Решение уравнения на давление в наклонной трубе.

Начало координат расположим в устье скважины, расчет разностной схемы будем вести вниз от устья по стволу скважины, против направления потока и оси .

Дополним уравнение на градиент давления законом сохранения массы (уравнение неразрывности), уравнением состояния флюида (плотность от давления) и начальными условиями, получим систему уравнений:

Здесь – плотность жидкости в стандартных условиях, кг/м3  – сжимаемость жидкости, кг/м3/Па – плотность жидкости в элементарном участке трубы, кг/м3  – длинна элементарного участка трубы, м – перепад давления на элементарном участке трубы. Па – угол наклона трубы (угол между горизонтом и осью элементарного участка трубы), град – коэффициент трения Муди, Па∙с – диаметр скважины, м, - скорость потока в элементарном участке трубы, м/с

В таком случае в разностной схеме приращение аргумента будет отрицательным, это нужно будет учесть при расчете:

Разделим трубу длины на участков равной длины . На Рис.3 Без ограничения общности изображено разбиение на 3 участка:

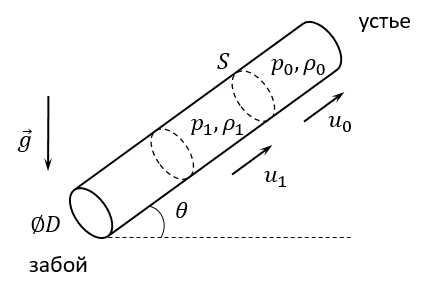


Рис.1 Дискретизация потока в наклонной трубе

Рассмотрим нулевой (устье) и первый участок. Поток на каждом участке характеризуется своими параметрами – скоростью, давлением и плотностью жидкости. Если смотреть со стороны первого участка, то через сечение на за время из первого участка в нулевой проходит масса жидкости . В то же время, если смотреть со стороны нулевого участка, то в него из первого за это же время протекает масса . Из закона сохранения массы следует:

Это и есть отражение того факта, что поток неразрывен. Именно об этом говорит условие (2) в постановке задачи.

Будем дальше записывать все уравнения для произвольного -го участка трубы. Зная параметры потока на -ом участке, можно из уравнений (1)-(4) найти параметры потока на участке с номером . Так, начиная с нулевого участка, находим параметры потока на первом участке. В нашем случае мы знаем начальное давление на устье и скорость потока (4). Скорость потока на устье определяется по формуле:

Где – дебит скважины м3/с

– площадь сечения трубы, м2

Далее, зная параметры на первом участке, находим их на втором и так далее, двигаясь по трубе до забоя, найдем характеристики всего потока вдоль всей трубы.

Из уравнения (1) на градиент давления, давление в первом участке может быть найдено на основании параметров потока в нулевом участке:

Здесь . Знак приближенного равенства в (5) говорит о потере точности при переходе от дифференциала к дискретным характеристикам. Чем меньше длина разбиения трубы номером , тем лучше будет точность.

Отсюда, с учетом уравнения состояния (3), получим

Из (7) с учетом (8) имеем:

Подставляя (9) в (6), получаем:

Или, собрав члены при степенях :

В результате решения уравнения относительно получим:

где

– плотность жидкости в стандартных условиях, кг/м3

– сжимаемость жидкости, кг/м3/Па

– плотность жидкости в элементарном участке трубы, кг/м3

– длинна элементарного участка трубы, м

– перепад давления на элементарном участке трубы. Па

– угол наклона трубы (угол между горизонтом и осью элементарного участка трубы), град

– коэффициент трения Муди,

– диаметр скважины, м

- скорость потока в элементарном участке трубы, м/с

Таким образом, на каждом участке разбиения трубы мы знаем приращение давления из (10). Далее из (9) находим , а из (8) вычисляем . Двигаясь последовательно от участка к участку вниз к забою, мы восстанавливаем все параметры потока.

При этом необходимо помнить, что согласно (7), приращение отрицательно!