Модель расчета градиента давления Xiao

Расслоенный режим потока.

1. Исходные данные: *Q*ж, *Q*г, *D*, νж, νг, ρж, ρг, α, *T*, *P*,
2. Определяется значение межфазного натяжения σ, Н/м:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется площадь поперечного сечения трубопровода *А*, м2:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Задаемся шагом изменения величины отношения уровня жидкости в трубе к диаметру *hL/D*, Δ*hL/D*. Изменение *hL/D* описывается следующей зависимостью:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется величина центрального угла θ, рад:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется площадь поперечного сечения трубопровода занятая жидкой и газовой фазами *AL*, *AG*, м3:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

1. Определяется смоченный периметр для жидкой и газовой фаз, *SL* и *SG*, м, и длина контакта фаз *Si*, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются гидравлические диаметры *DL* и *DG*, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются скорость течения каждой из фаз *vL*и *vG*, м/с:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются числа Рейнольдса для каждой из фаз:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются коэффициенты трения для жидкой и газовой фаз *FL*, *FG*, соответственно.

При *Re* ≤ 2000 коэффициенты трения определяются по следующим формулам:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

При *Re* > 2000 коэффициенты трения определяются по следующей формуле при помощи итерационного расчета:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется критическая скорость газа *vsg,t*, м/с, при которой режим течения меняется с расслоенного гладкого на расслоенный волнистый:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется приведенная скорость газа *vsg*, м/с:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. При диаметре *D* ≤ 0.127 м коэффициент трения *Fi* для зоны контакта фаз определяется как:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. При диаметре *D* > 0.127 м коэффициент трения для зоны контакта фаз ε определяется как:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где *NweNμ:*

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется коэффициент трения для зоны контакта фаз:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются касательные напряжения τ, Па:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Проверяется условие:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где g – ускорение свободного падения, м/с2.

При невыполнении данного условия расчет повторяют начиная с 4 шага, увеличивая значение *hL/D* на шаг.

1. Степень заполнения трубопровода жидкостью *EL* определяется из выражения:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется перепад давления *dP/dx,* Па/м:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Прерывистый режим потока.

1. Исходные данные: *Q*ж, *Q*г, *D*вн, νж, νг, ρж, ρг, α, *T*, *P*.
2. Определяется значение межфазного натяжения σ:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется площадь поперечного сечения трубопровода:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется скорость течения пробки *vs*:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где *vsL* – приведенная скорость жидкости, м/с;

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется степень заполнения жидкостью трубы в зоне пробки *Es*:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется скорость диспергированных пузырьков *vb*, м/с:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется скорость жидкости в зоне пробки *vL*, м/с:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются плотность и вязкость пробки ρs, кг/м3, и μs, Па⋅с, соответственно:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется число Рейнольдса для пробки:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются коэффициент трения для пробковой зоны:

При *Res* ≤ 2000 коэффициенты трения определяются по следующим формулам:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

При *Res* > 2000 коэффициенты трения определяются по следующим формулам при помощи итерационного расчета:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется скорость *vt*, м/с:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Задаемся шагом изменения степени заполнения трубы жидкостью в пленочной зоне:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется площадь поперечного сечения трубопровода занятая жидкой и газовой фазами *Af* и *AG*, соответственно, м2:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется отношение *hL/D* методом итерации:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется смоченный периметр для жидкой и газовой фаз и длина контакта фаз:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются гидравлические диаметры:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются скорость течения каждой из фаз:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются числа Рейнольдса для каждой из фаз:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются коэффициенты трения для жидкой и газовой фаз.

При Re ≤ 2000 коэффициенты трения определяются по следующим формулам:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

При Re > 2000 коэффициенты трения определяются по следующим формулам при помощи итерационного расчета:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются касательные напряжения для жидкой и газовой фаз и зоны контакта фаз:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Проверяется условие:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

При невыполнении данного условия расчет повторяют, начиная с пункта 12.

1. Определяется длина пробки *Ls*, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется длина всей зоны, на которой существует прерывистый режим течения, *Ls*, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется средняя плотность среды:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется перепад давления dP/dx, Па/м:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Кольцевой режим течения.

1. Исходные данные: *Q*ж, *Q*г, *D*вн, νж, νг, ρж, ρг, α, *T*, *P*.
2. Определяется значение межфазного натяжения σ:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется площадь поперечного сечения трубопровода:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Задаемся шагом изменения величины отношения толщины кольцевого слоя жидкости к диаметру Δ(*δ/D*). Изменение *δ/D* описывается следующей зависимостью:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Находится величина параметра FE по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Коэффициенты β определяются из таблицы, представленной ниже.

Таблица 1 – Определение коэффициентов β.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Стандартное значение | Зависимость параметра β от числа Рейнольдса | | | | | |
| 100-300 | 300-103 | 103-3⋅103 | 3103-104 | 104-3⋅104 | 3⋅104-105 |
| β0 | -2,52 | -0,69 | -1,73 | -3,31 | -8,27 | -6,38 | -0,12 |
| β1 | 1,08 | 0,63 | 0,94 | 1,15 | 0,77 | 0,89 | 0,45 |
| β2 | 0,18 | 0,96 | 0,62 | 0,40 | 0,71 | 0,70 | 0,25 |
| β3 | 0,27 | -0,80 | -0,63 | -1,02 | -0,13 | -0,17 | 0,86 |
| β4 | 0,28 | 0,09 | 0,50 | 0,46 | -1,18 | -0,55 | -0,05 |
| β5 | -1,80 | -0,88 | -1,42 | -1,00 | -0,17 | -0,87 | -1,51 |
| β6 | 1,72 | 2,45 | 2,04 | 1,97 | 1,16 | 1,67 | 0,91 |
| β7 | 0,70 | 0,91 | 1,05 | 0,95 | 0,83 | 1,04 | 1,08 |
| β8 | 1,44 | -0,16 | 0,96 | 0,78 | 1,45 | 1,27 | 0,71 |
| β9 | 0,46 | 0,86 | 0,48 | 0,41 | -0,32 | 0,07 | 0,21 |

1. Значения скоростей для жидкой и газовой фаз при кольцевом режиме течения определяют как:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются площади поперечного сечения трубы, занятые фазами:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются значения смоченного периметра и периметра границы раздела фаз:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Вязкость газового ядра и его диаметр определяют по формулам:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяют числа Рейнольдса для жидкой фазы и газового ядра:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяются коэффициенты трения для жидкой и газовой фаз.

При Re ≤ 2000 коэффициенты трения определяются по следующим формулам:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

При Re > 2000 коэффициенты трения определяются по следующим формулам при помощи итерационного расчета:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Определяется степень заполнения трубопровода жидкостью в газовом ядре:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Плотность газового ядра находится из выражения:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Касательные напряжения определяются из выражений:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Проверяется условие:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

При невыполнении условия расчет повторяют, начиная с пункта 4.

1. Степень заполнения трубы жидкостью определяется из выражения:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

1. Градиент давления dP/dx, Па/м, определяется из выражения:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |