

ЭМУЛЬГИРОВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ В РОТОРНО-ДИСКОВЫХ СМЕСИТЕЛЯХ

¹Лапонов С.В., ¹Иванов С.П., ¹Шулаева Т.В., ²Ибрагимов И.Г.

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал,
Стерлитамак, e-mail: Laponows92@mail.ru;

²Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

Приведены результаты экспериментальных исследований процессов эмульгирования в роторно-дисковых смесителях, содержащих подвижные и неподвижные диски с перфорациями и дополнительными элементами в виде зубьев. Обработываемая смесь, проходя через рабочий объем аппарата, подвергается интенсивному механическому и гидродинамическому воздействию со стороны рабочих органов. В качестве эталонных жидкостей использовались вода и дизельное топливо в различных пропорциях. Установлено, что обобщенным критерием характеризующим эффективность работы аппаратов, является безразмерный параметр пропорциональный площади поверхности перфораций и дополнительных элементов дисков. Определена зависимость характерного размера дисперсных частиц от диссипируемой мощности и конструктивных параметров смесителей. В качестве критерия эффективности передачи энергии от вращающегося диска в обрабатываемую среду, определяющую диссипируемую мощность, предлагается критерий Рейнольдса, в котором за характерный размер принимается отношение суммарной площади поверхности перфораций вращающегося диска к диаметру диска. Показано, что с увеличением критерия Рейнольдса характерный размер дисперсных частиц уменьшается $\sim Re^{-3/2}$ при этом разброс размеров частиц по размерам уменьшается. Из приведенных экспериментов следует, что изменяя конструкцию рабочих элементов аппаратов и скорость вращения ротора, можно изменять форму распределения дисперсных частиц по размерам и, как следствие, величину площади межфазной поверхности обрабатываемых жидких сред.

Ключевые слова: роторный, эмульсия, РДС, РПА, дезинтегратор, смеситель

LIQUIDS EMULSIFICATION IN ROTARY DISC MIXERS

¹Laponov S.V., ¹Ivanov S.P., ¹Shulaeva T.V., ²Ibragimov I.G.

¹Ufa State Petroleum Technological University, branch, Sterlitamak, e-mail: Laponows92@mail.ru;

²Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

There are the results of emulsification process experimental researches carried in rotor-disc mixers, which contain movable and unmovable discs with perforation and additional elements as the teeth. The processed mixture passing through the equipment work capacity is subjected to the intensive mechanical and hydro-dynamical influenced by the working tools side. A water and the diesel fuel in various proportions were used as the etalon liquids. It is established that the dimensionless parameter proportional to discs surfaces area is the common criterion, which characterized efficiency of device work. The dependence of dispersed particles characteristic size on the dissipated power and constructive parameters of mixers is determined. The Ronald criterion, in which characteristic size is adopted as the relation of total area of perforation surface of rotating disc to disc diameter, is adopted as the efficiency criterion of energy transfer from the rotating disc to the processed area. There is showed that in increase Ronald criterion the dispersed particles characteristic size is reduce $\sim Re^{-3/2}$ but in this the particles sizes scatter is reduce by sizes. There is follows from a given experiments that the form of dispersed particles distribution by sizes is change by the changing the construction of equipment working elements and the rotor rotation speed and consequently the area of interphase surface of the processed liquids.

Keywords: Rotary, emulsion, RDM, RPA, disintegrator, mixer

Процессы эмульгирования являются одними из самых распространённых химических технологий, от эффективности которых во многом зависит производительность и качество технологического цикла производства. Среди малообъемных перемешивающих устройств для процессов эмульгирования широко применяются, в частности, как малообъемные реакторы роторно-дисковые смесители (РДС) различных конструкций и модификаций, учитывающих особенности обрабатываемых сред. Данные аппараты хорошо зарекомендовали себя в химической, нефтеперерабатывающей, пищевой и фармацевтической промышленности. Основ-

ными достоинствами РДС являются его малые габаритные размеры, хорошая эффективность перемешивания, простота конструкции, надежность и возможность регулирования работы без конструктивных изменений [1–3].

