



УДК 669

МЕХАНИЗМ ОСАЖДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ПОЛЕ

MECHANISM OF PRECIPITATION OF MECHANICAL IMPURITIES IN A CENTRIFUGAL FIELD

Хурмаматов Абдугаффар Мирзабдуллаевич

кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник лаборатории
«Процессы и аппараты химической технологии»,
Институт общей неорганической химии
Академии наук Республики Узбекистан

Исмаилов Ойбек Юлибоевич

младший научный сотрудник,
младший научный сотрудник лаборатории
«Процессы и аппараты химической технологии»,
Институт общей неорганической химии
Академии наук Республики Узбекистан
ismoilovnmpi@mail.ru

Аннотация. В статье сделано анализ механизма осаждение частиц механических примесей в центробежном поле.

Ключевые слова: нефть, углеводород, механический примесь, гидравлическая сопротивлениия, гидроциклон

Khurmamatov

Abdugaffar Mirzabdullaevich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Senior Researcher of the Laboratory
«Processes and Apparatus of
Chemical Technology»,
Institute of General Inorganic Chemistry of
the Academy of Sciences of
the Republic of Uzbekistan

Ismailov Oybek Yuliboevich

Junior Researcher,
Junior Research fellow of the laboratory
«Processes and Apparatus of
Chemical Technology»,
Institute of General Inorganic Chemistry of
the Academy of Sciences of
the Republic of Uzbekistan
ismoilovnmpi@mail.ru

Annotation. The article analyzes the mechanism of precipitation of particles of mechanical impurities in a centrifugal field.

Keywords: oil, hydrocarbon, mechanical impurity, hydraulic resistance, hydrocyclone.

Кроме пластовой воды и растворенного газа, в промысловой сырой нефти присутствуют механические примеси, которые представляют собой частицы глины, песка, солевые кристаллы и продукты коррозии добывающего оборудования.

Такие примеси приводят к эрозии нефтепроводных труб и вызывают появления на их стенках ненужных отложений. Допустимое содержание таких примесей в товарном сырье не может быть более 0,05 процента.

При соблюдении этого параметра срок эксплуатации трубопроводов и применяемого для перекачки оборудования составляет от пяти до семи лет, с допустимой степенью износа в результате эрозии от 0,005 до 0,010 миллиметров в год.

Осаждения частиц механических примесей в составе углеводородной смеси основано на использовании инерции частиц, т.е. центробежной силы. Частицы механических примесей внутри гидроциклона обычно вводятся в верхнюю часть корпуса аппарата, представляющего собой в большинстве случаев цилиндр, заканчивающийся в нижней части конусом. Входящий патрубок гидроциклона (в основном прямоугольной формы) обязательно располагают по касательной к окружности цилиндрической части. Очищенный поток выходит из аппарата через круглую трубу, расположенную по оси гидроциклона [1].

После входа в гидроциклон поток движется сверху вниз, вращаясь вначале в кольцевом пространстве между наружной цилиндрической поверхностью гидроциклона и центральной выходной трубой, а затем в корпусе гидроциклона, образуя внешний вращающийся вихрь.

Минимальный диаметр частиц [2], полностью сепарирующихся из криволинейного потока в аппарате, в зависимости от скорости потока и геометрии гидроциклона в условиях равенства центробежной силы силе сопротивления среды за время (τ) пребывания частицы в гидроциклоне:

$$d_{min} = \sqrt{\frac{9\mu(R_2^2 - R_1^2)}{\rho\omega^2\tau}} = \sqrt{\frac{9\mu(R_2^2 - R_1^2)}{2\pi R n \rho^2}}, \quad (1)$$

где ω – скорость потока в гидроциклоне, принимаемая равной скорости потока во входном патрубке гидроциклона и скорости частиц, находящихся в нем, м/с; τ – время пребывания частиц механических примесей в гидроциклоне, с; μ – вязкость среды, Па·с; R_1 – радиус выхлопной трубы, м; R_2 – внешняя граница потока, м; R – переменная величина, определяемая по следующей зависимости:



$$R = \frac{R_1 + R_2}{e}, \text{ м.}$$

Здесь n – число кругов, которые совершают твердые частицы в гидроциклоне (обычно $n = 2$); ρ – плотность твердых частиц, кг/м^3 ; R_1 – внутренняя граница потока, м.

Формула (1) отражает чрезвычайно высокую эффективность, обеспечивающую полное отделение от жидкого потока сравнительно мелких частиц механических примесей. В действительности такого абсолютно полного отделения не достигается, зачастую происходит проскок очень крупных частиц механических примеси.

