

УДК 628.34

РАЗДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ЭМУЛЬСИЙ В СТРУЙНОМ АППАРАТЕ

М.П. ТЮРИН, Р.А. САФОНОВ, М.М. МАМОНОВА, М.А. АПАНУШКИНА, О.В. ПЛАТОНОВА

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина)

Предприятия текстильной и химической промышленности используют технологические процессы, при проведении которых образуются устойчивые маслосодержащие эмульсии. Утилизация таких эмульсий связана со значительными трудностями и материальными затратами, а также сопровождается загрязнением окружающей среды.

Кроме того, около 60% предприятий текстильной и химической промышленности для обеспечения своих производственных нужд оснащены собственными котельными, резервным топливом которых является мазут. При длительном хранении на дне емкостей для хранения мазута образуется густой осадок, состоящий из затвердевшего до асфальтоподобного со-

стояния мазута, твердых примесей и застаревших обратных мазутных эмульсий, достигающий 1,5 метров в высоту. Такой состав осадка не позволяет как-либо использовать его или перерабатывать. Осадок подлежит захоронению, более того, сам процесс извлечения этого осадка из мазутного бака очень трудоемок. Аналогичным образом приходится поступать со значительно загрязненным маслом.

Регенерация указанных отходов с возвратом ценных составляющих в производство является актуальной задачей и способствует повышению экологической и экономической эффективности производства.

Исследовались устойчивые эмульсии, содержащие воду и нефтепродукты. Согласно принятой классификации различают эмульсии: мелкодисперсные с размером капель воды от 0,1 до 20 мкм; средней дисперсности – от 20 до 50 мкм; грубодисперсные – с каплями воды от 50 до 300 мкм. В исследуемых эмульсиях нефтепродуктов содержались водяные капли, соответствующие всем трем перечисленным видам. На основании этого исследуемые эмульсии относятся к полидисперсным системам с размером капель от 5 до 300 мкм.

Кроме того, рассматриваемые эмульсии характеризуются большим содержанием механических примесей и являются множественными (ловушечными).

Теоретически водонефтяные эмульсии представляют собой неустойчивые системы, склонные к образованию минимальной поверхности раздела фаз. В этом случае они должны обладать хорошей способностью к расслоению. Однако в реальных условиях во многих случаях образуются эмульсии, обладающие высокой агрегативной устойчивостью. Это в значительной степени определяет выбор методов их дальнейшей переработки, а также глубину разделения фаз. Агрегативную устойчивость эмульсий измеряют временем их существования до полного разделения образующих эмульсию жидкостей.

Механизм образования агрегативно-устойчивых эмульсий и прямого, и обрат-

ного типа в настоящее время нельзя считать окончательно выясненным. Существует ряд общих теорий, объясняющих возникновение агрегативной устойчивости эмульсионных систем. Эти теории едины в том, что для придания агрегативной устойчивости эмульсионной системе, состоящей из двух чистых, несмешивающихся жидкостей (межфазное натяжение которых много больше нуля), необходимо присутствие третьего, стабилизирующего компонента, способствующего образованию бронирующих оболочек, то есть прочной гидрофобной пленки на поверхности глобул, что обуславливает агрегативную устойчивость эмульсионных систем.

К причинам, обуславливающим агрегативную устойчивость водонефтяных эмульсий, относят:

- образование структурно-механического слоя эмульгаторов на межфазной границе глобул жидкостей;
- образование двойного электрического слоя на поверхности раздела фаз в присутствии ионизированных электролитов;
- термодинамические процессы, протекающие на поверхности глобул дисперсной фазы;
- расклинивающее давление, возникающее при сближении глобул дисперсной фазы, покрытых адсорбционно-сольватными слоями.

К естественным стабилизаторам эмульсий относят содержащиеся в нефти асфальтены, смолы, нафтены и парафины, являющиеся природными ПАВ [1]. Кроме того, к ним относят мельчайшие твердые частицы веществ (глина, кварц, соли и т.д.), находящихся в эмульсиях во взвешенном состоянии.

Устойчивость большинства эмульсий типа "вода в нефти" со временем возрастает. В процессе старения эмульсии на глобулах воды увеличивается слой эмульгатора и соответственно повышается его механическая прочность. При столкновении таких глобул не происходит их коалесценции из-за наличия прочной гидрофобной пленки "бронирующей оболочки". Для слияния глобул воды необходимо эту

пленку разрушить и заменить ее гидрофильным слоем какого-либо ПАВ.

Деформация и разрушение бронирующих оболочек глобул воды в струйном аппарате происходит благодаря турбулентным пульсациям скорости движущегося потока, масштаб которых λ не превышает характерного размера капли (диаметра капли d_k). Размеры дробимых капель и масштаб турбулентных пульсаций должны удовлетворять условиям $\lambda_0 < \lambda \leq d_k$ (здесь λ_0 – внутренний масштаб изотропной турбулентности).

