

УДК 665.6/.7; 004.942

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Н.В. Ушева, О.Е. Мойзес, Е.А. Кузьменко, Е.С. Хлебникова

Томский политехнический университет

E-mail: moe@tpu.ru

Разработан модуль оптимизации поиска наиболее эффективного технологического режима промышленной подготовки газового конденсата. Выполнены исследования с применением моделирующей системы влияния термобарических параметров на процесс низкотемпературной сепарации, определен оптимальный технологический режим.

Ключевые слова:

Газовый конденсат, сепарация, технологические режимы, оптимизация, моделирующая система.

Key words:

Gas condensate, separation, processing modes, optimization, simulation system.

Разработка современных технологических процессов подготовки и переработки природного углеводородного сырья и оптимальная эксплуатация действующих производств в настоящее время невозможна без применения современных моделирующих программ, имеющих высокую точность описания параметров технологических процессов и позволяющих без значительных материальных и временных затрат выполнять исследования этих процессов. Такие модельные исследования имеют огромное значение не только для проектирования, но и для функционирования существующих производств, так как позволяют учесть влияние внешних факторов (изменение состава сырья, изменение требований к конечным продуктам и т. д.) на показатели действующих производств [1].

В настоящее время инженерам-технологам доступно большое число программных средств моделирования химико-технологических процессов. Эти средства в основном разработаны фирмами

США и Канады и являются универсальными при проведении инженерных расчетов.

Однако для повышения эффективности и поиска оптимальных режимов действующих промышленных установок целесообразно применять моделирующие системы, адаптированные к технологическим условиям конкретного промышленного объекта.

Разработанная нами моделирующая система (МС) комплексной подготовки газа и газового конденсата [2–4] имеет модульную структуру и включает математические модели процессов сепарации, каплеобразования, разделения жидкостей с учетом отделения водометанольных растворов [5, 6] и применяется для прогнозирования работы установок комплексной подготовки газовых конденсатов (УКПГ).

Целью работы является совершенствование моделирующей системы, разработка модуля расчета оптимальных режимов УКПГ и исследование влияния технологических параметров на выход

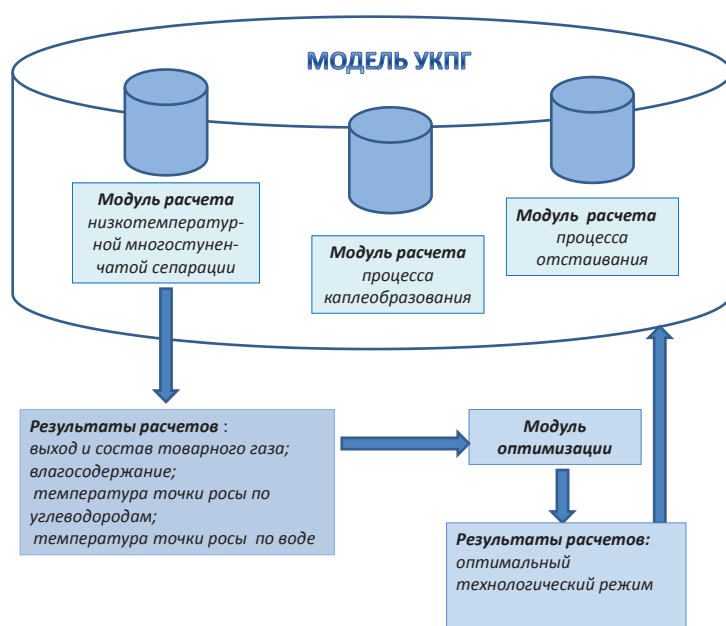


Рис. 1. Схема моделирующей системы технологии комплексной подготовки газового конденсата

и качество подготовки товарного газа процесса многоступенчатой низкотемпературной сепарации.

Структура усовершенствованной моделирующей системы, дополненной блоком оптимизации и моделями расчета температур точек росы по углеводородам и воде, приведена на рис. 1.

При промышленной подготовке газа высокая четкость разделения пластовой смеси определяет качество транспортируемых продуктов и, следовательно, экономическую эффективность производства.

