

РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА

Г.Х. Пак, К.В. Синебрюхов

Научный руководитель профессор кафедры ТХНГ, доктор ф.-м.н. С.Н. Харламов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Целью подготовки нефти является получение товарной нефти, отвечающей требованиям покупателя относительно максимально допустимого количества воды, соли и других нежелательных примесей. Газ также проходит подготовку для достижения соответствия требованиям покупателя относительно точки росы (температуры конденсации водяного пара и углеводородов) для минимизации конденсации в процессе транспортировки [6, 7].

Специалисту по подбору оборудования при проектировании необходимо правильно выбрать будущее оборудование, которое будет установлено на промысле. Ошибки при подборе оборудования недопустимы.

В этой работе описывается устройство двух- и трехфазных газо-жидкостных сепараторов, используемых в нефтегазовой промышленности. Рассматриваются горизонтальные сепараторы. Описаны различные внутренние элементы сепаратора, предназначенные для отделения газа от жидкостей и одних жидкостей от других. В данной работе приведены типичные уравнения для расчета размеров резервуара.

Определение размеров сепаратора

Общие сведения. Ниже приводятся основные этапы (шаги) проектирования сепаратора [3].

1. Определить диаметр и длину на основе требований к жидкости. Проектные решения включают в себя минимальный размер удаляемых капель, время удержания, коагуляторы (например, пакеты пластин), амплитуду колебаний, уровни аварийных сигналов и движение.

2. Рассчитать площадь газа в поперечном сечении и длину резервуара. Проектные решения включают в себя требования к минимальному размеру удаляемой капли, каплеуловителю и скорости.

3. Выбрать диаметр и длину резервуара, удовлетворяющие требованиям шагов 1 и 2.

4. Выбрать входное устройство и выполнить итерации.

Размеры сепараторов обычно подбираются на основе теории осаждения или времени удержания жидкой фазы [3]. Для газообразной фазы используются теория осаждения или требования к туманоуловителю.

При гравитационном осаждении капли/пузырьки диспергированной фазы оседают со скоростью, определяемой равенством между силой тяжести, действующей на каплю/пузырек, и силой сопротивления, вызванной их движением относительно диспергирующей фазы [8].

В горизонтальных сепараторах для определения соотношения между длиной и диаметром сепаратора можно использовать простую баллистическую модель [1]. В вертикальных сепараторах выражение для определения диаметра сепаратора основано на теории осаждения.

Горизонтальные сепараторы. На основе теории осаждения капли с привлечением баллистической модели получаем выражение, приведенное ниже. Для капель жидкости в газовой фазе

$$\frac{L_{eff} \cdot d^2 \cdot F_c}{h_c} = 0,014285 \frac{(T+273,15) \cdot Z \cdot Q_g}{P} \left[\left(\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) C_D \right] \frac{1}{d_m^2}.$$

d — внутренний диаметр сепаратора, м, d_m — диаметр капли, мкм, h_g — высота пространства, занятого газовой фазой, м, F_g — относительная площадь поперечного сечения, занятая потоком газа, L_{eff} — эффективная длина резервуара, в котором происходит сепарация, м, T — рабочая температура, °C, Q_g — скорость потока (расход) газа, тыс. м³, P — рабочее давление, бар, Z — сжимаемость газа, ρ_l — плотность жидкости, кг/м³, ρ_g — плотность газа, кг/м³, C_p — коэффициент гидравлического сопротивления (расчет см. в приложении А).

Для пузырьков или капель жидкости в жидкой фазе:

$$\frac{L_{eff} \cdot d^2 \cdot F_c}{h_c} = \frac{Q_c}{246,45} \left[\left(\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) C_D \right] \frac{1}{d_m^2}$$

d_m — диаметр капли, мкм, h_c — высота пространства, занятого диспергирующей жидкой фазой, м, F_c — относительная доля площади диспергирующей фазы в поперечном сечении, ρ_d — плотность диспергированной жидкой фазы, кг/м³, ρ_c — плотность диспергирующей жидкой фазы, кг/м³, Q_c — скорость потока (расход) диспергирующей жидкой фазы, м³/сут [5].

