

КОНТРОЛЬ СВОЙСТВ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Е.П. Беляева, аспирант

Ю.Н. Безбородов, д-р техн. наук, профессор

Сибирский федеральный университет

(Россия, г. Красноярск)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-8-2-62-66

Аннотация. В статье рассматриваются особенности физико-химических свойств водонефтяных эмульсий и их влияние на процессы добычи, перекачки и подготовки нефти. Целью является повышение эффективности и безопасности процесса добычи, транспортировки и подготовки нефти.

Наиболее серьезными и распространенными осложнениями в процессах нефтегазодобычи являются образование устойчивых водонефтяных эмульсий высокой вязкости, являющихся причинами остановки разработки нефтегазоносных пластов из-за образования пробок, которые не идентифицируются приборами контроля, кроме того, это способствует резкому повышению давления и снижению производительности скважин и трубопроводов по перекачиваемой жидкости, увеличению энергетических нагрузок насосных агрегатов. Проведена аналитическая работа по исследованию свойств водонефтяных эмульсий, контролируемых приборами и лабораторными методами контроля в процессах нефтегазодобычи.

На сегодняшний день отсутствует контроль над свойствами водонетяных эмульсий, которые оказывают влияние на гидродинамический режим потока жидкости. Эти свойства включают вязкость эмульсии, коэффициент гидродинамического сопротивления жидкости и явление инверсии фаз. Чтобы сохранять оптимальные технологические процессы в нефтегазодобыче, критически важно иметь возможность определять и контролировать все свойства водонефтяных эмульсий в динамическом режиме.

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия, инверсия фаз, гидродинамический режим, контроль характеристик.

Эмульсии представляют собой дисперсные системы, в которых дисперсная фаза и дисперсионная среда взаимодействуют друг с другом.

Водонефтяные эмульсии образуются трёх типов.

Первый тип эмульсий, называемый "нефть в воде", представляет собой смесь нефти и воды, где капли нефти распределены в воде.

Второй тип, называемый "вода в нефти", это обратная эмульсия, где капли воды находятся в нефти.

Третий тип - множественная эмульсия, где крупные капли воды содержат мелкие капли нефти или наоборот [1, с. 153].

Стабильность эмульсий зависит от способа добычи нефти [2, с. 98]. Наиболее устойчивые эмульсии образуются при использовании электроцентробежных насо-

сов, а меньше устойчивых – при использовании штанговых и винтовых насосов. Компрессорный способ добычи также может приводить к высокой устойчивости эмульсий благодаря турбулентному потоку и особенностям диспергирования воды в нефти.

Химическая деэмульгация поверхностно-активными веществами является распространенным методом разрушения эмульсий, но высокие концентрации деэмульгатора могут повысить стабильность эмульсий [3, с. 352].

В нефтяной промышленности высоковязкие нефтяные эмульсии становятся источником значительных затрат из-за необходимости использования дорогостоящих химикатов и насосного оборудования, оплаты электроэнергии. Основная проблема заключается в непрерывном образова-

нии в скважине и трубопроводе устойчивых обратных водонефтяных эмульсий, способных сопротивляться разрушению за счет высокой вязкости.

Первоначальная закачка нефтяной эмульсии в трубопровод приводит к перестроению ее компонентов. В центре формируется турбулентное ядро, состоящее в основном из углеводородов, с небольшими примесями мелкодисперсных водяных шариков (не более 1-3%). Под высоким давлением внутри турбулентного ядра формируются и уплотняются «твердые» конгломераты мелких водяных шариков, образуя псевдоструктурированную гелеобразную эмульсию. Таким образом, нефтяное ядро постепенно заменяется «твердой», высоковязкой эмульсией, окруженной «жидкими» эмульсиями,

устойчивость которых снижается по мере удаления от ядра в результате нефтенасыщения и уменьшения содержания ПАВ.

Однако обработка нефтяных эмульсий имеет огромное практическое значение. Эмульсия типа Н/В, где вода является внешней фазой, может быть транспортирована с меньшими энергетическими затратами по сравнению с эмульсией типа В/Н, где нефть выступает как внешняя фаза. Поэтому при перекачке эмульсий необходимо, чтобы наружной фазой была вода.

Определение точки инверсии важно для прогнозирования процессов перекачки эмульсии. Точка обращения фаз находится в моменте, когда вязкость достигает максимума и начинает постепенно снижаться [4, с. 69] (рис. 1).

