

УДК 665.622.43

## ОБЕССОЛИВАНИЕ НЕФТИ С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПУЛЬВЕРИЗАЦИЕЙ ПРОМЫВОЧНОЙ ВОДЫ

В. Н. Швецов, И. И. Кабиров

Технология обессоливания и переработки нефти с применением промывочной воды и других реагентов независимо от позиции объяснения их сущности («усреднения» [1, 2] или «замещения» [3]) включает стадии ввода в нефть промывочной воды или реагента и перемешивания их с нефтью. При этом протекают процессы коалесценции капель остаточной соленой и промывочной воды и отстоя укрупнившихся капель. Эффективность этих процессов в значительной мере зависит от степени полидисперсности образующейся водонефтяной эмульсии. Наибольшая эффективность достигается при монодисперсности последней [1, 3].

Исследования дисперсного состава водонефтяных эмульсий установок подготовки нефти на ступени обессоливания показали (рис. 1), что остаточная пластовая соленая вода, как правило, на 80 % состоит из капель диаметром до 20 мкм, из которых примерно 45 % имеют размеры менее 10 мкм. На практике расхождение между теоретически рассчитанным и фактическим содержанием солей в товарной нефти, поступающей на обессоливающие установки [1], объясняется несоответствием размеров капель соленой и промывочной воды.

В результате большая часть промывочной воды, подаваемой в

нефть в грубодисперсном состоянии, не смешивается и не коалесцирует с мелкими каплями соленой воды, что обуславливает высокое остаточное содержание солей в нефти и низкий коэффициент использования промывочной воды [1, 2]. Таким образом, одним из важнейших факторов, определяющих эффективность процессов обессоливания нефти, является размер капель промывочной воды, который зависит от способа ввода ее в нефть и применяемого для этого устройства.

Наиболее часто используемые для диспергирования промывочной воды гидродинамические устройства сложны в управлении, образуют поли- и грубодисперсные эмульсии, требуют большого перепада давления между жидкостями. Промысловые исследования показали, что

Таблица 1

| Перепад давления на гидродинамическом диспергаторе, МПа | Содержание, %                               |                          |
|---|---|--------------------------|
|   | капель диаметром до 20 мкм промывочной воды | промывочной воды в нефти |
| 0,3   | 49,5  | 2,8                      |
| 0,5   | 58,0  | 2,6                      |
| 0,7   | 62,8  | 2,0                      |
| 0,9   | 69,2  | 1,4                      |
| 1,1   | 79,5  | 0,6                      |

для получения распределения капель промывочной воды по размерам, аналогичного приведенному на рис. 1, с помощью гидродинамического диспергатора конструкции ВНИИСПНефть необходим перепад давления 0,7—0,9 МПа.

Такой перепад обуславливает высокую энергоёмкость процесса диспергирования и приводит вследствие большого давления (до 1,7 МПа) в водоводах к частым разрывам системы нагрева и подачи промывочной воды. Кроме того, увеличение перепада давления на гидродинамическом диспергаторе, связанное с уменьшением выходного сечения его сопла, приводит к нежелательному уменьшению расхода поступающей в нефть воды (табл. 1).

Нами предложено для создания эмульсии нефти с промывочной водой использовать явление электрической пульверизации. Под действием электрического поля высокой

напряженности вода пульверизирует из отверстий малого диаметра в углеводородную среду в виде мельчайших капель. В этом случае необходим минимальный перепад давления между жидкостями, обеспечивающий в отсутствие электрического поля поступление промывочной воды в нефть в виде отдельных крупных капель.

Суть явления электрической пульверизации состоит в следующем. Общая энергия  $U$  единицы объема заряженной жидкости, например капли радиусом  $R$ , представляет собой сумму поверхностной и электрической энергий [4]:

$$U = \frac{3\sigma}{R} + \frac{2\pi(Rq)^2}{3\epsilon_0}$$

где  $\sigma$  — поверхностное натяжение;  $q$  — удельный (на единицу массы) заряд;  $\rho$  — плотность жидкости;  $\epsilon_0$  — диэлектрическая постоянная.

При возрастании заряда жидкость, стремясь уменьшить свою энергию, распадается на более мелкие капли. Взяв первую производную полной энергии по радиусу и приравняв ее нулю для создания условия равновесия, получим выражение для радиуса  $r$  капель, вновь образующихся при распаде поверхности жидкости:

$$r = 22,5 \left( \frac{\sigma}{E^2} \right)^{1/3} \left( \frac{M}{\rho\epsilon\gamma} \right)^{2/9} \quad (1)$$

где  $E$  — напряженность электрического поля;  $M$  — расход воды;  $\epsilon$ ,  $\gamma$  — диэлектрическая проницаемость и удельная электрическая проводимость воды.

