**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ
ТРЕНИЯ ПО ДЛИНЕ ТРУБЫ

**Задачи работы**: определить опытным путем коэффициенты сопротивления в водопроводной трубе (труба указывается преподавателем) при различных режимах движения и сравнить значения, полученные из опытов, с вычисленными по соответствующим формулам.

**Оборудование и инструмент**: лабораторная установка, мерный бак, секундомер, мерная линейка, штангенциркуль.

Потери напора по длине или потери на трение *hw* при движении жидкости в напорном трубопроводе определяются по формуле Дарси:

, (2.1)

где *hw* – потери напора по длине, м;

*λ* – коэффициент сопротивления трения по длине;

*l* – длина трубы, м;

*d* – диаметр трубы, м;

– средняя скорость воды в трубе, м/с;

*g* – ускорение свободного падения, м/c².

Коэффициент *λ* является безразмерной переменной величиной, зависящей от ряда характеристик – от диаметра и шероховатости трубы, вязкости и скорости течения жидкости.

Влияние этих характеристик на величину *λ* зависит от режима движения жидкости. При одних значениях чисел Рейнольдса *Re*, характеризующих режим движения, на величину *λ* влияет в большей степени скорость, при других – диаметр и шероховатость трубы – (высота выступов шероховатости Δ).

В связи с этим различают четыре области сопротивления, в каждой из которых изменение *λ* имеет свою закономерность.

а) Первая область называется областью ламинарного режима, которая имеет место при *Re* ≤2300. В этой области сопротивления коэффициент *λ* зависит от числа Рейнольдса *Re* и не зависит от шероховатости Δ. При ламинарном режиме коэффициент *λ* определяется по формуле Пуазейля:

. (2.2)

Остальные три области сопротивления имеют место при тур­булентном режиме движения жидкости с различной степенью турбулентности.

б) Вторая область называется гидравлически гладкие трубы. Она ограничивается числами Рейнольдса 2300<*Re*≤105. Эта область характерна для турбулентного потока при сохранении ламинарного движения у стенок трубы, если толщина ламинарного слоя *δ* значительно больше высоты выступов шероховатости Δ. В этом случае ламинарный слой полностью покрывает неровности стенок трубы и последние не оказывают тормозящего влияния на поток жидкости. Толщина ламинарного слоя при этом определяется по формуле:

. (2.3)

Коэффициент *λ* в области гидравлически гладких труб определяется по формуле Блазиуса:

. (2.4)

в) Третья область называется переходной от области гидравлически гладких труб к квадратичной области (гидравлически шероховатых труб). Эта область находится в пределах 105<*Re*≤3×106. В этом случае толщина ламинарного слоя равна или чуть меньше выступов шероховатости *Δ*, которые выступают как препятствия, увеличивая турбулентность и сопротивления. Для переходной области значение *λ* определяется по формуле Альтшуля:

. (2.5)

г) Четвертая область называется областью гидравлически шероховатых труб или квадратичной. Она начинается при *Re*>3×106 В этой области коэффициент *λ* не зависит от скорости потока и определяется по формуле Шифринсона:

. (2.6)

**Порядок выполнения работы:**

Ознакомиться с установкой. Наполнить водой напорный бак *1* (рис. 1) до перелива её через переливную трубу *7*. Далее открыть вентиль *4* для обеспечения очень небольшого расхода по трубопроводу *2*. Выждав, когда движение воды станет установившимся, засечь с помощью секундомера время наполнения мерного резервуара. Одновременно измеряются показания пьезометров *h*1 и *h*2; присоединённых к трубопроводу на расстоянии *l* один от другого.



Рис. 1. Схема установки для определения коэффициента сопротивления по длине трубы:

1 – напорный резервуар; 2 – трубопровод; 3 – мерный резервуар;

4 – регулировочный вентиль; 5, 6 – пьезометры; 7 – переливная труба

Разность показаний пьезометров покажет потери напора по длине *hw*=*h*1-*h*2, а из формулы Дарси (2.1) можно будет определить опытное значение коэффициента сопротивления трения по длине:

. (2.7)

Таким образом, зная размеры трубопровода *l* и *d* можно определить коэффициент *λ*. Напомним, что скорость воды в трубе определяется через расход по известным формулам:

Полученное опытное значение *λоп* нужно сравнить с расчётным по соответствующей формуле. Для этого следует выявить значение температуры воды *T* и соответствующий ей коэффициент кинематической вязкости *υ* (из лабораторной работы № 1), определить число Рейнольдса по формуле:

 . (2.8)

По полученному числу Рейнольдса определить режим движения жидкости и область сопротивления, для которой и вычислить коэффициент *λтеор* по соответствующей формуле, приведённой в разделе «Общие сведения».

