**Задание к расчетно-графической работе по гидродинамике**

:

На схеме изображена система, состоящая из гидробака (резервуара) и трубы переменного или постоянного сечения. Движение жидкости плотностью ***р*** происходит под действием давления, создаваемого баком. Согласно варианту определить:

1. Скорость истечения жидкости, расход и потери напора вдоль трубы, предполагая турбулентное движение.
2. Построить линию полных напоров и пьезометрическую линию (в масштабе).
3. Трубы стальные.
4. Сделать проверку правильности результатов расчета.
5. Уточнить режим движения жидкости в трубе, если кинематический коэффициент вязкости ***v***, м2/с.

Дополнительное задание

1. Найти зависимость ***Н = f***(Q), полагая турбулентный режим движения.
2. Построить графическую зависимость потребного напора от расхода - ***Нтр = f*** (Q





**СХЕМА 2**



Исходные Варианты 1(1) - 1(8). Схема 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дано | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| **жидкость** | Вода |
| ***H***, м | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 |
| Температура, С0 | 20 | 40 | 20 | 50 | 60 | 40 | 80 | 80 |
| L1, м | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4,8 |
| d, мм | 40 | 50 | 32 | 40 | 80 | 50 | 32 | 40 |
| L2, М | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4,8 |
| d2, мм | 32 | 25 | 20 | 30 | 50 | 30 | 20 | 25 |
| ***λ*** | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,025 | 0,04 | 0,02 | 0,02 |
| ***zкр*** | 2 | 1 | 3 | 1,5 | 2 | 2,5 | 1,5 | 1,0 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Исходные Варианты 1(9) - 1(16). Схема 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дано | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| **жидкость** | Масло индустриальное |
| ***H***, м | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 |
| Температура, С0 | 70 | 40 | 60 | 80 | 70 | 50 | 60 | 80 |
| L1, м | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4,8 |
| d, мм | 40 | 50 | 32 | 40 | 80 | 50 | 32 | 40 |
| L2, М | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4,8 |
| d2, мм | 32 | 25 | 20 | 30 | 50 | 30 | 20 | 25 |
| ***λ*** | 0,1 | 0,2 | 0,15 | 0,1 | 0,1 | 0,15 | 0,15 | 0,1 |
| ***zкр*** | 2 | 1 | 3 | 1,5 | 2 | 2,5 | 1,5 | 1,0 |

Исходные Варианты 2(1) - 2(8). Схема 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дано | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Жидкость | Вода |
| Температура, С0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 40 | 50 | 60 | 80 |
| *H***, м** | 4,8 | 4,0 | 5,0 | 3,0 | 4,0 | 2,5 | 4,5 | 3,8 |
| Zн , м | 4,0 | 3,0 | 3,5 | 2,5 | 4,0 | 3,0 | 2,8 | 3,6 |
| z**к, м** | 2,0 | 1,0 | 1,5 | 1,0 | 2,0 | 1,2 | 1,3 | 2,0 |
| L1 , м | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 5 | 6 |
| L2, м | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 |
| D1, мм | 32 | 25 | 32 | 40 | 20 | 25 | 40 | 32 |
| D2, мм | 40 | 32 | 50 | 50 | 32 | 40 | 50 | 40 |
| λ | 0,03 | 0,03 | 0,025 | 0,02 | 0,03 | 0,025 | 0,025 | 0,02 |
| Ϛф | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 1,5 | 1,9 |

Исходные Варианты 2(9) - 2(16). Схема 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дано | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Жидкость | Масло индустриальное |
| Температура, С0 | 70 | 40 | 60 | 80 | 70 | 50 | 60 | 80 |
| *H***, м** | 4,8 | 4,0 | 5,0 | 3,0 | 4,0 | 2,5 | 4,5 | 3,8 |
| z , м*н ’* | 4,0 | 3,0 | 3,5 | 2,5 | 4,0 | 3,0 | 2,8 | 3,6 |
| *z* **, м***к* | 2,0 | 1,0 | 1,5 | 1,0 | 2,0 | 1,2 | 1,3 | 2,0 |
| L1 , м | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 5 | 6 |
| L2, м | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 |
| D1, мм | 32 | 25 | 32 | 40 | 20 | 25 | 40 | 32 |
| D2, мм | 40 | 32 | 50 | 50 | 32 | 40 | 50 | 40 |
| **λ** | 0,1 | 0,2 | 0,15 | 0,1 | 0,1 | 0,15 | 0,15 | 0,1 |
| **Ϛкр** | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 1,5 | 1,9 |

