**Задача 4.3.2. (8 вариант)**

Вода самотеком перепускается из одного резервуара в другой по трубопроводу (см. рис.). Определить расход при заданных уровнях Н1 и Н2, пренебрегая неустановившемся характером течения и полагая, что в первом приближении режим течения соответствует квадратичной области с абсолютной эквивалентной зернистой шероховатостью k. Построить диаграмму уравнения Бернулли, а также найти время выравнивания уровней. Геометрические размеры трубопровода даны в таблице, температура воды t = 20 0C .

D:\Мои документы\8 вариант.jpg

**Дано:**

L1 = 70 м ;

L2 = 10 м ;

L3 = 20 м ;

L4 = 25 м ;

d1 = 100 мм = 0,1 м ;

d3 = 200 мм = 0,2 м ;

d4 = 150 мм = 0,15 м ;

Н1 = 12 м ;

Н2 = 5 м ;

Н3 = 6 м ;

α = 600 ;

k = 0,3 мм = 3·10-4 м ;

t = 20 0C ;

D1 = 5 м ;

D2 = 3 м .

Q - ? T - ?

**Решение:**

Из справочных данных: кинематическая вязкость воды при t = 20 0C ν = 1,006·10-6 м2/с , плотность воды при этой же температуре ρ = 998 кг/м3 .

Запишем уравнение Бернулли для двух сечений, совпадающих с уровнями воды в резервуарах. Плоскость сравнения – по оси трубопровода (в самой нижней его части).

Z1 + P1/ρ·g + α1·V12/2·g = Z2 + P2/ρ·g + α2·V22/2·g + hw .

Здесь

Z1 = H1 + H2 ; Z2 = H3 ; P1 = P2 ; α1 = α2 = 1 (в предположении турбулентного режима) ; V1 = V2 = 0 ; hw – потери напора .

Получим:

H1 + H2 – Н3 = hw .

где

hw = hД + hМ ,

где

hД – потери напора по длинне ;

hМ – местные потери напора .

Из геометрических соображений

L1-2 = H2/sin α = 5/sin 600 = 5,774 м .

Получим:

hМ = ξ1·V12/2·g + 2·ξ2·V12/2·g + ξ3·V32/2·g + ξ4·V42/2·g + ξ5·V42/2·g =

= (ξ1 + 2·ξ2)·V12/2·g + ξ3·V32/2·g + (ξ4 + ξ5)·V42/2·g .

Здесь

ξ1 = 0,5 – коэффициент при входе в трубу ;

ξ2 = 0,18 – коэффициент при повороте на 600 (центральный угол 1200) ;

ξ3 – коэффициент при внезапном расширении ;

ξ3 = (d32/d12 – 1)2 = (0,22/0,12 – 1)2 = 9 ;

ξ4 – коэффициент при внезапном сужении ;

ξ4 = 0,5·(1 – d42/d32) = 0,5·(1 – 0,152/0,22) = 0,219 ;

ξ5 = 1 – коэффициент при выходе из трубы (истечение под уровень) .

hД = λ1·((L1 + L1-2 + L2)/d1)·V12/2·g + λ3·(L3/d3)·V32/2·g + λ4·(L4/d4)·V42/2·g .

Коэффициент гидравлического трения

λ = 0,11·(k/d + 68/Re)0,25 = 0,11·(k/d + 17·ν·π·d/Q)0,25 .

Также с учетом того, что

V = Q/S = 4·Q/π·d2 ,

запишем

H1 + H2 – Н3 = 12 + 5 – 6 = 11 = hw = hД + hМ =

= (ξ1 + 2·ξ2)·8·Q2/π2·g·d14 + ξ3·8·Q2/π2·g·d34 + (ξ4 + ξ5)·8·Q2/π2·g·d44 +

+ 0,11·(k/d1 + 17·ν·π·d1/Q)0,25·((L1 + L1-2 + L2)/d1)·8·Q2/π2·g·d14 +

+ 0,11·(k/d3 + 17·ν·π·d3/Q)0,25·(L3/d3)·8·Q2/π2·g·d34 +

+ 0,11·(k/d4 + 17·ν·π·d4/Q)0,25·(L4/d4)·8·Q2/π2·g·d44 =

= (8·Q2/π2·g)·((ξ1 + 2·ξ2)/d14 + ξ3/d34 + (ξ4 + ξ5)/d44 +

+ 0,11·(k/d1 + 17·ν·π·d1/Q)0,25·((L1 + L1-2 + L2)/d1)/d14 +

+ 0,11·(k/d3 + 17·ν·π·d3/Q)0,25·(L3/d3)/d34 +

+ 0,11·(k/d4 + 17·ν·π·d4/Q)0,25·(L4/d4)/d44) =

= (8·Q2/π2·9,81)·((0,5 + 2·0,18)/0,14 + 9/0,24 + (0,219 + 1)/0,154 +

+ 0,11·(0,3/100 + 17·1,006·10-6·π·0,1/Q)0,25·((70 + 5.774 + 10)/0,15 +

+ 0,11·(0,3/200 + 17·1,006·10-6·π·0,2/Q)0,25·(20/0,25 +

+ 0,11·(0,3/150 + 17·1,006·10-6·π·0,15/Q)0,25·(25/0,155) ,

т.е.

11 = 0,083·Q2·[+

+ ] .

Расход Q найдем графоаналитическим методом:

Н , м

 Q , л/с

Получили, при Н = 11 м расход Q = 23 л/с = 0,023 м3/с .

Вычисления для построения диаграммы уравнения Бернулли:

V1 = 4·Q/π·d12 = 4·0,023/π·0,12 = 2,928 м/с ;

V3 = 4·Q/π·d32 = 4·0,023/π·0,22 = 0,732 м/с ;

V4 = 4·Q/π·d42 = 4·0,023/π·0,152 = 1,302 м/с ;

V12/2·g = 0,437 м ; V32/2·g = 0,027 м ; V42/2·g = 0,086 м ;

0,5·V12/2·g = 0,219 м ;

0,11·((0,3/100 + 17·1,006·10-6·π·0,1/0,023)0,25·70/0,1)·2,9282/2·9,81 = 8,023 м ;

0,18·V12/2·g = 0,079 м ;

0,11·((0,3/100 + 17·1,006·10-6·π·0,1/0,023)0,25·5,774/0,1)·2,9282/2·9,81 = 0,662 м ;

0,18·V12/2·g = 0,079 м ;

0,11·((0,3/100 + 17·1,006·10-6·π·0,1/0,023)0,25·10/0,1)·2,9282/2·9,81 = 1,146 м ;

9·V32/2·g = 0,246 м ;

0,11·((0,3/200 + 17·1,006·10-6·π·0,2/0,023)0,25·20/0,2)·0,7322/2·9,81 = 0,063 м ;

0,219·V42/2·g = 0,019 м ;

0,11·((0,3/150 + 17·1,006·10-6·π·0,15/0,023)0,25·25/0,15)·1,3022/2·9,81 = 0,349 м ;

1·V42/2·g = 0,086 м .

Выполним построения:

Н , м

L , м

Время выравнивания уровней воды в резервуарах рассчитывается по формуле :

Т =

где

D1 , D2 – диаметры резервуаров ;

d – минимальный диаметр соединительного трубопровода ;

H – первоначальная разность уровней воды в резервуарах ;

g – ускорение свободного падения .

Вычислим :

Т = ≈ 4211,82 с = 70,2 мин = 1 ч 10 мин 12 с .

**Ответ:** Q = 0,023 м3/с = 23 л/с ; Т = 4211,82 с = 70,2 мин = 1 ч 10 мин 12 с .