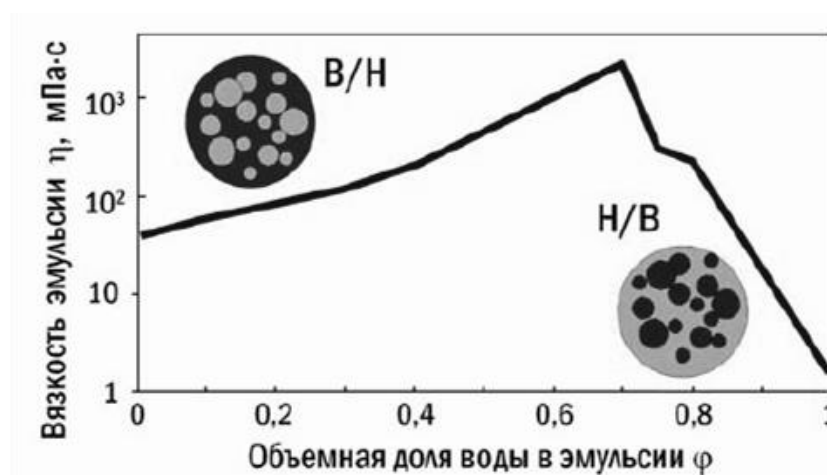


Рис. 1. Экспериментальная зависимость вязкости водонефтяных эмульсий, «подтверждающая» наличие точки инверсии [6]

Авторы учебников и учебных пособий по сбору и подготовке скважинной продукции нефтяных месторождений [5, 6] приводят некоторую зависимость вязкости эмульсии от содержания воды, с достаточно широким максимумом в «точке инвер-

сии» (кривая 1 на рисунке 2). Предполагается, что при низких и средних концентрациях воды эмульсия имеет тип В/Н, с ростом концентрации воды до 50..60% система достигает «точки инверсии» и превращается в прямую эмульсию типа Н/В.

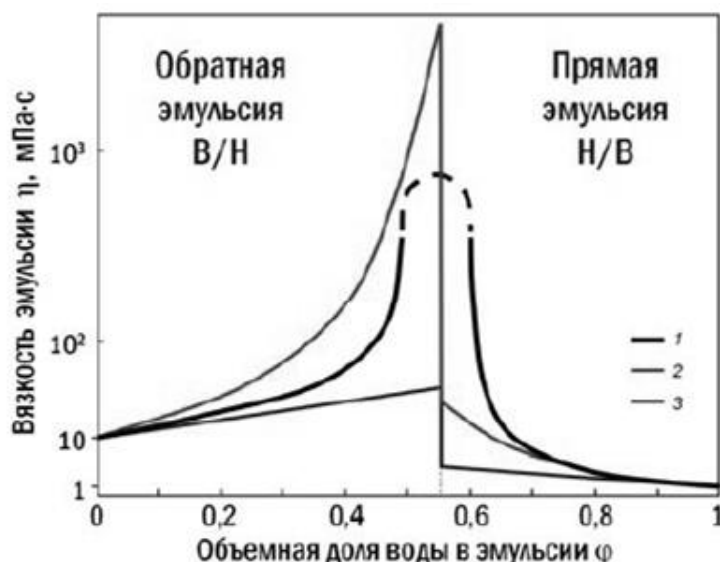


Рис. 2. Изменение вязкости водонефтяных эмульсий вблизи «точки инверсии», в модели Муни [7, с. 221] и в модели Эйнштейна [8, с. 67]

В случае осуществления инверсии, любая из этих моделей предсказывает появление резкого «срыва» вязкости в узком интервале водосодержания. В качестве иллюстрации, на рисунке 2 кривыми 2 и 3 показаны результаты расчета по модели Муни (с учетом флокуляции глобул дисперсной фазы) и по простейшей модели Эйнштейна (для монодисперсных невзаимодействующих сферических частиц) [8].

Возможные изменения гидродинамики в процессе перекачки различных типов промышленных нефтяных эмульсий были

проанализированы на установке определения эффекта Томса [9, с. 144].

Графический анализ (рис. 3) показал изменение гидродинамики при перекачке нефтяной эмульсии. Как видно из рисунка 3 пиковые значения гидравлического сопротивления приходятся на содержание воды от 50% до 80% масс. Данный диапазон содержания воды относится к предполагаемому диапазону инверсии фаз, означает, что пиковые изменения гидравлического сопротивления связаны с изменением вязкости нефтяной эмульсии.

