

# ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ СПЕЦПРАКТИКУМ

## Работа №8

### ГРАДУИРОВКА РЕОМЕТРА

#### 1. Цель работы

- 1.1. Закрепить лекционный материал по методам измерения расхода и скоростей жидкости и газа в трубах и каналах.
- 1.2. Освоить метод измерения расхода газа с помощью реометра; ознакомиться с устройством разных типов реометров.
- 1.3. Провести градуировку реометра по одному газу; получить градуировочную зависимость и оценить погрешности измерений.

#### 2. Краткая теория метода

При движении жидкости в трубах постоянного сечения скорость и кинетическая энергия потока по длине труб не меняются, а на преодоление сопротивления трения твердых стенок тратится потенциальная энергия, и, соответственно, по длине труб в потоке снижается давление (статическое). В результате между концами любого участка трубы для возможности движения жидкости необходим перепад давления  $\Delta P$ . Величина этого перепада давления  $\Delta P$  зависит от вязкости жидкости или газа, расхода и скорости, размеров трубы (или капилляра). Если вес газа мал, то геометрическое расположение капилляра практически не играет роли.

На рисунке 1 представлена схема реометра. Реометр состоит из капилляра 1 и манометра 2. К концам капилляра 1 подсоединен жидкостный U – образный манометр 2. В зависимости от расхода газа через капилляр, соответственно перепаду давления  $\Delta P$  на его концах, на манометре устанавливается определенный перепад высот  $\Delta h$  уровней жидкости между правым и левым его коленами. Проградуировав реометр при разных, измеренных другим способом расходах газа, можно по величине  $\Delta h$  определять расход данного газа.

Кроме того, из закона Пуазейля для ламинарного движения вязкой несжимаемой жидкости

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{\pi r^4}{8l\eta} \Delta P \quad (1)$$

следует, что расход газа обратно пропорционален коэффициенту динамической вязкости  $\eta$ . Следовательно, имея градуировку  $v/t=f(\Delta h)$  для одного газа, можно найти зависимость для любого другого газа, как

$$\frac{v}{t} = \frac{\eta_{zp}}{\eta} f_{zp}(\Delta h), \quad (2)$$

где  $\eta_{zp}$  – коэффициент динамической вязкости газа, для которого была получена градуировочная зависимость  $f_{zp}(\Delta h)$ ,  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости газа, расход которого нужно измерить.

Градуировку реометра проводят обычно либо по газовым часам, либо с помощью сосуда с водой, измеряя расход по количеству вытесненной газом воды.

### 3. Методические указания для измерения расхода газа

Схема лабораторной установки для измерения расхода газа с помощью реометра представлена на рис.1.

Газ из баллона 1 (рис.1) с помощью редуктора 2 поступает в шланги и проходит через маностат 3, который служит для поддержания постоянства расхода газа. На рисунке 1 капилляр реометра обозначен цифрой 4, манометр реометра – 5. Манометр реометра выполнен наклонным. При этом изменению высоты уровня жидкости  $\Delta h$  в наклонной трубке манометра соответствует отсчет по шкале  $\Delta l = \Delta h / \sin \varphi$ , где  $\varphi$  - угол наклона шкалы. Поскольку  $\Delta l > \Delta h$ , точность измерений наклонного манометра выше, чем вертикального.

После прохождения по капилляру 4 реометра газ через трехходовой кран 6 поступает в сосуд с водой 7. По трубке 8 вода из сосуда при открытии крана 9 выливается в мерный стакан 10.

Чтобы объем вытекшей из сосуда воды был равен объему поступившего в него газа, следует поддерживать постоянное значение давления газа над водой в сосуде 7. В данном опыте это значение давления равно атмосферному, что контролируется наклонным манометром 11 типа ММН-240.

### 4. Порядок выполнения работы

4.1. Ознакомиться с описанием работы и лабораторной установки, с устройством и принципом действия манометра ММН-240 и редукторов по предлагаемой инструкции.

4.2. Зафиксировать нулевое положение мениска жидкости по шкале наклонного манометра 5 реометра.

4.3. Установить на микроманометре 11 «ноль» отсчета с помощью мениска жидкости в измерительной трубке на средней части шкалы для наблюдения отклонения от атмосферного давления.

4.4. Измерить температуру воздуха в комнате во время опыта.

4.5. Повернуть кран 6 на атмосферу и вентилем редуктора 2 отрегулировать расход газа через систему так, чтобы через жидкость маностата 3 проходили под давлением редкие пузырьки газа (барботирование). Вентиль редуктора надо открывать осторожно (медленно), чтобы избежать возможности выброса запорной жидкости маностата.

4.6. Зафиксировать показание градуируемого реометра по длине столба рабочей жидкости  $l$  в наклонной трубке и измерить расход газа. Для измерения расхода газа, прошедшего через капилляр, необходимо краном 6 соединить реометр с сосудом 7, затем направить слив воды из него по соединительной трубке (линии) с вентилем 9 в мерный сосуд 10. Регулируя расход воды вентилем 9, добиться, чтобы в сосуде 7 установилось атмосферное давление. При этом показание микроманометра 11 должно соответствовать нулевому отсчету, установленному ранее (п.4.3.).