Типовой РДС состоит из (рис. 1) загрузочных патрубков 1, 2, разгрузочного патрубка 3, цилиндрического корпуса 4 с зафиксированными неподвижными дисками 5, расположенными поочередно с подвижным диском 6, закрепленным на вращающемся роторе 7.

Основными показателями эффективности работы смесителей являются производительность аппарата, однородность

дисперсных частиц и их распределение по размерам и энергопотребление. Чем выше эффективность работы смесителя, тем меньше энергозатраты на создание эмульсии с заданным распределением дисперсных частиц по размерам, при одной и той же производительности [4–5].

В представленной работе приведены результаты экспериментальных исследований процесса эмульгирования в роторно-дисковых смесителях с четырьмя конструкциями рабочих органов. В качестве эталонных сред для проведения исследований использовали воду и дизельное топливо (ГОСТ305-2013), так как данные жидкости доступны, распространены, не токсичны, имеют разные плотности и поверхностные натяжения.

В корпус смесителя рабочим объемом 0,8 дм³ поочередно устанавливали комплекты подвижных и неподвижных дисков различных конструкций. Первый комплект состоит из гладких перфорированных дисков. Отверстия расположены таким образом, что при вращении ротора они поочередно совпадают и перекрываются с отверстиями подвижного диска. Обрабатываемая среда, проходя через рабочий объем аппарата, подвергается интенсивному механическому и гидродинамическому воздействию со стороны рабочих органов. Второй комплект состоит из двух неподвижных дисков с расположенными

по периферии отверстиями и одного подвижного диска с отверстиями, расположенными по центру диска. На нижней стороне верхнего неподвижного, на верхней стороне нижнего неподвижного и на обеих сторонах подвижного диска имеются дополнительные рабочие органы в виде зубьев (лопаток) прямоугольного сечения, приваренных к дискам радиально. Третий комплект отличается от второго наличием прорезей по длине зуба на расстоянии от его основания равной высоте. Четвертый комплект состоит из гладких неподвижных дисков с прорезями и расположенного между ними подвижного диска с отверстиями, расположенными по центру, и радиально расположенными зубьями, причем прорези на неподвижных дисках повторяют форму и расположение зубьев на подвижном диске. При вращении ротора зубья на подвижном диске перекрывают прорези на неподвижных дисках с определенной частотой и генерируют пульсации [6–7].

Экспериментальная установка (рис. 2) состоит из одноступенчатого проходного роторно-дискового смесителя 1, вал которого приводится в движение от асинхронного электродвигателя 2 ($N = 0,75$ кВт, $n = 3000$ об/мин), емкостей 3, 4 для воды и дизельного топлива, мерной емкости 5 для сбора эмульсии и частотного преобразователя 6 для изменения числа оборотов ротора смесителя и измерения мощности.

