

На правах рукописи



РЫЧКОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**БАЛАНСОВАЯ МОДЕЛЬ РЕГИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ
ПРОМЫСЛОВ С ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ КОНДЕНСАТА**

Специальность 25.00.17 – «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тюмень - 2019

Работа выполнена в Обществе с ограниченной ответственностью «Тюменский научно-исследовательский институт природного газа и газовых технологий» (ООО «ТюменНИИГипрогаз»).

Научный руководитель - кандидат технических наук **Нестеренко Александр Николаевич**.

Официальные оппоненты:

Андреева Наталья Николаевна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой (базовой) проектирования систем обустройства месторождений углеводородов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (г. Москва);

Аникеев Даниил Павлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории газонефтеконденсатоотдачи пластов, ФГБУН Институт проблем нефти и газа Российской академии наук (г. Москва).

Ведущая организация – Публичное акционерное общество «Тюменский проектный и научно-исследовательский институт нефтяной и газовой промышленности им. В.И. Муравленко» (г. Тюмень).

Защита состоится «16» декабря 2020 года в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 511.001.01, созданного на базе Общества с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - Газпром ВНИИГАЗ» по адресу: 142717, Московская обл., Ленинский район, пос. Развилка, Проектируемый проезд № 5537, владение 15, строение 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ООО «Газпром ВНИИГАЗ» [http:// www.vniigaz.gazprom.ru](http://www.vniigaz.gazprom.ru).

Автореферат разослан « » ноября 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.г.-м.н.



Соловьев Николай Николаевич

Актуальность темы.

Эффективность разработки газоконденсатных месторождений зависит от ряда факторов, в число которых входят характеристики промысловой подготовки добываемого углеводородного сырья (УВС). С целью минимизации затрат система промысловой подготовки региональной группы месторождений включает централизованные установки стабилизации смеси конденсатов для их подготовки к транспорту и переработке. Такие централизованные установки помимо блоков стабилизации содержат и блоки дэтанзации. На стадии проектирования разработки газоконденсатных месторождений не всегда выполняется детализированный анализ показателей промысловой подготовки УВС на месторождениях и не практикуется расчетная проработка влияния проектных показателей отдельных месторождений на балансы и качество продуктов централизованных установок стабилизации конденсата. Это снижает точность прогноза и планирования объемов, составов и показателей качества промысловой продукции, вызывает риски несинхронного развития добычи и сырьевой загрузки централизованных установок стабилизации конденсата, а также мощностей по его дальнейшему транспорту и переработке. Так, недостаток мощности централизованных установок стабилизации конденсата ограничивает объемы добычи УВС и приводит к недогрузке промыслового оборудования.

Таким образом, актуальна разработка оперативных средств получения и увязки информации о показателях промысловой подготовки локальных и централизованных установок с учетом перспектив их развития и ввода новых месторождений.

Цель работы – Создание средств комплексной вариантной проработки, анализа и обоснования решений по синхронному развитию объектов технологически связанных систем промысловой подготовки углеводородного сырья региональной группы месторождений с централизованной подготовкой конденсата для совершенствования прогноза и планирования объемов, составов и качества добываемого сырья и промысловой продукции.

Задачи исследований:

1. Анализ практики проектирования разработки газоконденсатных месторождений, планирования добычи и подготовки углеводородного сырья, поиск путей ее совершенствования.

2. Анализ методов моделирования промысловых технологий, установление требований к комплексным моделям подготовки сырья региональной группы газоконденсатных месторождений с централизованной стабилизацией конденсата.

3. Разработка способа балансового моделирования технологических процессов для комплексного анализа и прогноза объемов, компонентно-фракционных составов и показателей качества сырья и продуктов группы газоконденсатных месторождений с централизованной стабилизацией конденсата.

4. Разработка комплексной балансовой модели промышленной подготовки сырья газоконденсатных месторождений ПАО «Газпром» в Западной Сибири и ее практическая реализация.

Объект исследования.

Объектом исследования является комплекс установок промышленной подготовки углеводородного сырья газоконденсатных месторождений Западной Сибири.

Научная новизна.

1. Разработан способ балансового моделирования промышленной подготовки углеводородного сырья посредством выделения в схеме технологических элементов массообмена – узлов разделения жидкость-газ, математически описываемых с помощью унифицированных функций отбора компонентов - зависимостей коэффициентов (долей) отбора компонентов от их температур кипения.

2. Разработан метод расчета материальных балансов и составов продуктов промышленной подготовки углеводородного сырья на основе вычисления коэффициентов отбора компонентов в узлах разделения жидкость-газ по критериям схождения расчетных и заданных спецификаций качества потоков.

3. Разработан метод прогноза изменения состава добываемого сырья в динамике эксплуатации месторождений на основе закономерностей изменения концентраций компонентов, устанавливаемых обработкой результатов экспериментальных PVT-исследований дифференциальной конденсации пластового флюида.

Теоретическая значимость работы

1. Установлена возможность моделирования промышленной подготовки углеводородного сырья посредством выделения в схеме технологических элементов массообмена – узлов разделения жидкость-газ.