Исходные Варианты 5(1) - 5(8). Схема 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дано | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Жидкость | Вода |
| Температура, С0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 40 | 50 | 60 | 80 |
| ***р***0, МПа | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,035 | 0,045 |
| ***Н***, м | 4,8 | 4,0 | 5,0 | 3,0 | 4,0 | 2,5 | 4,2 | 5,0 |
| ***Zн*** , м | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 2,5 | 1,5 |
| ***Zк*** , м | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 3,0 |
| L1, м | 3,0 | 2,0 | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 2,0 | 2,5 | 3,5 |
| L2, м | 6,0 | 5,0 | 6,0 | 5,0 | 5,0 | 6,0 | 5,0 | 4,0 |
| ***D***1, мм | 32 | 40 | 50 | 50 | 32 | 40 | 40 | 50 |
| D2, мм | 25 | 32 | 32 | 40 | 20 | 25 | 32 | 32 |
| λ | 0,035 | 0,03 | 0,035 | 0,03 | 0,035 | 0,03 | 0,03 | 0,035 |
| ***Ϛкр***  | 0,5 | 0,15 | 1,6 | 3,0 | 0,75 | 1,5 | 1,0 | 0,8 |
| ***Ϛок*** | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 1,5 | 1,9 |

Исходные Варианты 5(9) - 5(16). Схема 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дано | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Жидкость | Масло индустриальное |
| Температура, С0 | 70 | 40 | 60 | 80 | 70 | 50 | 60 | 80 |
| ***р***0, МПа | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,035 | 0,045 |
| ***Н***, м | 4,8 | 4,0 | 5,0 | 3,0 | 4,0 | 2,5 | 4,2 | 5,0 |
| ***Zн*** , м | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 2,5 | 1,5 |
| ***Zк*** , м | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 3,0 |
| L1, м | 3,0 | 2,0 | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 2,0 | 2,5 | 3,5 |
| L2, м | 6,0 | 5,0 | 6,0 | 5,0 | 5,0 | 6,0 | 5,0 | 4,0 |
| ***D***1, мм | 32 | 40 | 50 | 50 | 32 | 40 | 40 | 50 |
| D2, мм | 25 | 32 | 32 | 40 | 20 | 25 | 32 | 32 |
| λ | 0,1 | 0,2 | 0,15 | 0,1 | 0,1 | 0,15 | 0,15 | 0,1 |
| ***Ϛкр***  | 0,5 | 0,15 | 1,6 | 3,0 | 0,75 | 1,5 | 1,0 | 0,8 |
| ***Ϛок*** | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 1,5 | 1,9 |

Справочные данные

**Вода ,** плотность **ρ = 1000 кг/м3**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура, С0 | 20 | 40 | 50 | 60 | 80 |
| Кинематическая вязкость ν∙106, м2/с | 1,006 | 0,659 | 0,540 | 0,478 | 0,365 |

**Индустриальное масло** плотность **ρ = 900 кг/м3**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура, С0 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| Кинематическая вязкость ν∙106, м2/с | 125 | 75 | 48 | 30 | 20 |

**Пример выполнения РГР по гидродинамике**

Рассмотрим методику решения поставленной задачи для нижеприведенной трубопроводной системы.

На схеме изображена система, состоящая из гидробака (резервуара) и трубы по которой течет жидкость под действием давления, создаваемого баком.

Определить:

1. Кинематическую вязкость заданной жидкости ***ν*** при указанной температуре и плотность ***ρ***  при 20 С0, считая ее независящей от температуры, а также Значение шероховатости стенок трубопровода ***Δ*** (воспользоваться справочной литературой).
2. Скорость истечения жидкости, расход и потери напора вдоль трубы, предполагая турбулентное движение и рекомендуемое ориентировочное значение коэффициента гидравлического сопротивления ***λ*** одинаковое для обоих участков трубопровода.
3. Построить линию полных напоров и пьезометрическую линию (в масштабе).
4. Сделать проверку правильности результатов расчета.
5. Уточнить режим движения жидкости в трубе, если кинематический коэффициент вязкости для заданной жидкости ***ν***, м2/с.

Дополнительное задание

1. Найти зависимость Н = f **(Q),** пологая турбулентный режим движения.
2. Построить графическую зависимость потребного напора от расхода - Нтр = f **(Q).**

Исходные данные:

Перекачиваемая жидкость – керосин при температуре t = 25 С0;

Трубы стальные, бесшовные.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| P0, МПа | H, м | Zн, м | Zк, м | l1, м | l2, м | d1, мм | d2, мм | Ϛкр | Ϛвх | λ |
| 0,05 | 4 | 1 | 2 | 8 | 12 | 32 | 20 | 2 | 0,5 | 0,03 |



Решение.