Для потоков с низким значением числа Рейнольдса выражение может быть упрощено и получено выражение:

$$h_c = \frac{0,00003277 \cdot t_{rc} \cdot (\Delta \gamma) \cdot d_m^2}{\mu_c},$$

где t_{rc} — время удержания диспергирующей фазы, мин, μ_c — динамическая вязкость диспергирующей фазы, сП, $\Delta \gamma$ — соотношение удельных весов (тяжелая/легкая) диспергирующей и диспергируемой фаз.

Время удержания. Горизонтальные сепараторы. Соотношение между диаметром и длиной сепаратора определяется выражением

$$L_{eff} \cdot d^2 = \frac{t_{ro} \cdot Q_o \cdot t_{tw} \cdot Q_w}{1132 \cdot F_l},$$

где t_{ro} — время удержания нефти, мин, t_{tw} — время удержания воды, мин, Q_o — расход нефти, м³/сут,

Q_w — расход воды, м³/сут, F_1 — относительная доля площади, заполненной жидкостью, в поперечном сечении резервуара.

Соотношение между гидравлическим сопротивлением и выталкивающей силой определяется следующим выражением:

$$C_D \rho_c \frac{\pi d_v^2}{4} \frac{V_T^2}{2} = |\rho_c - \rho_d| \frac{g \pi d_v^3}{6},$$

где V_T^2 — конечная скорость, м/с, C_D — коэффициент гидравлического сопротивления капли / пузырька, ρ_c — плотность диспергирующей фазы, кг/м³, ρ_d — плотность диспергированной фазы, кг/м³, g — ускорение свободного падения, 9,81 м/с², d_v^2 — размер капли / пузырька диспергированной фазы, м [4].

Данное выражение можно представить в виде:

$$C_D Re^2 = \frac{4}{3} \frac{d_v^3 |\rho_c - \rho_d| \rho_c g}{\mu_c^2} = \frac{4}{3} Ar,$$

где μ_c^2 — вязкость дисперсной фазы, Па·с, Re — число Рейнольдса, Ar — число Архимеда.

Коэффициент гидравлического сопротивления зависит от числа Рейнольдса, Re , по которому его можно найти в таблицах значений коэффициента, определенным графическим способом (для значений числа Рейнольдса до 5000) в [2]:

$$C_D = \left(0,5423 + \frac{4,737}{Re/2} \right)^2, \text{ для } Re < 1 \text{ и } C_D = \frac{24}{Re}.$$

Форма выражения была выбрана с целью упростить решение уравнения для определения числа Рейнольдса, как показано в [1]:

$$Re = \left[\sqrt{19,075 + 2,129 \sqrt{Ar}} - 4,3675 \right]^2.$$

Необходимо отметить, что сепарационное оборудование занимает одно из основных мест в технике, расположенной на нефтегазопромысле, а так же занимает ведущее место в нефтегазопереработке. Проектирование и конструирование сепараторов получило широкое распространение в смежных областях хозяйственной деятельности. Проблемы в проведении технических разработок как раз связаны с такими аспектами, как отсутствие единого справочника по сепарационной технике, разность описаний процессов в связи с различными условиями проведения исследования. Создав единую международную базу, включающую в себя все виды сепараторов и расчетов для них позволит быстро и с большой точностью определить необходимый сепаратор для данного месторождения или участка месторождения.

Литература

1. Darby, R.: "Determining Settling Rates of Particles," Chemical Engineering (December 1996) 109.
2. Perry, R.H. and Green, D.W.: Perry's Chemical Engineers' Handbook, 5th editions, McGraw-Hill Book Co., New York City (1984) 5-66.
3. Дунюшкин И.И. Сбор и подготовка скважинной продукции нефтяных месторождений: Учебное пособие / И.И. Дунюшкин – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2006. – 320с.
4. Леонтьев С.А., Галикеев Р.М, Фоминых О.В. Расчет технологических установок системы сбора и подготовки скважинной продукции / Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – 116 с.
5. Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды: Учебник для вузов. – 3-е изд., стереотипное. Перепечатка со второго издания 2005г. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2005. – 319с.
6. Мильштейн Л.М., Бойко С. И., Запорожец Е. П. Нефтегазопромысловая сепарационная техника: Справочное пособие / Под ред. Л. М. Мильштейна. – М.: Недра, 2007.– 236с.
7. Ширковский А.И. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений / А.И. Ширковский. – М.: Недра, 1999. – 319с.
8. Шишмина Л.В. Сбор и подготовка продукции нефтяных скважин / Л.В. Шишмина. – Томск, 2014