Влияние различных факторов на процесс электрической пульверизации воды в углеводородную жидкость исследовали с помощью лабораторных электропульверизирующих устройств (ЭПУ) с различными взаимным расположением и конфигурацией электродов. Конструкция одного из устройств приведена на рис. 2. В качестве углеводородной жидкости в опытах использовали нефть и трансформаторное масло. В последнее добавляли антистатическую присадку сиббол для получения одинаковой с нефтью электропроводности.

Статистическую обработку результатов микроскопического дисперсного анализа образующихся при электропульверизации эмульсий проводили на ЭВМ с помощью программы, позволяющей получать

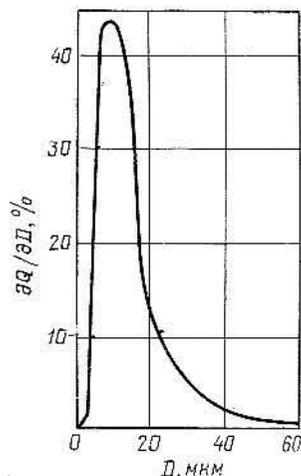


Рис. 1. Дифференциальная кривая распределения по размерам  $D$  капель пластовой воды в обезвоженной нефти ( $Q$  — общее число частиц дисперсной фазы).

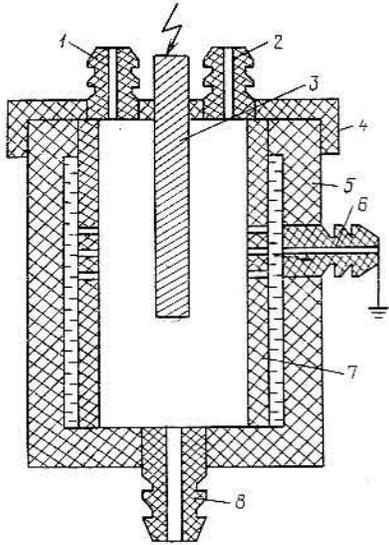


Рис. 2. Схема электропульверизирующего устройства (ЭПУ):

1 - патрубок для выхода воздуха; 2 - патрубок для ввода углеводородной жидкости; 3 - высокопотенциальный электрод; 4 - крышка; 5 - корпус; 6 - патрубок для ввода промывочной жидкости; 7 - перфорированный цилиндрический барабан; 8 - патрубок для вывода эмульсии.

числовые значения различных параметров распределения и интерпретировать их в виде дифференциальных кривых. В ряде экспериментов влияние различных факторов оценивали по изменению среднеарифметического диаметра капель воды в эмульсии (далее по тексту - среднего диаметра), доверительный интервал которого с вероятностью 0,95 составил 2 мкм.

Исследование влияния напряженности поля на процесс электропульверизации воды (рис. 3) показало, что, увеличивая напряженность электрического поля, размер капель вводимой в нефть воды можно изменять от сотни до не-

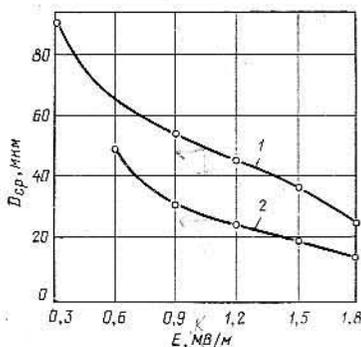


Рис. 3. Зависимость среднего диаметра  $D_{ср}$  капель воды в эмульсии, полученной при помощи ЭПУ, от средней напряженности  $E$  электрического поля при обводненности эмульсии:

1 - 0,5%; 2 - 0,25%.

скольких микрометров при высокой степени их монодисперсности. Полученные зависимости согласуются с теоретическими представлениями.

Физико-химические характеристики нефтей и применяемой для их обессоливания воды могут значительно различаться в зависимости от типа месторождения нефти, технологии ее добычи и используемых водных источников. С учетом этого, а также теоретической зависимости (1) было исследовано влияние физико-химических характеристик жидкостей на процесс электропульверизации промывочной воды в углеводородную среду и дисперсность образуемой при этом эмульсии.

Для определения зависимости размеров капель пульверизируемой воды от ее электропроводности в воду добавляли хлорид натрия. Электропроводность измеряли с помощью цифрового моста переменного тока Р-5016. Ее значения для воды с 0; 0,1; 1; 10 и 25 % NaCl составляют соответственно  $3,5 \times 10^{-5}$ ;  $0,1 \cdot 10^{-4}$ ; 1,5;  $1,2 \cdot 10^{-1}$  и  $2,1 \times 10^{-1}$  См/м. С увеличением электропроводности средний диаметр капель воды незначительно уменьшается (рис. 4), что согласуется с теоретической зависимостью (1).

