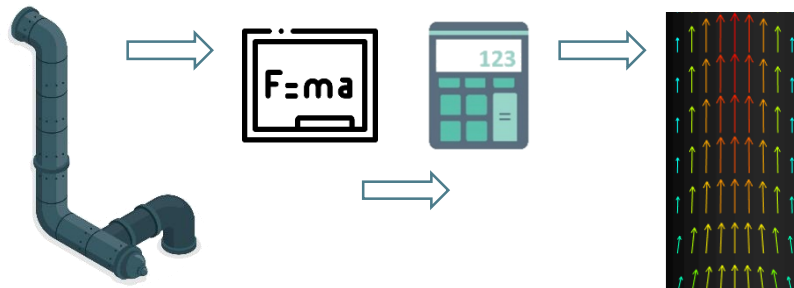


Модуль 1. Введение



www.freepik.com

Урок 4.1 Решение задач CFD. Анализ постановки

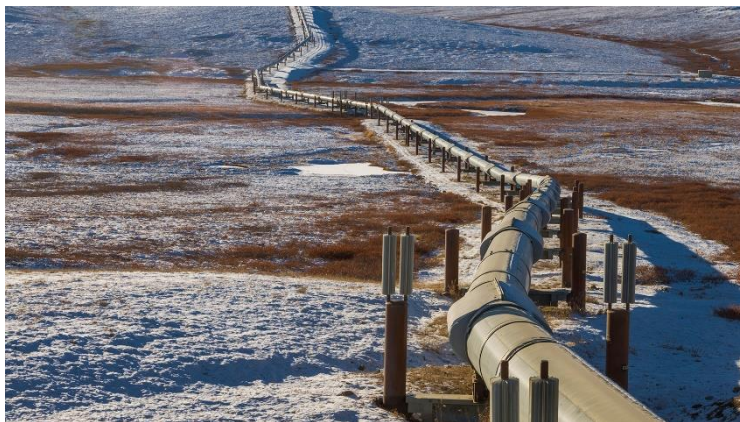
КОНЦЕПЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ

- Анализ постановки задачи

ЕСЛИ НЕОБХОДИМО ИСПОЛЬЗОВАТЬ CFD

- Подготовка геометрической модели
- Препроцессинг, расчет, постпроцессинг
- Оформление результатов (отчета)

Расчет гидравлических потерь



<https://grist.org/energy/the-irony-conocophillips-plans-to-freeze-thawing-permafrost-to-drill-more-oil/>

Задан Q_{out}



Магистральный насос: $H_{in} = ?$

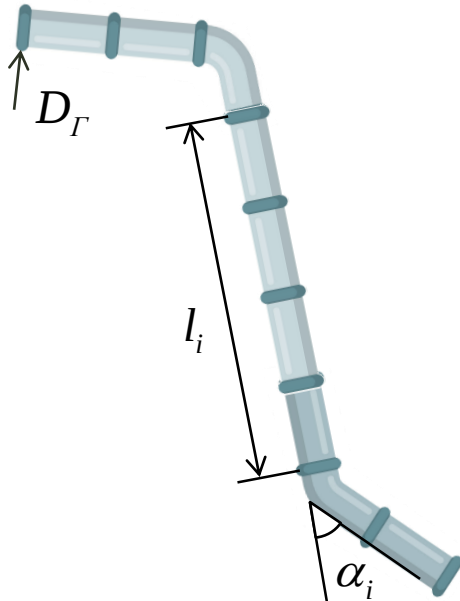
Анализ постановки задачи

- Что дано, что необходимо рассчитать?
- Достаточно ли входных данных?
- А ПК CFD вообще нужен?
- Каким должно быть решение?
- Как можно упростить задачу?
- Какие тонкости следует учесть?

В этом курсе

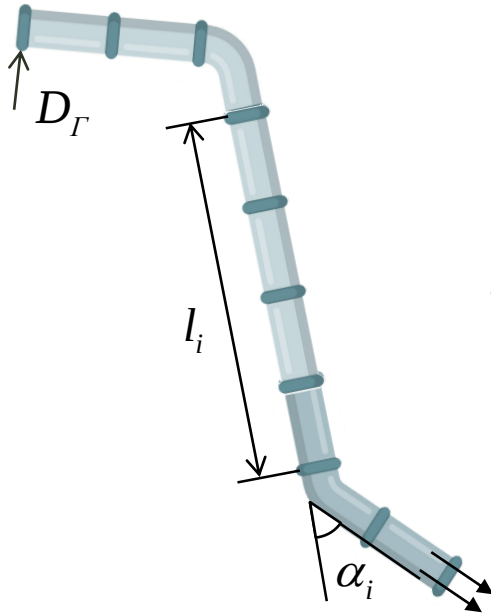
- Единицы измерения в системе СИ
- Графические схемы произвольны и не соответствуют ГОСТам

Дано



- Трубопровод
 - гидравлический диаметр
$$D_\Gamma = 1[\text{м}]$$
 - длины прямых участков
 - углы

Дано



- Нефть
 - плотность $\rho = 850 \text{ [кг/м}^3\text{]}$
 - вязкость $\eta = 0.0085 \text{ [Па} \cdot \text{с]}$
- Расход $Q = 0.000785 \text{ [м}^3\text{/с]}$