Опыт повторить несколько раз, меняя степень открытия вентиля 4, доведя его в последнем опыте до полностью открытого положения.

Учитывая, что непосредственное измерение выступов шероховатости в трубе затруднительно, то можно воспользоваться следующими значениями *Δ*, мм:

|  |  |
| --- | --- |
| латунные цельнотянутые | *–* 0,01; |
| стальные цельнотянутые (новые) | *–* 0,05; |
| то же (бывшие в эксплуатации) | *–* 0,2 *–* 0,3; |
| чугунные (новые) | *–* 0,2 *–* 1,0; |
| то же (бывшие в эксплуатации) | *–* 0,8*–*1,5 |
| асбестоцементные (новые) | *–* 0,1 |
| то же (бывшие в эксплуатации) | *–* 0,6 |
| стеклянные | *–* 0,0015 *–* 0,010 |

По окончании опытов перекрыть доступ воды в напорный бак и закрыть вентиль 4 на трубопроводе.

Таблица 1

Результаты измерения и обработка опытных данных

|  |  |
| --- | --- |
| Показатели | Опыты |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. Материал трубы |  |  |  |  |
| 2. Диаметр трубы, *d*, см |  |  |  |  |
| 3. Площадь сечения трубы *S*, см² |  |  |  |  |
| 4. Протекающий объем воды в бак *V*,см³ |  |  |  |  |
| 5. Время наполнения *t*, с |  |  |  |  |
| 6. Расход *Q*, см³/с |  |  |  |  |
| 7. Средняя скорость , см/с |  |  |  |  |
| 8. Длина трубы *l*, см |  |  |  |  |
| 9. Показание пьезометра *h*1, см |  |  |  |  |
| 10. Показание пьезометра *h*2, см |  |  |  |  |
| 11. Потери напора по длине *hw*, см |  |  |  |  |
| 12. Коэффициент *λоп* по опытным данным |  |  |  |  |
| 13. Шероховатость трубы Δ, см |  |  |  |  |
| 14. Температура воды *Т*, 0 С |  |  |  |  |
| 15. Кинематическая вязкость *υ*, см²/с |  |  |  |  |
| 16. Число Рейнольдса *Re* |  |  |  |  |
| 17. Режим движения |  |  |  |  |
| 18. Область сопротивления |  |  |  |  |
| 19. Коэффициент *λтеор* по формуле: |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

Таблица 1

Результаты измерения и обработка опытных данных

|  |  |
| --- | --- |
| Показатели | Опыты |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. Материал трубы | сталь |
| 2. Диаметр трубы, *d*, см | 1,5 |  |  |  |
| 3. Площадь сечения трубы *S*, см² |  |  |  |  |
| 4. Протекающий объем воды в бак *V*,см³ | 1900 |
| 5. Время наполнения *t*, с | 231 | 115 | 73 | 24 |
| 6. Расход *Q*, см³/с |  |  |  |  |
| 7. Средняя скорость , см/с |  |  |  |  |
| 8. Длина трубы *l*, см | 520 |
| 9. Показание пьезометра *h*1, см | 234,7 | 226 |  233,7 | 233 |
| 10. Показание пьезометра *h*2, см | 234,1 | 198 | 233 | 220 |
| 11. Потери напора по длине *hw*, см |  |  |  |  |
| 12. Коэффициент *λоп* по опытным данным |  |  |  |  |
| 13. Шероховатость трубы Δ, см | 0,02 |  |  |  |
| 14. Температура воды *Т*, 0 С | 20 |  |  |  |
| 15. Кинематическая вязкость *υ*, см²/с | 1\*10-2 |  |  |  |
| 16. Число Рейнольдса *Re* |  |  |  |  |
| 17. Режим движения |  |  |  |  |
| 18. Область сопротивления |  |  |  |  |
| 19. Коэффициент *λтеор* по формуле: |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

Т=20 0С