

управления АКТ. Усовершенствование алгоритма заключается в автоматической стабилизации необходимого профиля распределения температуры в реторте аппарата путем изменения загрузки сырья в аппарат. Алгоритм управления будет реализован на современных программно-технических средствах, с программной реализацией на высокоуровневом объектно-ориентированном языке

программирования. Модель может быть также использована для исследования других объектов управления в радиохимической технологии противоточных и прямоточных аппаратов с газовыми и дисперсными потоками (например, пламенных реакторов для получения ГФУ, противоточных аппаратов для переработки не прореагировавшего в реакторах фторирования продукта и т. д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2006. – 396 с.
2. Андреев Г.Г., Пермяков О.Е. Химическая кинетика гетерогенных некаталитических процессов в технологии ядерного топлива. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 83 с.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 10-е изд., стереотипное, доработанное. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.
4. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.
5. Методы моделирования каталитических процессов на аналоговых и цифровых вычислительных машинах / Под ред. А. Ермаковой. – Новосибирск: Наука, 1972. – 150 с.
6. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. – Л.: Химия, 1968. – 510 с.
7. Вержбицкий В.М. Численные методы. – М.: Высшая школа, 2001. – 382 с.

Поступила 07.12.2006 г.

УДК 665.12.001.57

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОТДЕЛЕНИЯ ВОДЫ И МЕТАНОЛА ПРИ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКЕ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА

А.В. Кравцов, Н.В. Ушева, О.Е. Мойзес, Е.А. Кузьменко

Томский политехнический университет
E-mail: moe@tpu.ru

Разработан модуль расчета процессов отделения воды и метанола от газового конденсата. С применением разработанной технологической системы исследовано влияние технологических параметров на процессы отделения воды и метанола. Рекомендованы режимы работы разделителей жидкости, при которых происходит наиболее эффективное отделение водометанольного раствора от нестабильного конденсата.

При добыче и подготовке газового конденсата к транспорту предусматривают подачу в систему метанола повышенной концентрации. При смешивании углеводородного конденсата с водным раствором метанола, образуется смесь, которую необходимо разделить. Нечеткость разделения водометанольной и углеводородной фаз приводит к значительным потерям метанола с нестабильным конденсатом и товарным газом.

Эти и многие другие проблемы достаточно эффективно позволяет решить применение методов математического моделирования и использование компьютерных моделирующих систем (МС).

На основе опыта создания моделирующих систем для различных технологий, нами разработаны математические модели [1–4] процессов промышленной подготовки нефти, газа и газового конденсата, на основе которых создана технологическая моделирующая система (ТМС) для расчета мате-

риальных балансов и оперативного анализа технологических режимов установки комплексной подготовки газа (УКППГ).

Основными блоками разработанной ТМС технологии комплексной подготовки газа и газового конденсата являются модули расчета процессов сепарации, каплеобразования, разделения жидкостей, дросселирования и теплообмена.

Константы фазового равновесия рассчитывались по методике, предложенной в работах [5, 6], в основе которой лежит известное уравнение Гофмана-Крампа. Для расчета констант фазового равновесия метанола и воды было выбрано уравнение Тека-Стила [7].

Данная корреляция отличается повышенной точностью при расчете давлений паров полярных веществ и веществ с водородными связями при низких температурах. Уравнение Тека-Стила для расчета давления насыщенных паров химических веществ имеет следующий вид [7]:

$$\ln P_{VP_r} = A \left(1,14893 - \frac{1}{T_r} - 0,11719 \cdot T_r - \right. \\ \left. - 0,03174 \cdot T_r^2 - 0,375 \cdot \ln T_r \right) + \\ + (1,042\alpha_c - 0,46284 A) \times \\ \times \left[\frac{T_r^{5,2691+2,0753 \cdot A - 3,1738 \cdot h} - 1}{5,2691 + 2,0753 \cdot A - 3,1738 \cdot h} + \right. \\ \left. + 0,040 \cdot \left(\frac{1}{T_r} - 1 \right) \right], \quad (1)$$

где $A = \frac{\Delta H_{ub}}{RT_c \cdot (1 - T_{br})^{0,375}}$, $h = T_{br} \frac{\ln P_c}{1 - T_{br}}$, $T_r = \frac{T}{T_c}$, $T_{br} = \frac{T_b}{T_c}$ — приведённые температуры; T_c , T_b — критическая и нормальная температуры кипения компонента; T — температура процесса; P_c — критическое давление; ΔH_{ub} — теплота парообразования при нормальной температуре кипения; R — газовая постоянная; α_c находится по формуле (1) из условия $P_{VP_r} = 1/P_c$ и $T_r = T_{br}$.

