

ПРОБЛЕМЫ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ И МЕТАНОЛЬНОЙ ВОДЫ

П.В. Волков

Научный руководитель профессор П.Н. Зятиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение

Широкое использование метанола при добыче и подготовке газа к транспорту в качестве антигидратного реагента обуславливает проблемы экологического и экономического характера, связанные с образованием метанолсодержащих сточных вод (МСВ). Очистка и утилизация МСВ представляют собой сложную задачу. Содержание метанола в таких водах в зависимости от генезиса составляет 0,2 – 700 г/дм³ при предельно допустимой концентрации (ПДК) 0,003 г/дм³. МСВ закачивают в подземные горизонты, сжигают, регенерируют, сбрасывают в окружающую среду или очищают. Систематические сбросы МСВ создают серьезную нагрузку на экосистемы и приводят к дополнительным финансовым издержкам [1].

1. Влияние растворенных углеводов на разделение нефтепродуктов и метанольной воды

При сборе и подготовке нефти в промысловых условиях растворенный нефтяной газ отделяют от водонефтяной эмульсии, не используя его свойство снижать вязкость и плотность нефти. В процессе сепарации газа капельки воды в нефти диспергируют, способствуя образованию более устойчивой водонефтяной эмульсии. Другое отрицательное действие сепарации – увлечение газом капелек воды.

Следовательно, разгазирование газоводонефтяной смеси интенсифицирует процесс перевода высокомолекулярных компонентов из молекулярно-растворенного состояния в дисперсное, а это, в свою очередь, повышает агрегативную устойчивость водонефтяной эмульсии и, соответственно, ухудшает технико-экономические показатели подготовки нефти. Поэтому максимальное сохранение растворенного газа в нефти, поступающей на установку отделения метанольной воды, должно ускорить процесс подготовки углеводов.

Установка для проведения эксперимента включала: отстойник с водяной рубашкой для циркуляции теплоносителя, карманом для термометра и манометром для контроля давления; сосуды для подогрева и сбора охлажденного теплоносителя; систему терморегулирования; устройство для вращения отстойника; баллон с азотом. Перед каждым опытом готовили смесь 1 %-го водного раствора деэмульгатора и 50 мл водонефтяной эмульсии. Смесь перемешивали и заливали в отстойник, в котором с помощью азота создавали давление, соответствующее давлению на устье скважины. После установления температуры продукции скважины с раствором деэмульгатора перемешивали 6 минут вращением отстойника на специальном устройстве со скоростью 6,28 рад/с и ставили на отстой.

После обработки данных получено следующее уравнение (1) регрессии для изучаемой области, где x_1 – значение давления, x_2 – значение температуры, x_3 – удельный расход деэмульгатора:

$$y = 71,3 + 6,41 \cdot x_1 + 6,44 \cdot x_2 + 49,09 \cdot x_3 + 3,86 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (1)$$

Из уравнения видно, что существенным оказался третий фактор. Значимое из парных взаимодействий лишь взаимодействие между давлением и удельным расходом деэмульгатора (x_1, x_3).

Опытами, проведенными при давлении 0,49 МПа и температуре 40 и 20 С⁰, установлено, что содержание легких углеводов, которые могут влиять на устойчивость нефтяной эмульсии, составляет всего 0,27 – 0,33 %. Устойчивость нефтяной эмульсии заметно снижается при добавлении 1–5 % легкокипящих углеводов. Однако при сохранении легких углеводов в растворенном состоянии их влияние на нефтяную эмульсию проявляется при значительно меньших количествах, чем при добавлении легкокипящих углеводов [2].

2. Разделение эмульсии в аппаратуре совместной подготовки нефти и воды

При совместной подготовке нефти и воды ступень предварительного обезвоживания нефти должна обеспечивать получение воды с качеством, удовлетворяющим требованиям ее закачки в продуктивные пласты.

Ранее на модельных системах было установлено, что концентрированная обратная эмульсия разделяется в основном в подвижном («кипящем») слое из глобул воды, находящихся в зоне раздела фаз. Как показало проведенное исследование «кипящего» слоя верхняя и нижняя его части отделены от обезвоженной нефти и пластовой воды четкой границей. Верхняя часть слоя характеризуется концентрацией дисперсной фазы 30–60 %. Нижней частью является высококонцентрированная эмульсия (пенообразная структура), содержащая до 95–98 % воды в виде крупных деформированных капель, разделенных тонкими пленками, которые состоят преимущественно из органических стабилизаторов нефтяных эмульсий и минеральных частиц, сконцентрировавшихся при уменьшении межфазной поверхности.

Установлено, что высота слоя и связанное с ней качество разделения по нефти определяется: удельной нагрузкой по эмульсии на межфазную поверхность, массой эмульсии, поступающей на разделение и отнесенной к единице площади работающей межфазной поверхности; удельным оттоком воды от межфазной поверхности – массой воды, выделяющейся при разрушении структуры и оттекающей с единицы площади межфазной поверхности.

