

Литература

1. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Костенко А.А., Шарова Е.С., С.А. Фалеев Анализ эффективности эксплуатации платиносодержащих катализаторов процесса риформинга бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2008. – № 11. – С. 18-23.
2. Крацов А.В., Иванчина Э.Д., Костенко А.В., Чеканцев Н.В., Гынгазова М.С. Учет реакционной способности углеводородов и потенциала катализатора в инновационных технологиях мониторинга промышленных процессов риформинга и изомеризации бензинов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2008. – №10. – С. 27-31.
3. Мелехин В.В., Молотов К.В., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Чеканцев Н.В., Занин И.К. Повышение эффективности стадии оксихлорирования Pt-Re-катализаторов риформинга методом математического моделирования // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2009. – № 12 – с. 10-14

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРВИЧНОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ

К.А. МАЛЫХ

Научный руководитель – к.т.н., доцент Е.А. Кузьменко

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия*

Нефть, получаемая из скважин, содержит в себе механические примеси, воду, а также газы, растворенные в ней. Для приведения нефти к товарному виду существуют процессы первичной подготовки нефти, к которым относятся процессы обезвоживания, обессоливания, стабилизации. По степени подготовки нефти к транспортировке нормируются следующие показатели: содержание воды (по ГОСТ 2477 нефть должна содержать не более 0,5–1,0% воды), содержание механических примесей (по ГОСТ 6370 в нефти не должно содержаться более 0,05 % мас. механических примесей), давление насыщенных паров (по ГОСТ 1756 давление насыщенных паров не должно превышать значения 66,7 кПа) и содержание хлористых солей (по ГОСТ 21534 содержание солей должно быть не более 100–900 мг/л).

Одна из основных задач первичной подготовки нефти к дальнейшей переработке – эффективное разрушение водонефтяной эмульсии. Для этого в промышленности используются разные способы, а также их различные комбинации. К ним относятся механические (центрифугирование, фильтрация), термические, электрические (воздействие переменного или постоянного электрического тока), химические способы. Воздействие электрического поля является современным методом разделения водонефтяной эмульсии на промысле. Данная деэмульсация представляет собой процесс с высокой энергоэффективностью, так как он позволяет уменьшить использование тепла, а также обойтись без использования химических деэмульгаторов, что делает этот метод экологически чистым. Этот процесс протекает в электродегидраторах, где под действием электрического поля молекулы воды претерпевают флокуляцию, а затем и коалесценцию ввиду межмолекулярного притяжения [2]. Это обусловлено тем, что молекулы воды имеют диэлектрическую проницаемость равную 81, а у нефтей значения диэлектрической проницаемости находятся в интервале 2,1 – 2,4 [1].

В настоящее время для прогнозирования и оптимизации процессов первичной подготовки нефти используются моделирующие системы [3], основными модулями которых являются модели сепарации нефти, каплеобразования, отстаивания и обессоливания. В зависимости от технологической схемы установки подготовки нефти и оборудования, используемого в схеме, формируется алгоритм расчета с использованием модулей входящих в моделирующую систему.

Уравнение материального баланса сепаратора можно представить в виде:

$$F \cdot u_i = G \cdot y_i + L \cdot x_i$$

Где F - расход исходной смеси, кг/с,

G - расход пара, кг/с,

L - расход жидкой фазы, кг/с,

U_i - концентрация i – го компонента в исходной смеси,

x_i - концентрация i – го компонента в жидкой фазе,

y_i - концентрация i – го компонента в газовой фазе,

Согласно закону Рауля – Дальтона:

$$y_i = K_i \cdot x_i$$

где K_i константа фазового равновесия, которая определяется по формуле:

$$K_i = \frac{P_i}{P}$$

Где P_i - давление насыщенных паров компонентов.

Существуют различные способы для расчета размера капель воды, образовавшихся в результате процесса каплеобразования. Методика Тронова В.П. для расчета диаметра капель учитывает большинство факторов, влияющих на процесс [5]:

$$d_{max} = 43,3 \cdot \frac{\sigma^{1,5} + 0,7\mu_e \cdot v^{0,7} \cdot \sigma^{0,8}}{v^{2,4} \cdot P_e^{0,1} \cdot v_{cm}^{0,1} \cdot \rho_n^{0,1} \cdot \mu_n^{0,5}}$$

где d_{max} - максимальный размер устойчивых капель,

σ - поверхностное натяжение,

μ_e, μ_n - динамическая вязкость воды и нефти соответственно,

v - средняя линейная скорость потока,

v_{cm} - кинематическая вязкость смеси,

P_n - плотность нефти.

Для расчета процесса отстаивания необходимо учесть законы осаждения капель воды под действием силы тяжести, при учете скорости стесненного осаждения:

$$\frac{\omega_{оли} \cdot 18 \cdot \mu_n \cdot (1 - W)^2}{d_{max}^2 \cdot (\rho_e - \rho_n) \cdot g \cdot ((1 - W)^2 - (1 - \frac{W_1}{W})^2)} = (1 - W)^{4,7}$$

Где d_{max} - максимальный размер устойчивых капель,

W - обводненность нефти на входе в аппарат,

$\omega_{оли}$ - скорость стесненного осаждения капли размером d_r ,

μ_n - динамическая вязкость нефти,

P_e - плотность воды,

P_n - плотность нефти,

g - ускорение свободного падения.