Из справочной литературы определим вязкость заданной жидкости при указанной температуре, ее плотность.

Для керосина при 25 С0  эти параметра равны: ν = 2,5∙10-6 м2/с; ρ =800 м3/с.

Запишем уравнение Д. Бернулли относительно сечений А-А (на свободной поверхности бака) и В-В на выходе жидкости из трубы в атмосферу.

 , (1)

или в свернутом виде:

 .

где ***НА*** , ***НВ***  - полный напор в сечениях А-А и В-В соответственно: – общие потери между ними.

 Напоры определяем относительно плоскости сравнения, проходящей через линию **0-0.**

Подставим в уравнение (1) граничные условия:

*;* ; *UA =0 (при Н = const).*

 *; ;* - скорость истечения жидкости из второй трубы,, т.к. режим движения турбулентный.

Получим:

 ,

или:

.

 Т.к. заданный трубопровод простой, состоящий из двух последовательно соединенных труб, то общие потери напора следует определять как арифметическую сумму всех потерь: *hвх* – потери на вход в трубу; и - потери на трение по длине трубопровода на соответствующих участках; *hвс* – потери на внезапное сужение потока при изменении диаметров трубы от *d1* к *d2* ; *hкр* - потери в кране. При этом любая местная потеря определяется по формуле , где ϛ – коэффициент местного сопротивления.

 Введем обозначение: ,

где ***Нрасп***  - располагаемый напор, т.е. гидростатический напор, создаваемый напорным баком на входе в трубопровод.

 Откуда

,

т.е. располагаемый напор затрачивается на преодоление всех сопротивлений и сообщение скорости ***U2***  на выходе потока жидкости из трубы.

Окончательно уравнение (1) принимает вид:

. (2)

 Неизвестных в уравнении два – ***U1*** и ***U2***. Выразим их через расход **Q,** который вдоль потока не изменяется. Из условия неразрывности потока следует:

,

где ***S1***и**S2** – площади поперечных сечений первого и второго участков трубопровода, равные соответственно:

 ; ,

откуда получаем значения скоростей на первом и втором участках трубопровода, выраженные через величину подачи **Q**:

; .

 С учетом полученных зависимостей уравнение (2) принимает вид:

.

Откуда получаем окончательную формулу для расчета расхода ***Q***:

 . (3)

 Все величины должны быть подставлены в уравнение (3) в системе «СИ», следует принимать в расчетах g = 9,81 м/с2.

 Определяем значения коэффициентов местных сопротивлений.

Вычислим ***Нрасп***.

м

Уравнение (3) в числах:

После округления получаем расход Q **≈** 0,9∙10-3 м3/с = 0,9 л/с.

 Скорости на первом и втором участках трубопровода:

 Уточним режим течения жидкости по критерию Re.

Для первой трубы

для второй трубы

В обеих трубах режим течения турбулентный, т.к. полученные числа Re превышают критическое значение Re = 2320.

 При турбулентном режиме течения в общем случае где – абсолютная шероховатость (мм), зависящая от материала стенки трубопровода.

 Из справочника для стальных бесшовных труб выбираем значение :

 При турбулентном режиме течения жидкости выделяют три зоны гидравлического сопротивления, границы которых определяются соотношением числа Re и величиной отношения (d/

1. Зона гидравлически гладких труб при соотношении ;
2. Зона доквадратичного сопротивления при соотношении
3. Зона квадратичного сопротивления при соотношении .

В нашем случае границы этих зон выглядят следующим образом.

Для первой трубы при : 2320→32010→533500.

Для второй трубы при : 2320→20010→333500.

 Отсюда следует, что течение в первой трубе при Re1 =14285 происходит в области гидравлически гладких труб при λ=ƒ(Re), а течение во второй трубе при Re2 =22856 в зоне доквадратичного сопротивления при λ=ƒ(Re;Δ ⁄ d).

 Вычислим уточненные значения коэффициентов гидравлического сопротивления.

 Для первой трубы при λ=ƒ(Re) рекомендуется использовать формулу Шифринсона:

.

Для второй трубы при λ=ƒ(Re;Δ ⁄ d) рекомендуется формула Альтшуля:

 . В числах .

Наибольшая относительная погрешность составляет:

.

Таким образом, потери по длине в нашем расчете несколько завышены, но т.к. погрешность не превышает 10%, результаты можно оставить без изменения.

 ***Указание:*** *при относительной погрешности превышающей 10% следует провести повторный расчет по уравнению (3), подставляя туда уточненные значения коэффициентов гидравлического сопротивления* λ1 и λ2, а *затем вновь провести проверку. Расчет считается законченным при достижении условия*