Такая картина четко прослеживается при очистке нефтегазоконденсатных смесей.

Анализ функционирования используемых гидроциклонов свидетельствует:

- с повышением скорости потока эффективность очистки гидроциклона повышается. Однако при больших скоростях рост эффективности замедляется, но значительно увеличивается гидравлическое сопротивление. Поэтому величина скорости потока (нефтегазоконденсатной смеси) на входе в гидроциклон находится в интервале 20–25 м/с;

- крупные частицы механических примесей, увеличиваются за счет коагуляции плотность вещества, что ускоряет процесс осаждения;

- при уменьшении $(R_1 - R_2)$ сокращается путь, проходимый твердой частицы, что облегчает её осаждение.

Частицы, вынесенные с восходящим потоком $(R_1 - R_2)$, покидают гидроциклон в потоке осевого течения.

В результате сепарационного процесса периферийные слои гидроциклонного течения обогащаются твердыми частицами. Чем больше концентрация частиц в очищаемом потоке, тем больше вероятность их столкновения. В результате неупорядоченного движения одиночных твердых частиц механические примеси, в частности, при их отскоке, в некоторой мере амортизируются.

Как известно, инерция твердых частиц, взвешенных в жидких потоках, проявляется при любых изменениях потока. В технике для очистки нефтегазоконденсатной смеси от твердых частиц широко используется инерционная сепарация, происходящая при длительном искривлении потоков. Увеличивая время воздействия сил инерции, можно добиться сепарации к наружным границам потока сравнительно мелких твердых частиц.

Траектории твердых частиц представляют собой спирали с последовательно убывающими радиусами полярного радиуса, т.е. асимметрически приближающиеся к окружности большого радиуса. Чем крупнее частицы, тем меньше искривлена их траектория.

Уравнение, определяющее тангенциальную составляющую скорости движения частицы, имеет вид:

$$\omega = \frac{K + C_0 e^{-\frac{t}{\tau}}}{R}, \tag{2}$$

где $K = \omega R = \text{const.}$

$$K = \frac{\omega_0 (R_2 - R_1)}{\ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{Q}{\ln \frac{R_2}{R_1}}, \tag{3}$$

где Q – объёмный расход нефтегазоконденсатной смеси; ω_0 – осевая скорость потока; R_1 – радиус потока; R_2 – радиус аппарата.

Во вращающихся потоках реальных вязких среды наблюдается распределение скоростей по закону, несколько отличающемуся от закона (3), а именно:

$$K = \omega R^n, \tag{4}$$

где n – число частиц в единице объема.

Если принять $n = 0,5$, то объёмный расход потока выразится формулой

$$Q = \eta \int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{R^{0,5}},$$

откуда

$$Q = 2R (R_2^{0,5} - R_1^{0,5}). \tag{5}$$



Соответственно

$$K = 0,5 \omega_0 (R_2^{0,5} - R_1^{0,5}). \quad (6)$$

При $\omega = \text{const}$ течение является вихревым, поскольку все частицы потока вращаются вокруг собственных осей.

Сила сопротивления среды при её обтекании вращающимся потоком равна

$$F = 3\pi\mu_b d\omega_2 + \frac{1}{6}\pi\rho_b d^3 \omega \chi[\omega \cdot R] + \frac{1}{6}\pi\rho_b d^2 [\omega \cdot \omega_c], \quad (7)$$

где ρ – плотность твердых частиц, кг/м^3 ; R_1 – внутренняя граница потока, м; R_2 – внешняя граница потока, м.

Первый член уравнения (7) представляет собой силу Стокса в её обычном выражении, второй и третий члены – это дополнительные компоненты аэродинамической силы, обусловленные вращением потока.

Анализ выражений (2) и (7) показывает, что на движение цилиндрических частиц диаметром долей миллиметра и более, подъемная сила может оказывать существенное влияние, и длина нестационарного движения частицы различна для частиц разного размера.

Литература:

1. Поваров А.М. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. – М. : Недра, 1978. – 232 с.
2. Хурмаматов А.М. Гидроциклонная установка для глубокой очистки нефтегазоконденсатной смеси от механических примесей // Химическая промышленность. – Санкт-Петербург, 2013. – № 8. – С. 392–394.

References:

1. Povarov A.M. Hydrocyclones in concentrating plants. – M. : Nedra, 1978. – 232 p.
2. Khurramatov A.M. Hydrocyclone installation for deep cleaning of oil and gas condensate mixture from mechanical impurities // Chemical Industry. – St. Petersburg, 2013. – № 8. – С. 392–394.