Обессоливание нефти проводится в основном в электродегидраторах при предварительном добавлении опресненной воды.

В работе [4] утверждают, что основная характеристика для расчета остаточной обводненности нефти после пребывания в электродегидраторе – вязкость нефти в рабочих условиях. Авторы получили коэффициенты для полиномиальных уравнений третьего порядка, связывающих остаточную обводненность нефти с нагрузкой электродегидраторов различных конструкций, которые затем используются в уравнении вида:

$$Y = aX^3 + bX^2 + cX + d$$

где Y – результат конечной обводненности, ожидаемой в установке, % масс

X – удельная нагрузка аппарата, об/об·ч.

Данная методика получена на основе данных по первичной подготовке тяжелой высоковязкой Ярегской нефти и использовалась при совершенствовании процессов первичной подготовки нефтей Тимано – Печорской нефтегазоносной провинции.

Мы попробовали применить данную модель для расчета остаточной обводненности нефти при обессоливании в электродегидраторах, входящих в схему установки подготовки нефти одного из месторождений Западной Сибири. Характеристики подготавливаемой нефти и оборудования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные

Характеристика	Значение
Кинематическая вязкость эмульсии при 20°C (μ), мм ² /с	7,380
Нагрузка на аппарат, м ³ /час	269,208
Объем аппарата, м ³	200,000
Удельная нагрузка аппарата, об/(об·час)	1,346

Мы рассмотрели все возможные варианты устройства электродов в электродегидраторах. Результаты расчета по описанной выше модели приведены в таблице 2.

Таблица 2

Расчетное значение остаточной обводнённости для нефти месторождений Западной Сибири

Коэффициенты для полиномиальных уравнений третьего порядка	Значения коэффициентов	Значение ожидаемой обводнённости, % масс.	Экспериментальное значение обводненности, % масс.
1. Композитные электроды			1 – 1,5
$a = -8 \cdot 10^{-07} \cdot \mu^2 + 0,0003 \cdot \mu + 0,0046$	0,00677		
$b = 10^{-05} \cdot \mu^2 - 0,004 \cdot \mu + 0,0147$	-0,01428		
$c = -5 \cdot 10^{-05} \cdot \mu^2 + 0,0151 \cdot \mu - 0,0128$	0,09591		
$d = 2 \cdot 10^{-05} \cdot \mu^2 - 0,0061 \cdot \mu + 0,0454$	0,00147		
Y		0,12122	
2. Стальные электроды			
$a = -5 \cdot 10^{-07} \cdot \mu^2 + 0,0002 \cdot \mu + 0,0059$	0,00735		
$b = 5 \cdot 10^{-06} \cdot \mu^2 - 0,0018 \cdot \mu - 0,0727$	-0,08571		
$c = -3 \cdot 10^{-05} \cdot \mu^2 + 0,0092 \cdot \mu + 0,4173$	-0,00287		
$d = 2 \cdot 10^{-05} \cdot \mu^2 - 0,0042 \cdot \mu - 0,1347$	0,00166		
Y		-0,13958	
3. Обычные решетчатые электроды			
$a = 2 \cdot 10^{-06} \cdot \mu^2 - 0,0003 \cdot \mu + 0,0063$	0,00419		
$b = -2 \cdot 10^{-05} \cdot \mu^2 + 0,003 \cdot \mu - 0,0966$	-0,07407		
$c = 3 \cdot 10^{-05} \cdot \mu^2 - 0,0025 \cdot \mu + 0,6089$	0,59208		
$d = -6 \cdot 10^{-06} \cdot \mu^2 + 0,0001 \cdot \mu - 0,0997$	-0,09929		
Y		0,57370	

При анализе полученных результатов можно судить об адекватности используемой модели для нефти месторождений Западной Сибири. Полученные значения остаточной обводнённости, рассчитанные для стальных электродов имеют отрицательные значения, следовательно модель для данного типа электродов неадекватна. Наиболее близкими к экспериментальным значениям являются результаты расчета для обычных решетчатых электродов. Для решения вопроса о применимости данной модели необходимо выполнить проверку по расчету остаточной обводнённости для других установок первичной подготовки нефти, включающих в схему электродегидраторы.

Литература

1. Бортников А.Е., Кордик К.Е. Некоторые результаты лабораторных экспериментов по разрушению водонефтяной эмульсии под воздействием равномерного электрического поля//Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – Москва, 2013. – №9. – С.48 – 51.
2. Гречихина Н.А. Совершенствование процесса первичной переработки нефти//Электронное научное издание “Ученые заметки ТОГУ”. – Хабаровск, 2013. – №4. – С.1221 – 1226.
3. Ким С.Ф., Ушева Н.В., Самборская М.А., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А. Моделирование процессов разрушения водонефтяных эмульсий для крупнотоннажных технологий подготовки нефти//Фундаментальные исследования. – Москва, 2013. – №8. – С.626 – 629.
4. Лукьянов В.А., Попов В.А., Хуторянский Ф.М. Оригинальная методика подбора электродегидраторов для подготовки к переработке высоковязких нефтей//Проектирование, изготовление и эксплуатация нефтегазового оборудования. – Москва, 2012. – №4. – С.79 – 84.
5. Ушева Н.В., Кравцов А.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А. Моделирование технологии промысловой подготовки нефти//Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т.308, №4. – С.127 – 130.