Известно, что основными показателями качества товарного газа являются: температура точки росы по углеводородам и воде. В разработанной нами ранее моделирующей системе не был предусмотрен расчет температуры точки росы по воде.

Поэтому на основании данных ГОСТ Р 53763-2009 «Газы горючие природные. Определение температуры точки росы по воде» была получена зависимость температуры точки росы по воде от влагосодержания и давления товарного газа в газопроводе, которая включена в модуль расчета основных показателей качества товарного газа:

$$y = b_0 + b_1 W + b_2 P + b_3 \ln(W) + b_4 \ln(P),$$

где y – температура точки росы, °C; b_i – коэффициенты в уравнении регрессии; P – давление, МПа; W – влагосодержание, г/м³.

Значения коэффициентов полинома, рассчитанные с помощью программы *STATISTICA*, и абсолютная погрешность расчета температуры точки росы по воде приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов полинома

Диапазон давлений, МПа	Коэффициенты					Абсолютная погрешность температуры точки росы по воде, °C
	b0	b1	b2	b3	b4	
2,4...3	2,417662	17,70726	-0,25352	9,474480	11,56512	0,48
3...3,6	2,639120	18,76646	-0,191400	9,592568	11,38404	0,40
3,6...4,2	3,995595	19,73325	0,974113	9,65309	7,097624	0,35
4,2...4,8	6,759723	20,4702	1,524424	9,678565	3,554454	0,40
4,8...5,4	3,21795	21,17595	0,021408	9,712674	10,42282	0,34
5,4...6	5,40595	21,7098	0,486759	9,733106	7,634486	0,39
2,4...6	2,55568	20,1277	-0,199590	9,639727	11,47359	1,06

Следует отметить, что максимальная абсолютная погрешность результатов расчета по данной формуле для широкого диапазона давлений значительно превышает максимальные погрешности, соответствующие эмпирическим зависимостям для узких диапазонов давлений. Поэтому в математическое описание включены зависимости с коэффициентами уравнения для узких интервалов варьирования давления (табл. 1).

Таблица 3. Состав пластового газа

Компонент	CO ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂	C ₆ +	H ₂ O
Концентрация, мольн. %	0,02	3,88	85,92	3,48	2,64	0,80	0,88	0,38	0,20	1,04	0,76

С применением моделирующей системы были выполнены исследования при варьировании технологических параметров для трехступенчатой схемы низкотемпературной сепарации газового конденсата.

При проведении исследований варьировались температура и давление на различных ступенях сепарации. Интервал изменения температуры: ± 5 °C; давления: ± 1 МПа от значений параметров базового варианта (табл. 2). Состав сырьевого потока приведен в табл. 3.

Таблица 2. Значения технологических параметров базового варианта (расход пластовой смеси $G=110550$ кг/ч)

Сепаратор	Параметр	
	Температура, °C	Давление, МПа
1	22,5	5,6
2	0,5	7,1
3	-33,7	3,9

Были рассчитаны основные показатели процесса сепарации: выход товарного газа, выход нестабильного конденсата, содержание углеводородов C₃₊, C₅₊, влагосодержание, точка росы по углеводородам и по воде (табл. 4).

Установлено, что понижение температуры либо повышение давления на первой ступени сепарации наряду с увеличением выхода конденсата (C₅₊) приводит также к повышению степени конденсации легких компонентов газа, а следовательно, к уменьшению расхода газа из первого сепаратора (С1). Аналогичные явления характерны для второго (С2) и третьего (С3) сепараторов.

Определено, что на выход товарного газа в исследованном диапазоне варьирования параметров существенное влияние оказывает изменение температуры и давления в третьем сепараторе.

Повышение эффективности работы действующих установок и обеспечение требуемого количества и качества товарной продукции, возможно за счет оптимизации технологических режимов УКПГ.

При выборе оптимальных условий процесса подготовки газового конденсата возникает необходимость проведения большого количества расчетов при варьировании технологических параметров и анализа значительного объема информации.

Для обработки данных вычислительного эксперимента был разработан модуль МС, позволяющий автоматизировать процесс выбора наиболее эффективного технологического режима.