Определить по секундомеру время, в течение которого вода наполнит часть объема мерного сосуда по выбранным меткам уровней жидкости. После этого краном 6 вновь соединяют сосуд 7 с атмосферой, а слив воды из него перекрывают вентилем 9 или дополнительным зажимом-защипом.

4.7. Опуская трубку маностата 3 (одновременно увеличивая вентилями редуктора 2 расход газа) и меняя, таким образом, расход газа через капилляр 4 и соответствующие ему показания реометра  $l$ , повторяют все измерения, получая 20-25 значений разностей уровней  $\Delta l$  от 0 до  $\Delta l_{max}$ .

4.8. Вычислить расход воды и, следовательно, равный ему расход газа, прошедшего через капилляр реометра  $Q = V/t, \text{ см}^3$  и построить график

$Q = f(\Delta l)$ . Рассчитать зависимость  $Q = f(\Delta l)$  по методу наименьших квадратов и нанести её на тот же график для сравнения.

- 4.9. Аналогичные измерения проделать для другого газа (двуокиси углерода) 5-6 раз. Рассчитать по формуле (2) зависимость  $Q = f(\Delta l)$  для  $CO_2$  и построить график на том же листе, что и для гелия. Сравнить экспериментальные и теоретические результаты для  $CO_2$ .
- 4.10. Оценить погрешность измерений, недостатки методики экспериментальной установки.
- 4.11. Составить отчет по работе, ответить на поставленные вопросы в п.5.

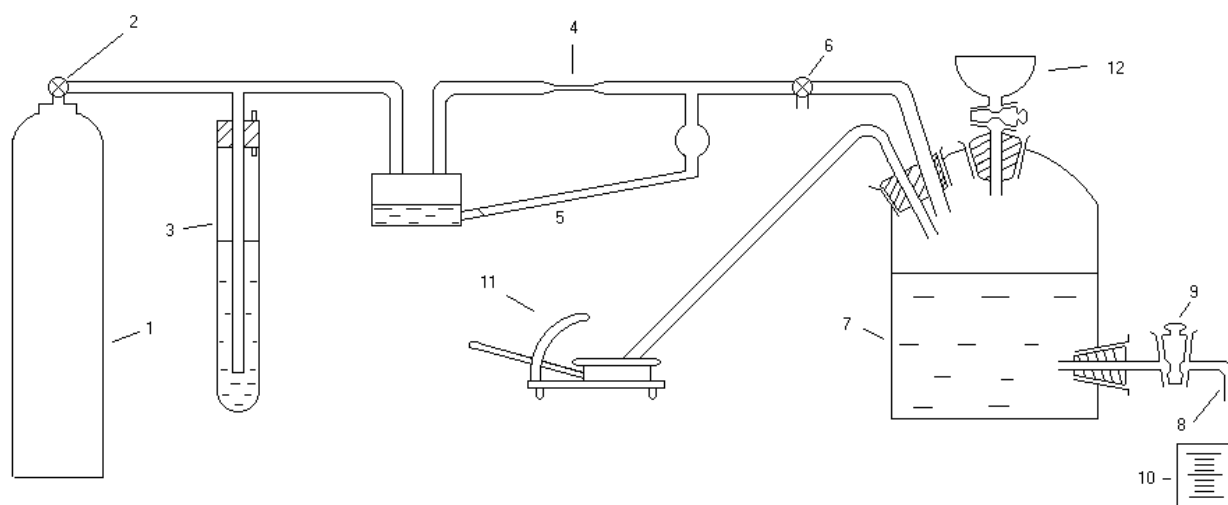
### **5. Вопросы для самостоятельной подготовки**

- 5.1. Нарисовать по памяти схему установки, воспроизвести и обосновать последовательность измерений.
- 5.2. Описать схему устройства микроманометра типа ММН с пятью диапазонами измерения и принцип измерения малых давлений с его помощью. Каким образом и почему нулевое значение его показаний устанавливается в середине шкалы?
- 5.3. От чего зависит перепад давления на концах капилляра, необходимый для протекания газа?
- 5.4. Какова роль маностата, можно ли проводить градуировку реометра без него?
- 5.5. Почему измеряемый расход воды можно принимать равным расходу газа при градуировке реометра?
- 5.6. Можно ли вместо воды использовать другую жидкость? Могут ли быть ограничения для применения жидкости в зависимости от вида газа, протекающего через капилляр?
- 5.7. Какими другими методами можно измерять расход газа при градуировке реометров?
- 5.8. Какие измерения дают наибольшую погрешность результата? Как можно усовершенствовать установку, чтобы повысить точность измерений?
- 5.9. Какова будет градуировочная зависимость для одного и того же газа, но при другой температуре окружающей среды?

### **6. Литература**

1. Микроманометр ММН-240. Инструкция.

### Схема экспериментальной установки



1-баллон с газом; 2-редуктор; 3-маностат; 4-капилляр; 5-манометр реометра; 6-трехходовой кран; 7-сосуд с водой; 8-трубка; 9-кран; 10-мерный сосуд; 11-микроманометр ММН-240; 12-воронка.

Рис 1.