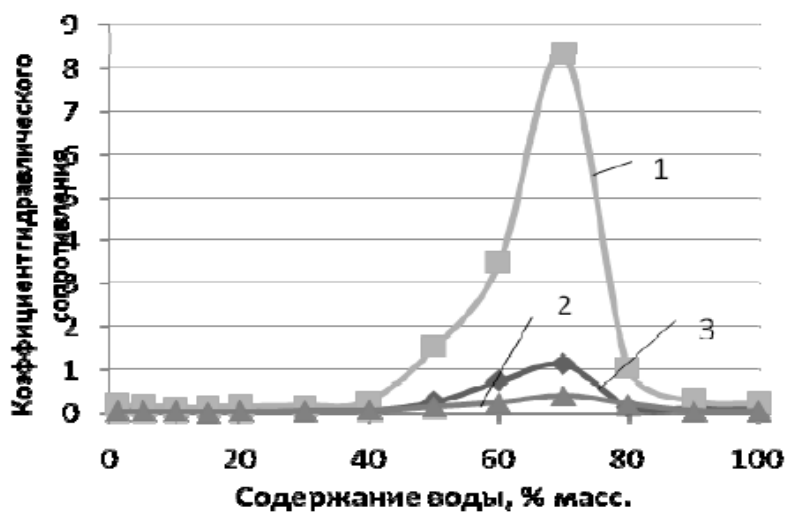


Рис. 3. Изменение гидравлического сопротивления в зависимости от содержания воды в эмульсии

Рассчитывают коэффициент гидравлического сопротивления:

$$\lambda_3 = \frac{0,3164}{(1+1,125 \cdot \beta) \cdot Re_3^{0,25}} \quad (1)$$

где Re_3 – критерий Рейнольдса эмульсии;

β – объёмная доля дисперсной фазы.

Нефтяные эмульсии с содержанием воды до ~30-40% и ~80-90% движутся по трубопроводу так же, как обычные углеводородные жидкости, без образования

«твёрдой» эмульсии. Однако, чтобы решить проблемы, связанные с формированием высоковязких водонефтяных эмульсий в процессах нефтегазодобычи, нужно разрабатывать новые аналитические комплексы. Важно регистрировать данные о свойствах водонефтяной эмульсии и предсказывать изменения ее характеристик, которые влияют на гидродинамический режим течения жидкости - такие как вязкость эмульсии, коэффициент гидродинамического сопротивления и переход фаз в результате инверсии.

Библиографический список

1. Жумаев, К.К. Причины образования водонефтяных эмульсий // Молодой ученый. – 2016. – № 2 (106). – С. 153-155.
2. Дряхлов В.О. Интенсификация разделения водомасляных эмульсий полиэфирсульфоновыми мембранами, обработанными коронным разрядом // Вода: химия и экология. – 2014. – № 11. – С. 98-102.
3. Shaikhiev I.G. Modification of polymeric membranes with unipolar corona discharge to intensify the separation of oil-in-water emulsions // Chemical and Petroleum Engineering. – 2016. – № 52. – P. 352-356.
4. Никулин С.Г. Возможности применения абсорбционной бик-спектроскопии в многофазной расходомерии // Вестник тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2016. – Т. 2. №4. – С. 69-79.
5. Ермолкин О.В. Совершенствование информационно-измерительной системы контроля параметров многофазных потоков продукции скважин // Информационные, измерительные, экспертные, обучающие системы. – М., 2019. – С. 30-35.
6. Исаев М.П. Разработка ИК-датчика контроля влажности и содержания воды в нефти и нефтепродуктах // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2012. – Т. 5. № 1. – С. 152-155.
7. Лоскутова Ю.В. Изучение вязкостно-температурного поведения водонефтяных эмульсий в точке инверсии фаз // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 10. – С. 221-225.
8. Сафиева Р.З. Ближняя инфракрасная спектроскопия в практике мониторинга качества товарных и сырьевых потоков станции смешения бензинов // Труды РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2014. – № 2. – С. 67-82.
9. Медведев, В.Ф. Сбор и подготовка неустойчивых эмульсий на промыслах. – М.: Издательство Недр, 1987. – 144 с.

CONTROL OF PROPERTIES OF OIL-WATER EMULSIONS IN DYNAMIC MODE

E.P. Belyaeva, *Postgraduate Student*

Yu.N. Bezborodov, *Doctor of Technical Sciences, Professor*

Siberian Federal University

(Russia, Krasnoyarsk)

Abstract. *The review considers the features of the physicochemical properties of water-oil emulsions and their influence on the processes of production, pumping and treatment of oil. The goal is to increase the efficiency and safety of the process of oil production, transportation and treatment.*

The most serious and widespread complications in oil and gas production processes are the formation of stable high-viscosity water-oil emulsions, which are the reasons for stopping the development of oil and gas reservoirs due to the formation of plugs that are not identified by control devices, in addition, this contributes to a sharp increase in pressure and a decrease in the productivity of wells and pipelines along the pumped liquids, increase the energy loads of pumping units. Analytical work has been carried out to study the properties of water-oil emulsions controlled by instruments and laboratory methods of control in oil and gas production processes.

To date, there is no control over the properties of water-based emulsions that affect the hydrodynamic regime of fluid flow. These properties include emulsion viscosity, fluid drag coefficient, and phase inversion phenomena. In order to maintain optimal technological processes in oil and gas production, it is critical to be able to determine and control all the properties of water-oil emulsions in a dynamic mode.

Keywords: *water-oil emulsion; phase inversion; hydrodynamic regime; characteristics control.*