Сравнение значений давлений насыщенных паров метанола и воды, рассчитанных по приведённой выше методике, и литературных данных, показало их удовлетворительную сходимость [8, 9].

Эффективность отделения метанольной воды в разделителях жидкости в значительной мере зависит от размеров капель, образующихся при движении материального потока по подводимым трубопроводам. Поэтому процессу осаждения метанольной воды в аппарате должен предшествовать этап каплеобразования дисперсной фазы. Каплеобразование происходит в потоке при движении смеси по трубопроводу, в патрубках разделителей жидкости и емкостей. Размер образующихся капель учитывается при расчете процессов отстаивания [1, 2], поэтому важно оценить влияние технологических условий подготовки газового конденсата на процессы каплеобразования и дальнейшего отделения метанольной воды.

Расчет процессов каплеобразования и отстаивания выполнен аналогично методикам, приведенным в работе [4], диаметр капель рассчитывался по формуле, предложенной в [10].

При моделировании процессов промышленной подготовки нефти, газа и газовых конденсатов значительную сложность представляет расчет процессов отделения воды и водометанольных растворов. В применяемых в настоящее время на практике МС, в основном, рассчитываются фазовые равновесия в системе: углеводороды-метанол-вода. В соответствии с физической сущностью, в разделителях жидкости рассматривается протекание двух процессов: отделение газа от жидкой фазы (сепарация) и отделение водометанольного раствора от конденсата в результате процессов отстаивания.

Таким образом, математическая модель разделителя жидкости включает в себя модель процесса сепарации и модель процесса отстаивания.

Разработанная нами технологическая моделирующая система, в основе которой лежат математические модели основных процессов подготовки газового конденсата, позволяет рассчитывать материальные балансы установки, составы продуктовых потоков с учетом расходов, содержания воды в сырьевом потоке, подачи метанола и ряда конструктивных особенностей аппаратов, таких как, объем аппарата, объем зоны отстаивания, высота водометанольного слоя и диаметр подводящего патрубка.

В целом, ТМС позволяет прогнозировать влияние термобарических условий, состава пластовой смеси, расходов и конструктивных особенностей аппаратов, применяемых в данной технологической схеме на процессы промышленной подготовки газового конденсата, в том числе, и процессы отделения водометанольных растворов.

С целью повышения эффективности работы УКПГ и качества получаемой товарной продукции необходимо подобрать оптимальные технологические режимы, обеспечивающие наилучшее отделение воды и метанола от нестабильного конденсата. С использованием ТМС были выполнены исследования влияния технологических параметров на процессы промышленной подготовки газовых конденсатов.

В технологической схеме (рис. 1) установки комплексной подготовки газового конденсата [3] для отделения воды и метанола предусмотрены разделители жидкости и емкости различного технологического назначения (табл. 1).

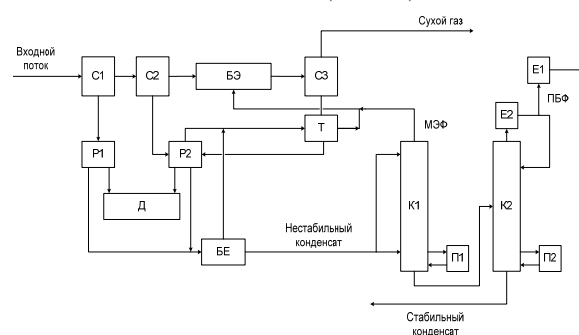


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема подготовки газа и газового конденсата: C1, C2, C3 – сепараторы; БЭ – блок эжекторов; Т – теплообменник; P1, P2 – трехфазные разделители; Д – дегазатор; БЕ – блок сырьевых емкостей; K1, K2 – ректификационные колонны; П1, П2 – печи; Е1 – емкость сбора сжиженного газа; Е2 – емкость орошения; ПБФ – пропан-бутановая фракция; МЭФ – метан-этановая фракция