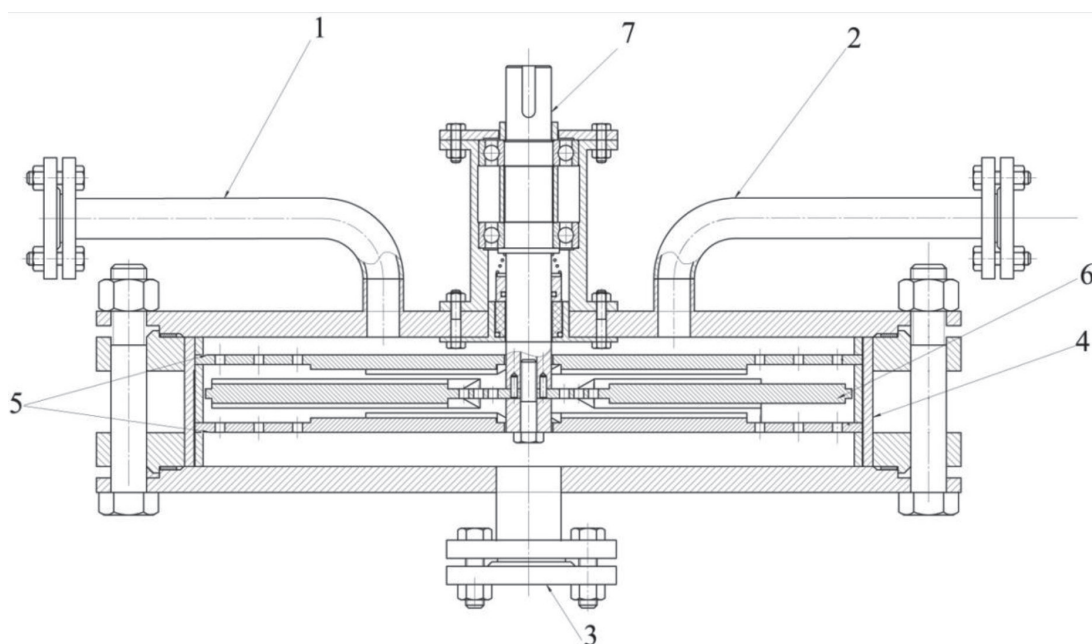


Рис. 1. Роторно-дисковый смеситель: 1, 2 – патрубки для ввода продуктов эмульгирования; 3 – выходной патрубков, 4 – корпус; 5 – неподвижные диски; 6 – подвижный диск; 7 – вал ротора

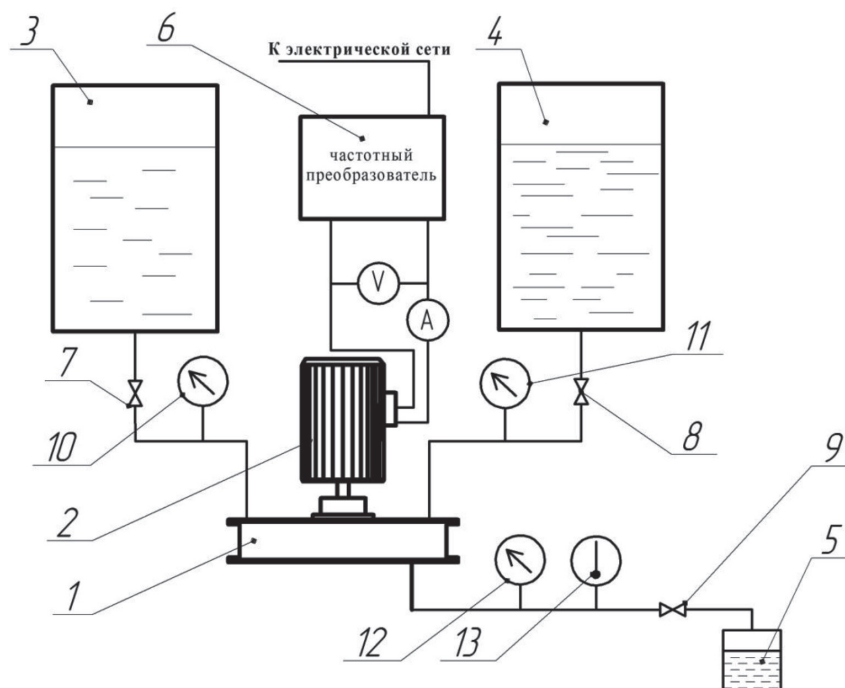


Рис. 2. Схема лабораторной установки: 1 – роторно-дисковый смеситель; 2 – асинхронный электродвигатель; 3, 4 – напорные емкости; 5 – мерная ёмкость; 6 – частотный преобразователь; 7, 8, 9 – краны; 10, 11, 12 – манометры; 13 – термомпара

В качестве компонентов обрабатываемой смеси использовались вода ($\rho = 998 \text{ кг/м}^3$, динамическая вязкость $1004 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$, кинематическая вязкость $1,006 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, поверхностное натяжение $0,07 \text{ Н/м}$ (при 273 К)) и дизельное топливо ($\rho = 860 \text{ кг/м}^3$, динамическая вязкость $560 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$, кинематическая вязкость $0,62 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (при 293 К)).