Необходимо рассчитать

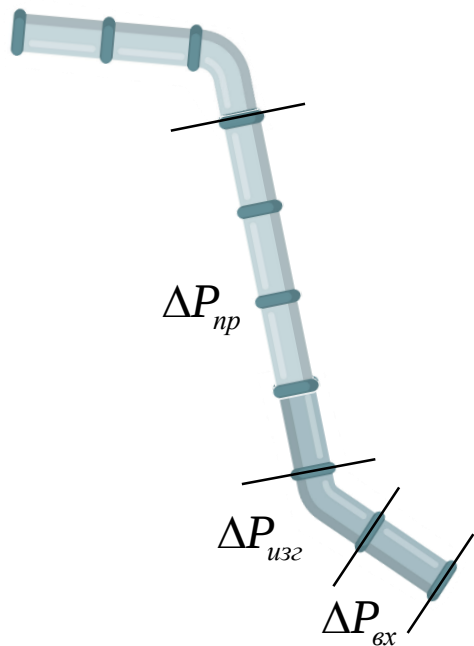
Полный напор

$$H_{in} = \boxed{z} + \frac{P}{\rho g} + \frac{V_{cp}^2}{2g}$$

$P = ? = \Delta P$ $V_{cp} = 4 \frac{Q}{\pi D_I^2} = 0.001 \left[\frac{м}{с} \right]$

РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Гидравлические потери



- На входе, на узлах арматуры и изгибах
 - отрыв потока
- На прямых участках
 - потери на трение

Нужен ли ПК CFD?

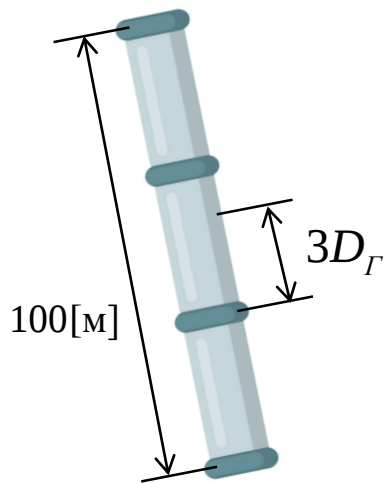
- Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям, -М: Книга по требованию, 2012
- Суммируем потери в таблице

E2 :    =СУММ(A2:D2)					
	A	B	C	D	E
1	$\Delta P_{\text{вх}}$	$\Delta P_{\text{пр}}$	$\Delta P_{\text{уг}_1}$	$\Delta P_{\text{уг}_2}$	$\Delta P_{\text{СУММ}}$
2	1.00E-02	1.00E-01	5.00E-02	5.00E-02	2.10E-01
3					

Нужен ли ПК CFD?

Задачу можно решить без ПК CFD
и даже без компьютера

Прямой участок трубопровода



- Длина участка
 $L = 100[\text{м}]$
- Можно выделить
 $l = 3D_{\Gamma}$
- Потери на участке

$$\Delta P_{np-L} = \frac{\Delta P_{np-l}}{l} L$$

Упрощение постановки задачи

- Задача становится понятнее
- Экономия вычислительных ресурсов

Коэффициент сопротивления

- Гидравлика

$$\Delta P_{np} = \boxed{\lambda} \frac{l}{D_\Gamma} \frac{\rho V^2}{2}$$

- Ламинарное течение, гладкие стенки

$$\boxed{\lambda = \frac{64}{\text{Re}}} \quad \text{где} \quad \text{Re} = \frac{\rho V_{cp} D_\Gamma}{\eta} = 100$$

- На участке $l = 3D_\Gamma$

$$\Delta P_{np} = \frac{64}{100} \cdot 3 \cdot \frac{850 \cdot 10^{-6}}{2} = 0.000816 [\text{Па}]$$

Грубая оценка результата

- ПК CFD нужен для задач
 - Анализа тепловых потерь
 - Расчета осаждения частиц
- Предварительная оценка адекватности решения
- Проверка корректности постановки сложной задачи

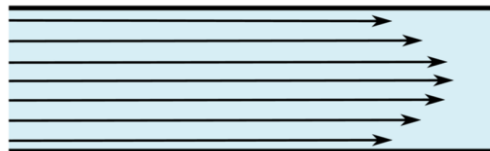
Режим течения



$Re = 100$

Прямой участок

- Течение стационарно
- Течение ламинарное



<https://www.cfdsupport.com/OpenFOAM-Training-by-CFD-Support/node334.html>

Аналитика для трубы

- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа, -М: Дрофа, 2004

$$V(r) = \frac{4\Delta P_{np} D_\Gamma^2}{2\eta l} (1 - r^2) \implies \Delta P_{np} = \frac{32\eta l V_{cp}}{D_\Gamma^2}$$

- На участке $l = 3D_\Gamma$

$$\Delta P_{np} = 32 \cdot 0.0085 \cdot 3 \cdot 0.001 = 0.000816 [Па]$$

$$\frac{32\eta l U_{cp}}{D_\Gamma^2} = \Delta P_{np} = \lambda \frac{l}{D_\Gamma} \frac{\rho V^2}{2} \implies \boxed{\lambda = \frac{64}{Re}}$$

Гладкость стенок трубы

ДОПУСТИМОЕ УПРОЩЕНИЕ ЕСЛИ
ШЕРОХОВАТОСТЬ НЕЗНАЧИТЕЛЬНА

Как особенности геометрической и
физической модели влияют на решение?

Сила тяжести

ПРИ ТЕЧЕНИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЕ
СИЛОЙ ТЯЖЕСТИ МОЖНО ПРЕНЕБРЕЧЬ

- Экспериментальная оценка



На уроке мы узнали

Анализ постановки задачи позволяет ответить на ряд ключевых вопросов относительно выбора подхода к решению и является базовым этапом решения задач инженерных расчетов, в том числе с использованием CFD

На следующем уроке

Этапы работы в ПК CFD