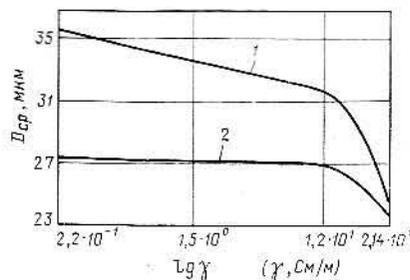


Рис. 4. Зависимость среднего диаметра  $D_{ср}$  капель воды эмульсии от логарифма электропроводности  $\lg \gamma$  водной фазы при подаваемом на ЭПУ напряжении:

1 - 12 кВ; 2 - 15 кВ.

Влияние электропроводности углеводородной жидкости на дисперсность получаемой эмульсии изучали на трансформаторном масле с присадкой сигбол с помощью тераомметра Е 6-13. При концентрации сигбола 0; 0,01; 0,1 и 0,5 % она составила соответственно  $4 \times 10^{-12}$ ;  $3,5 \cdot 10^{-10}$ ;  $4,4 \cdot 10^{-9}$  и  $0,5 \times 10^{-8}$  См/м. По результатам экспериментов установлена индифферентность дисперсности получаемых при электропульверизации эмульсий к электропроводности углеводородной жидкости и, следовательно, к сортам нефти.

Определены зависимости диамет-

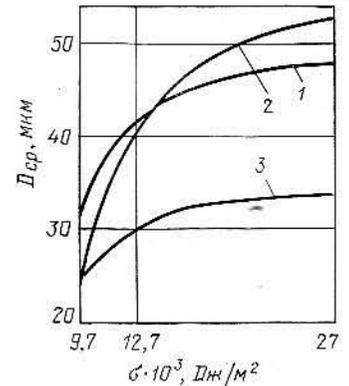


Рис. 5. Зависимость среднего диаметра  $D_{ср}$  капель воды эмульсии от межфазного натяжения  $\sigma$  при подаваемом на ЭПУ напряжении:

1 - 6 кВ; 2 - 9 кВ; 3 - 12 кВ.

ра капель пульверизируемой воды от межфазного натяжения на границе раздела фаз углеводородная жидкость - вода. Межфазное натяжение измеряли стагальмометрическим методом. При концентрации в воде поверхностно-активного вещества дисольван 4411, равной 0; 0,1; 0,4 и 0,8 кг/м<sup>3</sup>, оно составило соответственно  $74,7 \cdot 10^{-3}$ ;  $27 \cdot 10^{-3}$ ;  $12,7 \cdot 10^{-3}$ ;  $40 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>. Со снижением межфазного натяжения средний размер капель диспергированной фазы уменьшается (рис. 5). Вид экспериментально полученных кривых соответствует теоретической зависимости (1).

Эффективность обессоливания нефти при использовании электрической пульверизации промывочной воды исследовали на искусственно полученных эмульсиях минерализованной воды в нефти. Концентрация солей в воде и дисперсность последней соответствовали промысловым водонефтяным эмульсиям после обезвоживания нефти. В частности, исследовали эмульсию с 500 мг/л солей и 0,5 % воды в виде капель среднего диаметра 15 мкм.

При помощи ЭПУ в нее вводили пресную промывочную воду в виде мельчайших капель. Их размер регулировали, изменяя подаваемое напряжение. Содержание воды в

Таблица 2

| Номер опыта | Напряжение на ЭПУ, кВ | Средний диаметр капель в эмульсии, мкм | Остаточное содержание |             |
|-------------|-----------------------|--|-----------------------|-------------|
|             |                       |  | воды, %               | солей, мг/л |
| 1           | 8                     | 39,4                                   | 0,3                   | 110         |
| 2           | 10                    | 25,4                                   | 0,2                   | 62          |
| 3           | 14                    | 15,8                                   | 0,2                   | 46          |
| 4           | 18                    | 10,6                                   | 0,6                   | 55          |

нефти на этом этапе составляло 5,5 %. Затем эмульсию разрушали в электрокоалесценторе типа ЭКПЭ-1500 [5] со средней напряженностью поля 0,6 МВ/м. Отстаивание осуществляли в центрифуге К-23. Частота вращения и время отстаивания, подобранные в соответствии с условиями гравитационного процесса в термохимических установках, составили соответственно 25 с<sup>-1</sup> и 240 с.

Проведено четыре эксперимента (табл. 2) с каплями промывочной воды различного среднего диаметра. В контрольном опыте 1 капли среднего диаметра получены при подаче на ЭПУ напряжения 8 кВ. Такая эмульсия по размерам капель воды идентична эмульсии, полученной в гидродинамическом диспергаторе эжекторного типа при перепаде давлений 0,6—0,7 МПа. (Такие диспергаторы наиболее часто используют на нефтяных промыслах.)

