыты** (повернуты по часовой стрелке до упора);
- отсасывающая груша от вентиля отсоединена.

1 Проверяем герметичность соединения верхней, нижней камер и капилляра. Для этого, максимально сжав грушу, подсоединяем её к нижнему вентилю (вентиль 1). Плавно открываем вентиль и держим его открытым до тех пор, пока уровень воды в мерной трубке не понизится до значения 30 – 40 мм. Перекрыв вентиль, наблюдаем за уровнем в мерной трубке. Если уровень изменился не более чем на ± 2 мм, начинаем работать.

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

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

4 **Отсоединив грушу от нижнего вентиля**, открываем оба вентиля полностью и отмечаем значение h_0 .

5 Полностью перекрываем оба вентиля и, максимально сжав грушу, подсоединяем её к нижнему вентилю.

6 Закачиваем воду в верхнюю камеру. Для этого открываем **Вентиль 1** (против часовой стрелки полтора – два оборота). Выжидаем пока уровень воды в измерительной трубке не опустится до 5 – 10 мм. Затем вентиль перекрываем.

7 Чтобы обеспечить режим «пролевания» воды из верхней камеры в нижнюю через капилляр, открываем **Вентиль 2**, обеспечивая тем самым сообщение верхней камеры с атмосферой.

8 Засекаем время Δt , в течение которого уровень воды в мерной трубке пройдет расстояние от **20 мм** (h_1) до **85 мм** (h_2). Измерения проводим не менее 3 раз (пункты 5 - 8). Определяем среднее арифметическое Δt_{cp} , которое и используем для расчетов. Измерения заносим в таблицу.

9 Используя формулы (16) и (4), находим значения η и D для данной температуры

Таблица 1

T , °C														
h_0 , мм														
h_1 , мм														
h_2 , мм														
Δt , с														
Δt_{cp} , с														
τ , с														
η , 10^{-4} Па·с														
D , 10^{-7} м ² /с														

10 Нагреваем термостат до температуры приблизительно 40 °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 Δt и $\Delta t_{\text{ср}}$ (пункты 5 - 8).

11 Далее, изменяя температуру в автоклаве переключателем «Термостат», устанавливаем нужное её значение, и определяем η и D для этих температур. Рекомендуемые значения температур: комнатная ($+24\text{ }^{\circ}\text{C}$), $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. В связи с тем, что при температурах выше $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ вода начинает интенсивно «парить», **нагревать автоклав выше $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ не рекомендуется.**

12 Построить график зависимости η и D от T . По окончании измерений, перевести ручки регулировки температуры и напряжения в нулевое положение, отключить тумблеры «питание» и «сеть», открыть оба вентиля, снять тепло отражательный чехол с автоклава.

Контрольные вопросы

1. Какие явления переноса Вы знаете ?
2. Физический смысл η и D .
3. Единицы измерения η и D в СИ и в СГС.

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 № 121а «Исследование вязкости и диффузии воды»

1. В работе использовать дистиллированную хорошо отфильтрованную воду.
2. В работе используется модуль 10 «Капилляр-вискозиметр». Капилляр модуля необходимо не реже, чем 1 раз в две недели чистить с помощью калиброванных проволочек из комплекта принадлежностей к данной работе.
3. Разъем «Д₂» 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** светодиода 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.

Показатели коэффициентов вязкости при соответствующих температурах

T ⁰ C	0	7	27	47	67	87
$\eta \cdot 10^{-4}$ па с	17.5	14.2	8.2	5.6	4.1	3.2

«Физические величины» М., Наука, 1991, с 370.