Эксперименты проводились следующим образом: при помощи частотного преобразователя 6 устанавливалась частота вращения ротора, в заданной пропорции подавались во входные патрубки вода и дизельное топливо из напорных емкостей 3 и 4, устанавливался расход обрабатываемой смеси краном 9, измерялась потребляемая мощность, фотометрическим методом исследовался дисперсный состав полученной эмульсии [8–10]. При помощи манометров 9, 11, 12 замерялось давление на входе в смеситель и выходе из него.

В качестве критерия эффективности передачи энергии от вращающегося диска в обрабатываемую среду будем определять критерий Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{V_{cp} d_p \rho}{\mu}, \quad (1)$$

где ρ , μ – плотность и динамическая вязкость смеси,

$V_{cp} = \omega R/2$, $\omega = 2\pi n$ – угловая скорость вращения,

R – радиус вращающегося диска.

Параметр d_p будет определяться как отношение суммарной площади поверхностей перфораций и зубьев диска S_p к диаметру диска D

$$d_p = \frac{S_p}{D}. \quad (2)$$

При таком определении параметра d_p критерий Рейнольдса примет вид

$$\text{Re} = \frac{\omega S_p \rho}{4\mu}. \quad (3)$$

Значения усредненного диаметра дисперсных частиц от критерия Re

| | | | | | |
|-----------------------|------|-----|------|------|-----|
| d, мкм | 20 | 16 | 12,5 | 10,8 | 9,8 |
| Re · 10 ⁻⁶ | 0,61 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |

В таблице приведены значения усредненного размера частиц эмульсии от критерия Re для трех типов вращающихся дисков при частоте вращения 1500 об/мин , соотношение вода/дт = 5/1. Для дисков первого типа $d_p \approx 94 \text{ мм}$, $\text{Re} \approx 0,615 \times 10^6$; для второго типа $d_p \approx 130 \text{ мм}$, $\text{Re} \approx 0,86 \times 10^6$; для третьего типа $d_p \approx 156 \text{ мм}$, $\text{Re} \approx 1,03 \times 10^6$.

Как видно из приведенной зависимости, с увеличением критерия Re усредненный размер дисперсных частиц уменьшается $\sim Re^{-3/2}$. Такая зависимость размеров дисперсных частиц от критерия Re объясняется тем, что с увеличением параметра d_p и Re увеличивается потребляемая мощность аппаратов (см. рис. 3), а следовательно, и величина диссипируемой в обрабатываемую смесь энергии, которая частично расходуется на увеличение межфазной поверхности, т.е. на уменьшение размеров дисперсных частиц.

На рис. 4 приведена зависимость $f(d)$ – доли частиц заданного размера к общему числу частиц выделенного объема. Исследования проводились с четырьмя комплектами указанных дисков при фиксированной частоте вращения ротора $\omega = 1500$ об/мин, концентрация компонентов вода/дизельное топливо = 5/1 и постоянном расходе обрабатываемой среды $Q = 0,2$ м³/ч.

Из графика видно, что с увеличением площади перфораций на рабочих органах РДС и установка дополнительных элемен-

тов (зубьев) приводит к общему уменьшению размеров дисперсных частиц. При этом разброс размеров частиц уменьшается. Устройство с «гладкими» дисками (первый комплект) создает эмульсию с «широким» спектром дисперсных частиц по размерам.

Такая трансформация распределения дисперсных частиц по размерам объясняется тем, что обрабатываемая среда, взаимодействуя с дополнительными рабочими органами (зубьями), подвергается более интенсивному механическому воздействию. Наличие прорезей вдоль основания зубьев обеспечивает создание дополнительных турбулентных потоков, которые способствуют процессам дробления.

На рис. 5 приведена зависимость размера дисперсных частиц от потребляемой мощности. Из графиков видно, что РДС, имеющие рабочие органы с увеличенной площадью перфораций, потребляют меньшую мощность для создания дисперсных частиц заданного размера. Это объясняется тем, что большая доля потребляемой мощности, диссипируемая в жидкость, затрачивается на процессы дробления.