Для определения оптимальных условий работы УКПГ газоконденсатного месторождения в качестве технологического критерия оптимальности выбран наибольший выход товарного газа с ограничениями по показателям качества его подготовки (температура точки росы по воде и по углеводородам) в соответствии с СТО Газпром 089–2010. Выбраны оптимизирующие параметры: давление и температура.

Таблица 4. Результаты исследований процесса сепарации

№ варианта	№ сепаратора	Выход товарного газа, т/ч	Основные показатели качества товарного газа					
			Температура в аппарате, °C	Точка росы по углеводородам, °C	Точка росы по воде, °C	Влагосодержание, г/м³	C ₃₊ , г/м³	C ₅₊ , г/м³
1	1	98,26	27,5	-24,07	-13,8	0,036	67,4	2,0
2	1	98,28	22,5	-23,97	-14,7	0,033	67,2	2,1
3	1	98,30	17,5	-23,92	-15,6	0,030	67,6	2,1
4	2	98,10	5,5	-25,00	-12,7	0,040	66,3	2,0
5	2	98,28	0,5	-23,97	-14,7	0,033	67,2	2,1
6	2	98,45	-4,5	-22,91	-16,7	0,027	68,7	2,1
7	3	99,17	-28,7	-19,52	-7,6	0,064	73,5	2,9
8	3	98,28	-33,7	-23,97	-14,7	0,033	67,2	2,1
9	3	97,38	-38,7	-29,20	-21,3	0,017	61,4	1,4
	Давление, МПа							
10	1	98,27	4,6	-24,00	-13,5	0,037	67,5	2,0
11	1	98,28	5,6	-23,97	-14,7	0,033	67,2	2,1
12	1	98,29	6,6	-23,92	-16,0	0,029	67,6	2,1
13	2	98,24	6,1	-24,25	-13,5	0,037	67,2	2,0
14	2	98,28	7,1	-23,97	-14,7	0,033	67,2	2,1
15	2	98,32	8,1	-23,73	-16,0	0,029	67,8	2,1
16	3	99,00	2,9	-24,71	-8,7	0,058	72,3	2,5
17	3	98,28	3,9	-23,97	-14,7	0,033	67,2	2,1
18	3	97,75	4,9	-22,47	-19,2	0,021	64,1	1,8

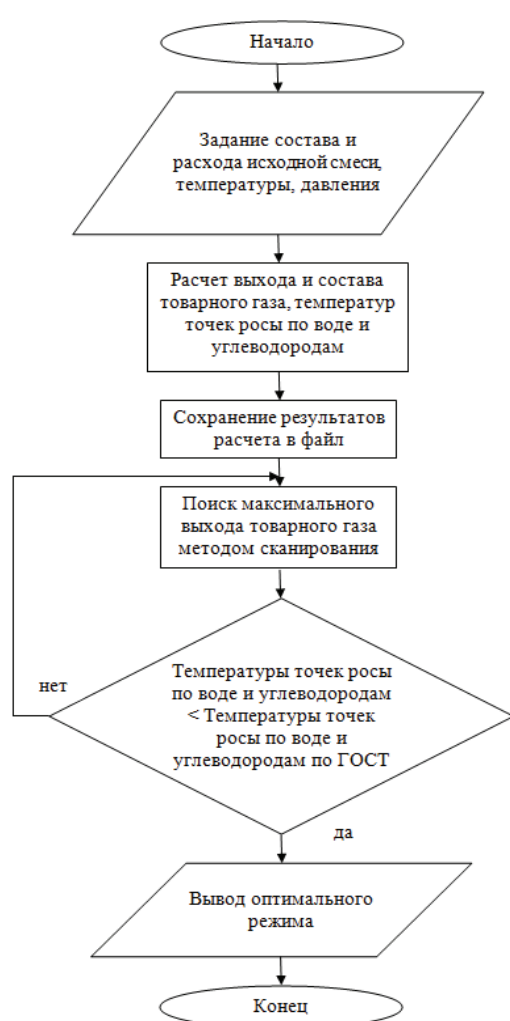


Рис. 2. Блок-схема алгоритма метода оптимизации

Для решения задачи поиска экстремума был применен метод сканирования [7], алгоритм которого заключается в последовательном просмотре значений критерия оптимальности в ряде точек, принадлежащих области изменения непрерывных переменных и нахождении среди них такой, в которой критерий имеет максимальное значение. Для произвольного числа переменных шаг по каждой следующей переменной производится после того, как завершен поиск по предыдущей переменной. Алгоритм метода оптимизации приведен на рис. 2. Программа расчета реализована в интегрированной среде Delphi.