Критический диаметр капли, при которой она не будет дробиться в потоке эмульсии, для случая неоднородного потока находится из соотношения:

$$d_{кр} = \frac{19}{v} \left(\frac{\sigma}{\rho_n} \right)^{3/2} \left(\frac{D}{Re} \right)^{5/2}. \quad (1)$$

Таким образом, при $Re=50000$ $d_{кр}=500$ мкм, при $Re=500000$ $d_{кр}$ менее 1 мкм.

Деформация и дробление капель воды в высоко турбулентном потоке в струйном аппарате во многом обусловлены градиентами скорости и давления. Наличие этих градиентов приводит к тому, что на поверхности капля воды действуют различные динамические напоры, деформирующие капли.

Значительный вклад в разрушение бронирующих оболочек вносит также их соударение со стенками прямолинейного участка струйного аппарата, при этом образуется внутренняя фаза, свободная от бронирующих оболочек и с весьма большой свободной поверхностью.

Кроме разрушения бронирующей оболочки для разделения веществ важен процесс коалесценции, возможность которого определяется временем контакта двух капель достаточным для удаления пленки сплошной фазы. Укрупнение капель в большей степени зависит от частоты столкновения, жесткости контакта капель и времени их пребывания в потоке.

Частота ω столкновений дисперсных частиц в цилиндрической части аппарата может быть определена по формуле Смолуховского путем замены коэффициента диффузии при броуновском движении на коэффициент турбулентной диффузии:

$$\omega = 4\pi d D_T n, \quad (2)$$

где d – диаметр частицы; D_T – коэффициент турбулентной диффузии; n – число частиц в единице объема.

Значение коэффициента турбулентной диффузии для трубопровода определяется следующим выражением:

$$D_T = \frac{3,3 D u_0 10^{-3}}{\sqrt[8]{Re}}, \quad (3)$$

где D – диаметр трубопровода; u_0 – средняя объемная скорость потока.

Учитывая, что не все столкновения капля жидкости заканчиваются их слиянием, частоту актов слияния ω_k можно выразить как

$$\omega_k = k \omega, \quad (4)$$

где k – коэффициент эффективности столкновений.

Принимая турбулентный поток однородным по всей площади поперечного сечения трубопровода, процесс изменения укрупнения капель воды в установившемся режиме для элемента длиной $\Delta \ell$ можно описать уравнением (5):

$$n \frac{\pi d_t^3}{6} = \left(n - \frac{dn}{d\ell} \Delta \ell \right) \frac{\pi}{6} \left(d_t + \frac{d(d_t)}{d\ell} \Delta \ell \right)^3, \quad (5)$$

где n – число капель, диаметр которых равен d_t .

Изменение общего числа капель при их слиянии в процессе движения по элементу длиной $\Delta \ell$ определяется выражением:

$$n = \left(n - \frac{dn}{d\ell} \Delta \ell \right) + \frac{1}{2} \omega_k n \frac{\Delta \ell}{u_0}, \quad (6)$$

Учитывая малость элемента длины $\Delta\ell$, после соответствующих преобразований и учета граничного условия (при $\ell=0$ $d_t = d_0$), решение уравнений (5) и (6) можно представить в виде:

$$\left(\frac{d_t^2}{d_0^2} - 1\right) d_0^2 = \frac{8KD_T W}{u_0} \ell, \quad (7)$$

Отсюда получим выражение для длины прямолинейного участка, необходимого для коалесценции:

$$\ell = \left(\frac{d_t^2}{d_0^2} - 1\right) \frac{u_0 d_0^2}{8KD_T W} = \frac{(K_d^2 - 1)u_0 d_0^2}{8KD_T W}, \quad (8)$$

где $W = \pi d^3 / 6$ – обводненность смеси,

$$K_d = \frac{d_t^2}{d_0^2}.$$

Для повышения эффективности разрушения бронирующих оболочек используются различные устройства, позволяющие создавать в рабочем пространстве аппаратов требуемые гидродинамические режимы. Однако все они достаточно сложны и трудоемки в эксплуатации. В результате теоретических исследований предложен

метод разрушения бронирующих оболочек и последующей коалесценции глобул жидкости с использованием струйного аппарата, транспортирующего трубопровода и отстойного аппарата [2].

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены механизмы образования агрегативно устойчивых эмульсий.
2. Предложен метод разрушения бронирующих оболочек и последующей коалесценции глобул жидкости с использованием струйного устройства, транспортирующего трубопровода и отстойного аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сажин Б.С., Тюрин М.П., Сафонов Р.А., Сошенко М.В. Метод регенерации водных эмульсий // В сб.: Успехи в химии и химической технологии. – М., 2005, № 10 (58), Т. XIX.
2. Сафонов Р.А., Евтеева Ю.С. Установка для регенерации мазута // Мат. Всероссийск. научн.-техн. конф.: Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль-2005). – М., МГТУ, 2005.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 15.04.08.