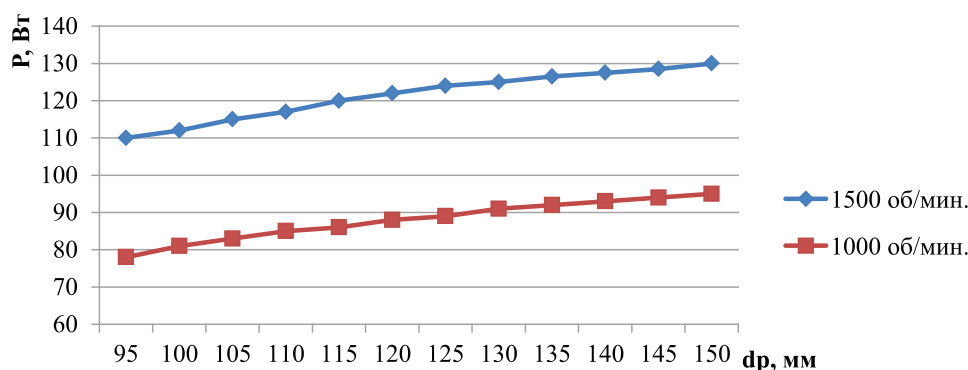


Рис. 3. Зависимость потребляемой мощности от параметра d_p

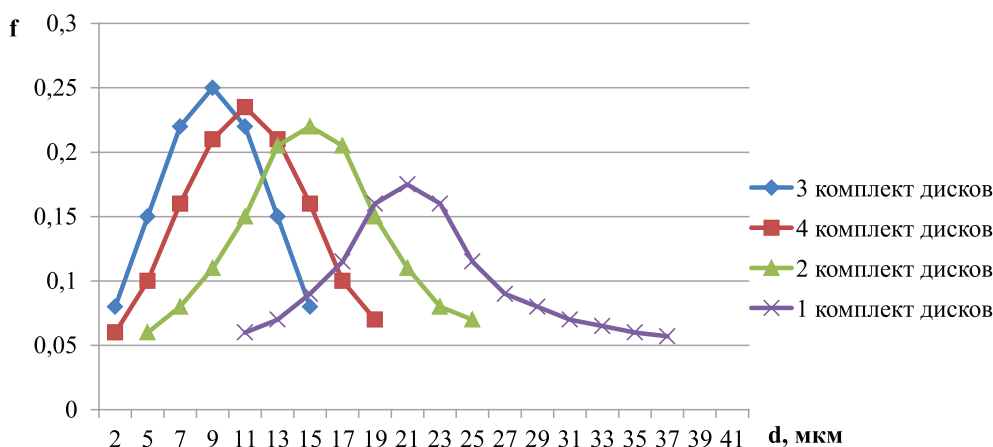


Рис. 4. Зависимость распределения дисперсных частиц по размерам

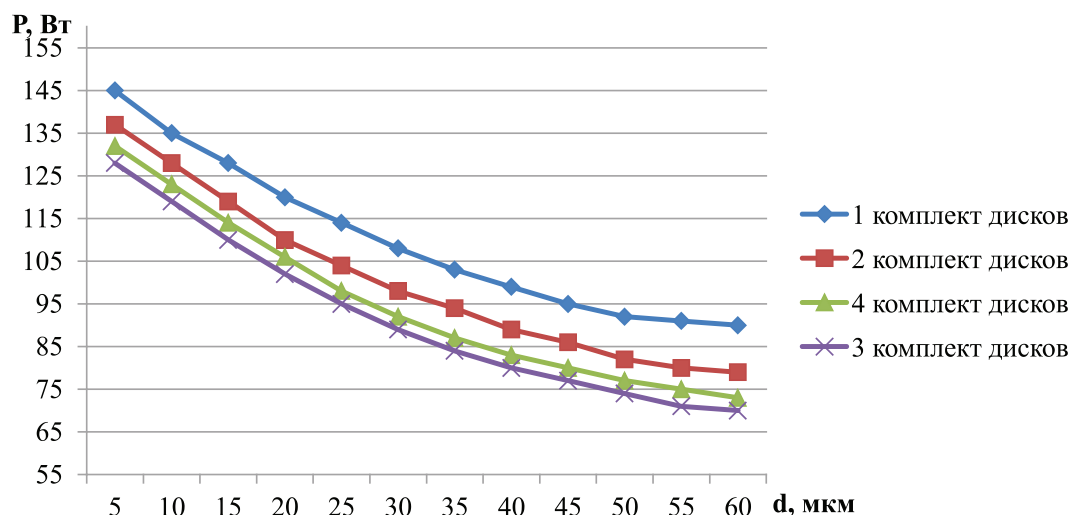


Рис. 5. Зависимость мощности на перемешивание от размера капли дисперсной фазы при неизменных оборотах вращения ротора $n = 1500$ об/мин: 1 – первый комплект дисков; 2 – второй комплект дисков; 3 – третий комплект дисков; 4 – четвертый комплект дисков

Выводы

Из приведенных результатов экспериментальных исследований следует, что, изменяя конструкцию рабочих органов аппаратов, можно изменять распределение дисперсных частиц по размерам и отклонение размеров частиц от среднего. Определена зависимость характерного размера дисперсных частиц от диссипируемой мощности и конструктивных параметров смесителей. В качестве критерия эффективности передачи энергии от рабочих органов среде предложен критерий Рейнольдса, в котором за характерный размер принимается отношение суммарной площади поверхности перфораций вращающегося диска к его диаметру. Установлено, что с увеличением значения критерия Рейнольдса усредненный размер дисперсных частиц уменьшается $\sim Re^{-3/2}$. Экспериментально доказано, что, изменяя конструкцию рабочих элементов аппаратов и скорость вращения ротора, можно изменять форму распределения дисперсных частиц по размерам. Эти особенности влияния конструкций рабочих органов на распределение дисперсных частиц и качество эмульсии необходимо учитывать при использовании роторно-дисковых смесителей в конкретных технологических процессах.

Список литературы

1. Лапонов С.В., Шулаев Н.С., Ибрагимов И.Г., Иванов С.П. Особенности эмульгирования в роторно-дисковых смесителях // Нефтегазовое дело. – 2016. – № 4. – С. 126–129.