Для расчета по оптимизационному модулю на основании результатов расчетов по МС формируется файл исходных данных, который включает значения термобарических параметров в аппаратах, выход товарного газа, значения температур точек росы по углеводородам и воде.

Пример вывода результатов расчета оптимального технологического режима представлен на рис. 3.

Рис. 3. Окно выдачи результатов расчета

Результаты исследований показали, что оптимальным режимом является 6 вариант (табл. 4), который соответствует максимальному выходу товарного газа (98450 кг/ч) при выполнении требований ГОСТ по качеству его подготовки.

Таким образом, разработанный модуль оптимизации МС позволяет автоматизировать процесс

выбора наиболее эффективного технологического режима работы установки промышленной подготовки газового конденсата, а модернизированная МС дает возможность оперативного расчета и прогнозирования технологических показателей работы УКПГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология переработки природного газа и конденсата / под ред. В.И. Мурина. – М.: ООО «Недра Бизнесцентр», 2002. – Ч. 1. – 517 с.
2. Сергеев О.А., Князев А.С., Кравцов А.В., Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А., Рыжакина А.Н. Моделирование процессов отделения водометанольных растворов при промышленной подготовке газового конденсата // Газовая промышленность. – 2008. – № 4. – С. 24–27.
3. Кравцов А.В., Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А., Рейзлин В.И., Гавриков А.А. Информационно-моделирующая система процессов промышленной подготовки газа и газового конденсата // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 5. – С. 132–137.
4. Кравцов А.В., Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А., Ануфриева О.В. Анализ влияния технологических параметров и оптимизация процессов низкотемпературной сепарации // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 3. – С. 57–60.
5. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти. – Казань: ФЭН, 2000. – 417 с.
6. Баталин О.Ю., Брусиловский А.И., Захаров М.Ю. Фазовые равновесия в системах природных углеводородов. – М.: Недра, 1992. – 272 с.
7. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 416 с.

Поступила 26. 06. 2012 г.

УДК 004.415.2:533.9

АНАЛИЗ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ФОРМЫ ПЛАЗМЕННОГО ШНУРА ТОКАМАКА КТМ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

А.М. Ли, А.А. Саньков, В.М. Павлов, А.С. Абанькин

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

Приведен анализ алгоритма расчета формы плазменного шнура на предмет параллельных вычислений, получены оценки показателей эффективности параллельного алгоритма и необходимого числа процессоров для достижения максимального быстродействия расчета формы плазмы токамака КТМ. На основе полученных значений показателей эффективности сформулировано требование по вычислительной производительности многопроцессорной системы, необходимой для расчета формы плазмы и управления плазмой в реальном масштабе времени. По результатам работы произведен выбор многопроцессорного DSP кластера, который будет использован в контуре управления плазмой.

Ключевые слова:

Токамак, плазменный шнур, реконструкция формы, метод токовых нитей, параллельные вычисления.

Key words:

Tokamak, plasma column, shape identification, filament current method, parallel computing.

Эффективное и безопасное проведение экспериментов на современных установках типа токамак [1] невозможно без точного управления положением и формой плазменного шнура. Для Казахстанского материаловедческого токамака КТМ задача управления положением и формой плазмы особенно актуальна в связи с тем, что установка предназначена для создания специальных плазменных конфигураций (лимитерной, диверторной, с различными параметрами вытянутости и треугольности), обеспечивающих требуемые уровни энергетических воздействий на внутрикамерные элементы КТМ [2].

Высокие скорости протекания физических процессов в плазме токамаков требуют использования в контуре управления плазмой высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем, позволяющих эффективно распараллеливать алгоритмы управления и идентификации границы плазмы в реальном масштабе времени. В частности на токамаке JT-60 в контуре управления плазмой используется многопроцессорный DSP кластер [3], который позволяет визуализировать положение и форму плазмы в реальном масштабе времени.

Для восстановления границы плазмы и ее положения используют результаты измерений сигнала