Проведено сравнение экспериментальных данных для водной фазы с дисперсностью, меньшей, равной и большей, чем для содержа-

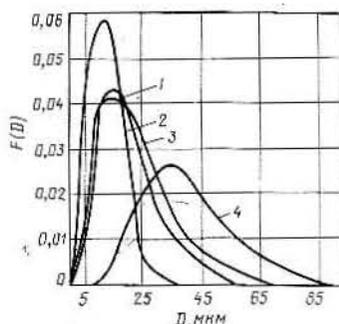


Рис. 6. Дифференциальные кривые распределения по размерам  $D$  капель воды в эмульсии нефти с водой:

1 — соленой (при обессоливании); 2, 3, 4 — промывочной (при подаче на ЭПУ напряжения соответственно 18, 14 и 10 кВ).

щейся в нефти соленой воды (опыты 2—4), по дифференциальным кривым распределения (рис. 6). Содержание воды и солей в нефти измеряли соответственно влагомером ВЭН-3М и солемером Ион-ЛЗ.

Результаты подтвердили возможность улучшения обессоливания нефти с помощью ЭПУ, т. е. при необходимом распределении капель промывочной воды по раз-

мерам. Максимальный эффект достигается при совпадении такого распределения для капель соленой и промывочной воды. Опытные промышленные электропульверизирующие аппараты ЭПА-3000 производительностью 120 м<sup>3</sup>/ч по нефти успешно испытаны и внедрены в ПО «Татнефть». В результате повышено качество товарной нефти, снижен расход деэмульгатора и промывочной воды, что обеспечило значительный экономический эффект.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Логинов В. И.** Обессоливание и обессоливание нефтей. М., Химия, 1979. — 216 с.
2. **Левченко Д. Н.** и др. Эмульсия нефти с водой и методы их разрушения. М., Химия, 1967. — 200 с.
3. **Тронов В. П.** Промысловая подготовка нефти. М., Недра, 1977. — 271 с.
4. **Hines R. L.** — Journal of Applied Physics, 1966, v. 37, p. 2730—2736.
5. А. с. 827111 (СССР).

Казанский государственный педагогический институт

УДК 66.015.23.66.097.13

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАНУЛИРОВАННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ГИДРООЧИСТКИ МАСЛЯНОГО СЫРЬЯ

Н. М. Алиев, В. С. Алиев, А. А. Касимов, И. М. Бабаев

Гидроочистку масляных дистиллятов обычно проводят в реакторах со стационарным слоем катализатора на смеси жидкого и газообразного сырья. Жидкость стекает вниз по поверхности гранул, газ движется прямотоком или протокотом к жидкости. Прямоток более предпочтителен ввиду значительно лучшего распределения жидкости по катализатору и отсутствия захлебывания реактора. Газообразный реагент должен последовательно абсорбироваться жидкостью, через ее пленку достигнуть внешней поверхности гранул и через заполненные поры диффундировать к активной поверхности катализатора.

Все факторы, влияющие на эффективность контакта жидкости с катализатором, зависят от гидродинамической обстановки в слое, его структуры и теплофизических характеристик катализатора. Информация об условиях массопередачи в процессах гидроочистки масел крайне ограничена; по данным [1], уменьшение размера гранул приводит к увеличению скорости реакции, что указывает на определенную роль диффузии в порах. Поэтому для определения эффективного коэффициента диффузии реагентов и продуктов реакции необходимо знать структуру слоя и физические свойства катализаторов, составляющих его.

Имеются сведения [2] о проницаемости жидкости в пористой среде. Однако структуры таких сред слишком сложны и многообразны, поэтому свести их ана-

лиз к конечному числу моделей и тем более к одной простой модели не удастся. Предсказание базируется на хорошо обоснованном эмпирическом подходе, сочетающем использование теоретических моделей и экспериментальное измерение показателей физических свойств катализаторов. Объектом наших исследований служили промышленные катализаторы, состав которых приведен в табл. 1.

Общая поверхность катализаторов, являющаяся их основной характеристикой, определена по методу БЭТ. Исследована зависимость количества газа, адсорбированного катализатором, от общего давления при постоянной температуре. Для получения надежных результатов измерения проводили с азотом, имеющим малые молекулы сферической формы, в диапазоне относительных давлений 0,05—3 и, следовательно, при низких температурах; в качестве хладагента использовали жидкий азот.

Таблица 1

| Катализатор | Содержание активных компонентов, % на Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                  |                  |
|-------------|--|------------------|------------------|
|             | NiO(CoO)   | MoO <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> |
| АНМ         | 4  | 12               | 5—7              |
| АКМ         | (4)  | 12               | —                |
| ГС-168ШУ    | 4,5  | 19,5             | 6—10             |