Таблица 1. Технологические режимы работы разделителей жидкости и емкостей

Параметры	Аппараты		
	Разделитель P1	Разделитель P2	Емкости БЕ
Время пребывания смеси в аппарате, ч	0,7	0,5	1,1
Диаметр входных патрубков аппарата, м	0,15	0,08	0,15
Температура, °C	19,0	3,0	22,5
Давление, МПа	3,8	3,2	2,4

Таблица 2. Исследование влияния технологических параметров на процессы отделения воды и метанола в разделителях жидкости P1 и P2

Параметры	Варианты расчета											
	1		2		3		4		5		6	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Температура, °C	18,9	3,0	10,0	3,0	18,9	15,0	10,0	15,0	18,9	3,0	18,9	15,0
Давление, МПа	3,8	3,2	3,8	3,2	3,8	2,6	3,5	2,6	3,8	3,2	3,8	2,6
Содержание метанольной воды, в жидкой фазе на входе в разделители, мас. %	2,54	1,61	2,54	3,18	2,54	3,08	2,54	3,19	2,47	3,11	2,46	3,10
Содержание метанола и воды в нестабильном конденсате из разделителей жидкости, кг/ч												
Вода	16,4	8,7	17,2	8,1	16,4	6,6	17,5	6,6	17,6	5,7	17,7	4,3
Метанол	0,0	15,0	0,0	14,5	0,0	11,3	0,0	11,2	0,0	13,3	0,0	10,0
Σ	16,4	23,7	17,2	22,6	16,4	17,9	17,5	17,8	17,6	19,0	17,7	14,3
Содержание метанольной воды, мас. %	0,11	0,20	0,11	0,19	0,11	0,16	0,12	0,16	0,11	0,17	0,11	0,14
Содержание метанола и воды в нестабильном конденсате, кг/ч												
Вода	25,1		25,5		23,7		23,0		24,0		23,4	
Метанол	15,0		14,5		12,6		11,3		11,2		13,3	
Σ	40,1		40,0		36,3		34,3		35,2		36,7	
Содержание метанольной воды, мас. %	0,15		0,14		0,14		0,13		0,13		0,14	
Содержание метанола и воды в товарном газе, кг/ч												
Вода	0,4		0,4		0,4		0,5		0,5		0,4	
Метанол	17,6		17,6		17,5		17,5		17,6		18,8	
Σ	18,0		18,0		17,9		18,0		18,1		19,2	

На модели процесса каплеобразования нами были выполнены исследования влияния технологических параметров: давления, температуры и расхода смеси на формирование капель воды (водометанольного раствора) в углеводородном конденсате (рис. 2).

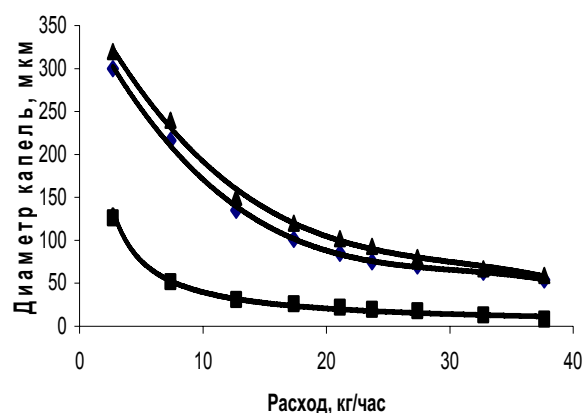


Рис. 2. Зависимость диаметра капель метанольной воды от расхода потока

Исследования показали, что такие параметры, как температура и давление на значение диаметра капли оказывают достаточно слабое влияние.

Вместе с тем, как показали расчеты, на размер формирующейся капли значительное влияние оказывают диаметры подводящих трубопроводов и патрубков в разделителях жидкости, а также расход смеси. Выполнено исследование влияния расходов материальных потоков на размеры капель жидкости (рис. 2). Из расчетов следует, что, например, при изменении расхода в интервале 7,4...37,4 т/ч (P1) диаметр капли уменьшился с 68 до 36 мкм, а в P2 при изменении расхода с 2,7 до 32,7 т/ч диаметр капель уменьшился с 126 до 15 мкм.

С применением технологической моделирующей системы были проведены исследования процессов промышленной подготовки газового конденсата при различных технологических режимах работы УКПГ.

Как показали результаты расчетов, в товарный газ поступает 0,023 мас. %, метанольной воды, с нестабильным конденсатом отводится — 0,15 мас. %.