В аппаратах с распределением эмульсии в нефтяной фазе энергия восходящего потока гасится в слое, имеющем значительную вязкость. Это устраняет как механическое воздействие на структуру, так и круговые циркуляционные течения в водной фазе. Структура разрушается самопроизвольно за счет уменьшения и разрыва

образующих ее пленок. Качество отделяемой воды незначительно зависит от удельной нагрузки, плотности или других режимных параметров процесса обезвоживания и носит линейный характер, что показано в уравнении (2) [3].

$$A = 5,002 + 0,657 \cdot q \quad (2)$$

3. Исследование особенностей процесса разделения водонефтяных эмульсий в центробежном сепараторе с крыльчаткой

Для эффективной и качественной очистки воды, разрушения водонефтяной эмульсии была разработана и предложена конструкция проточного центробежного сепаратора с крыльчаткой. Конструкция разработанного аппарата отличается от обычного цилиндрикоконического циклона наличием вращающейся крыльчатки, отсутствием конуса и однонаправленным перемещением разделяемой смеси от питающего патрубка к разгрузочным патрубкам. В задачи работы входило: построение геометрической и расчетной модели центробежного сепаратора, численное моделирование процесса и определение влияния указанных параметров на процесс разделения водонефтяной эмульсии.

Для решения поставленных задач были скорректированы расчетная и геометрическая модели сепараторов. В качестве расчетной области рассматривались внутреннее пространство сепаратора, в том числе разгрузочные патрубки. Модель была просчитана на стационарном решателе для несжимаемого турбулентного потока, использующем SIMPLE алгоритм для совместного решения уравнений скорости и давления. Вращение учитывалось введением неинерциальной системы отсчета, связанной с крыльчаткой. В такой системе ротор неподвижен, но уравнения движения требуют введения дополнительных слагаемых, учитывающих центробежную и кориолисову силу. При этом система уравнения Навье – Стокса решается следующим образом:

- для неподвижной (инерциальной) системы отсчета – система уравнений (3)

- для вращающейся системы отсчета – система уравнений (4)

$$\begin{cases} \nabla \cdot (\overline{U}_i \cdot \overline{U}_i) = -\nabla \left(\frac{p}{\rho} \right) + \nabla (\tau^{eff}), \\ \nabla \cdot \overline{U}_i = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \nabla \cdot (\overline{U}_R \cdot \overline{U}_i) + 2 \cdot \Omega \cdot \overline{U}_i = -\nabla \left(\frac{p}{\rho} \right) + \nabla (\tau^{eff}), \\ \nabla \cdot \overline{U}_i = 0 \end{cases} \quad (4)$$

где: $\overline{U}_i, \overline{U}_i$ – абсолютная и относительная скорости, Ω – угловая скорость вращения системы и крыльчатки, p – давление, ρ – плотность, τ^{eff} – сумма тензора вязких напряжений и тензора Рейнольдса.

Изучение поля тангенциальной скорости жидкости в разработанном центробежном сепараторе позволило установить общее ее распределение в аппарате и получить конкретные зависимости, которые будут использованы при исследовании влияния распределения расхода обрабатываемой среды между разгрузочными патрубками Q_n, Q_b на процесс разделения водонефтяной эмульсии на втором этапе. Анализ расчетного распределения общего расхода между двумя разгрузочными патрубками центробежного сепаратора показал, что соотношение выходящих потоков определяется (5) соотношением площадей отверстий разгрузочных патрубков.

$$\frac{Q_b}{Q_n} = k_1 \cdot \left(\frac{F_n}{F_b} \right)^a \quad (5)$$

где: F_b, F_n – площадь поперечного сечения патрубков выхода воды и нефти, $k=1,4$, a – показатель степеней.

Разработана модель центробежного сепаратора с крыльчаткой и проведены расчеты, по результатам которых исследовано влияние геометрических параметров и эксплуатационных характеристик аппарата на процесс разделения водонефтяной смеси. По полученным данным подробно изучено поле тангенциальных скоростей жидкости в разработанном центробежном сепараторе [4].

Выводы

1. Растворенные газообразные углеводороды в нефти интенсифицируют процесс обезвоживания водонефтяной эмульсии.
2. Удельная нагрузка на межфазную поверхность может быть использована в качестве дополнительного технологического параметра, характеризующего подготовку воды в смешанном процессе.
3. Усовершенствованная технология разделения водонефтяной эмульсии поможет снизить экологические риски.

Литература

1. Ахмедов М.И. Технология очистки метанолсодержащих сточных вод нефтегазоконденсатных месторождений // Нефтяное хозяйство, 2016. – № 5. – С. 106 – 108.
2. Фаттахов К.Н. Влияние растворенных углеводородов на разделение нефти и воды // Нефтяное хозяйство, 1982. – № 9. – С. 42 – 44.
3. Никитин Ю.М. Разделение эмульсии в аппаратуре совместной подготовки нефти и воды // Нефтяное хозяйство, 1989. – № 5. – С. 54 – 56.
4. Тимербаев А.С., Лищук А.Н. Исследование особенностей процесса разделения водонефтяных эмульсий в центробежном сепараторе с крыльчаткой // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 12. – С. 138 – 141.