2. Шулаев Н.С., Николаев Е.А., Иванов С.П. Малообъемные роторно-дисковые смесители. – М.: Химия, 2009. – 186 с.
3. Пат. РФ № 161841, МПК В02С 7/08. Лапонов С.В., Шулаев Н.С., Ибрагимов И.Г., Иванов С.П., Бондарь К.Е. Роторный измельчающий смеситель // Заявлено 20.11.2015. Опубл. 10.05.2016.
4. Промтов М.А. Метода расчета характеристик роторного импульсного аппарата / М.А. Промтов, А.Ю. Степанов, А.В. Алешин. – М.: Изд-во ФГБОУ ВПО ТГТУ, 2015. – 147 с.
5. Николаев Е.А. Разработка методов расчета и моделирование малообъемных роторных дезинтеграторов-смесителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2008. – 120 с.
6. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах // Физические основы и инженерные методы расчета. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.
7. Шулаев Н.С. Малообъемные роторные дезинтеграторы смесители для химической промышленности / Н.С. Шулаев, Е.А. Николаев, Е.В. Боев // Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех – 2006». – 2006. – С. 280.
8. Шулаев Н.С., Николаев Е.А., Боев Е.В. Методика проведения испытаний малообъемного роторного дезинтегратора-смесителя с целью получения энергетических характеристик // Естественные и технические науки. – 2007. – № 3. – С. 183–184.
9. Шулаев Н.С. Определение мощности малообъемных в роторных дезинтеграторов-смесителей при обработке жидких сред / Н.С. Шулаев, Е.А. Николаев, Е.В. Боев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2008. – № 4. – С. 3.
10. Шулаев Н.С., Николаев Е.А., Боев Е.В., Ширязданов Р.Р., Афанасенко В.Г. Очистка стоков производства гипохлорита кальция в роторном дезинтеграторе-смесителе // Экология и промышленность России. – 2008. – № 2. – С. 6–7.