Результаты исследований влияния технологических параметров на процессы отделения воды и метанола на УКПГ приведены в табл. 2. Анализ полученных результатов показал, что снижению содержания метанольной воды в нестабильном конденсате способствует повышение температуры в P2 при одновременном снижении давления. Уменьшению содержания воды и метанола в конденсате также способствует уменьшение температуры в первом сепараторе.

Результаты расчетов процессов отделения воды и метанола в емкостях на УКПГ и исследование влияния технологических параметров на показатели процесса приведены в табл. 3.

Таблица 3. Исследование влияния технологических параметров на процессы отделения воды и метанола в емкостях

Параметры	Варианты расчета			
	1	2	3	4 (2 БЕ)
	$T=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $P=2,4\text{ МПа}$	$T=22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ $P=2,4\text{ МПа}$	$T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ $P=2,4\text{ МПа}$	$T=22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ $P=2,4\text{ МПа}$
Содержание на входе, кг/ч				
Вода	25,1			
Метанол	15,0			
Обводненность, мас. %	0,15			
Содержание на выходе, кг/ч				
Вода	1,7	1,5	1,4	0,7
Метанол	1,0	0,9	0,9	0,4
Обводненность, мас. %	0,011	0,009	0,009	0,0043

Варьирование давления в интервале от 1,5 до 3,5 МПа приводит к незначительным изменениям в количестве отделяющейся водной фазы (табл. 3). Аналогичное влияние оказывает и температура при ее изменении от 3 до 30 °С. Остаточная обводненность конденсата изменяется от 0,009 до 0,011 мас. %.

Процессы отделения малых количеств воды и метанола протекают достаточно сложно. Как показали исследования, основное влияние оказывает время пребывания смеси в аппарате. Увеличение времени пребывания в два раза (т. е. подключение второй емкости, вариант 4, табл. 3) приводит к снижению остаточного содержания воды и метанола также примерно в два раза. То есть, в исследован-

ном интервале варьирования температуры и давления наблюдается хорошее отделение водометанольного раствора от нестабильного конденсата. Следовательно, при эффективной работе емкости (БЕ) на УСК может поступать конденсат, содержащий примерно 0,01 мас. % воды и метанола, что не должно оказывать значительного влияния на технологические режимы работы установки.

Таким образом, моделирование процессов промышленной подготовки газовых конденсатов с применением ТМС позволяет оценить оптимальные технологические режимы работы установки и определить количество воды и метанола во всех потоках промышленной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравцов А.В., Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Рейзлин В.И., Кузьменко Е.А. Информационно-моделирующая система технологии первичной подготовки нефти // Химическая промышленность. – 1999. – № 7. – С. 50–54.
2. Иванов В.Г., Маслов А.С., Кравцов А.В., Ушева Н.В., Гавриков А.А. Повышение эффективности технологии промышленной подготовки газового конденсата // Газовая промышленность. – 2003. – № 7. – С. 54–57.
3. Кравцов А.В., Ушева Н.В., Князев А.С., Шкроботко О.В. Моделирование процессов теплообмена при промышленной подготовке газа и газового конденсата на Северо-Васюганском месторождении // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 5. – С. 101–104.
4. Ушева Н.В., Кравцов А.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А. Моделирование технологии промышленной подготовки нефти // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 4. – С. 127–131.
5. Шилов В.И., Клочков А.А., Ярышев Г.М. Расчет констант фазового равновесия компонентов природных нефтегазовых смесей // Нефтяное хозяйство. – 1987. – № 1. – С. 50–55.
6. Шилов В.И., Крикунов В.В. Прогнозирование фазового состояния природных нефтегазовых систем // Нефтяное хозяйство. – 2002. – № 8. – С. 102–103.
7. Рид Р.С., Праусниц Д.М., Шервуд Т.К. Свойства газов и жидкостей. – Л.: Химия, 1982. – 592 с.
8. Макогон Ю.Ф. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование. – М.: Недра, 1985. – 232 с.
9. Гуревич Г.Р., Брусиловский А.И. Справочное пособие по расчету фазового состояния и свойств газоконденсатных смесей. – М.: Недра, 1984. – 264 с.
10. Гусейнов Ч.С., Асатуриян А.Ш. Определение модального размера капель в двухфазном потоке // Прикладная химия. – 1977. – № 4. – С. 848–853.

Поступила 07.12.2006 г.