2. Выявлены закономерности изменения составов добываемого сырья газоконденсатных месторождений в динамике разработки, интерпретируемые с помощью зависимостей коэффициентов изменения концентраций компонентов от соотношения текущего и начального давления насыщения пластового флюида.

3. Показана возможность расчета балансов промышленной подготовки углеводородного сырья на основе вычисления коэффициентов отбора компонентов по критериям схождения расчетных и заданных физических свойств потоков.

Защищаемые положения.

1. Способ балансового моделирования процессов промышленной подготовки углеводородного сырья на базе использования узлов разделения жидкость-газ и формализованных для них функций отбора компонентов.

2. Метод расчета материальных балансов и составов продуктов промышленной подготовки углеводородного сырья на основе вычисления коэффициентов отбора компонентов по критериям схождения расчетных и заданных спецификаций качества потоков.

3. Метод прогноза изменения состава добываемого сырья в динамике разработки месторождений на основе экспериментально установленных зависимостей коэффициентов изменения концентраций компонентов от отношения текущего и начального давлений насыщения пластового флюида.

4. Комплексная балансовая модель промышленной подготовки добываемого сырья газоконденсатных месторождений ПАО «Газпром» в Западной Сибири с централизованной стабилизацией конденсата.

Практическая значимость.

Комплексная балансовая модель промышленной подготовки добываемого сырья газоконденсатных месторождений ПАО «Газпром» в Западной Сибири используется в ООО «Газпром переработка» при анализе и прогнозе показателей разработки месторождений (компонентно-фракционных составов и показателей качества поставляемых на переработку конденсатов) со следующим функционалом:

- расчетно-технологический мониторинг установок промышленной подготовки продукции скважин и централизованной стабилизации конденсата с определением объемов, компонентно-фракционных составов и свойств фактически добытого сырья и продуктов его подготовки;

- прогноз объемов, компонентно-фракционных составов и качества продуктов установок промышленной подготовки добываемого сырья по проектным показателям разработки газоконденсатных месторождений, и продуктов централизованной стабилизации конденсата;

- вариантная проработка синхронного освоения месторождений в регионе и развития централизованных мощностей стабилизации конденсата, балансового и временного распределения их загрузки с учетом технологических ограничений, требований к качеству продуктов и возможности их реализации.

Выполненные по комплексной балансовой модели расчеты включены в проектные документы, в частности, на их основе обоснованы мощности и сроки ввода новых объектов централизованной стабилизации и транспорту конденсата в «Единой технологической схеме разработки залежей углеводородов ачимовской толщи Уренгойского региона».

Методология и методы исследования.

1. Термодинамический и статистический анализ процессов фазовых переходов газ/жидкость, выявление, анализ, обобщение и систематизация закономерностей распределения компонентов по продуктам фазового разделения в процессах разработки

газоконденсатных месторождений и в технологических процессах промышленной подготовки добываемого сырья.

2. Обработка результатов экспериментальной дифференциальной конденсации газоконденсатных флюидов с определением компонентно-фракционных составов отводимого газа по ступеням снижения давления в PVT-установке и построением функциональной зависимости изменения концентраций компонентов и фракций.

3. Адаптационное моделирование технологических процессов промышленной подготовки сырья газоконденсатных месторождений на основе измерений расходных и режимных параметров и результатов экспериментального определения компонентно-фракционных составов продуктов сепарации газоконденсатной смеси и стабилизации конденсата.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Тема диссертации соответствует заявленной специальности, а именно пункту 3 «Научные аспекты и средства обеспечения системного комплексного (мультидисциплинарного) проектирования и мониторинга процессов разработки месторождений углеводородов, эксплуатации подземных хранилищ газа, создаваемых в истощенных месторождениях и водонасыщенных пластах с целью рационального недропользования».

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались на восьмой научно-практической конференции молодых ученых и специалистов ООО «ТюменНИИгипрогаз» «Проблемы развития газовой промышленности в Западной Сибири» (г. Тюмень, 2004 г.); Всероссийской конференции «Менделеевские чтения», ТюмГУ (г. Тюмень, 2005 г.); XIV научно-практической конференции молодых ученых и специалистов ООО «ТюменНИИгипрогаз» «Проблемы развития газовой промышленности в Западной Сибири» (г. Тюмень, 2006 г.); региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых ТюмГНГУ (г. Тюмень, 2006 г.); заседании секции «Комплексная переработка газа и газового конденсата» Научно-технического совета ОАО «Газпром» (г. Москва, 2006 г.); международной академической конференции «Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири» (г. Тюмень, 2008 г.); четвертой Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии для ТЭК Западной Сибири» (г. Тюмень, 2010 г.); семинаре по программе научно-технического сотрудничества между ООО «Газпром» и «БАСФ/Винтерсхалл Холдинг» (Мюнстер, Германия, 2012 г.).

Публикации.

Результаты выполненных исследований отражены в семи публикациях (пять – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России).

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы из 100 наименований. Содержит 144 страницы текста, 44 рисунка, 28 таблиц.

Автор выражает глубокую благодарность кандидату технических наук А. Г. Касперовичу за ценные консультации по вопросам балансового моделирования промысловой подготовки углеводородного сырья и повышения эффективности разработки газоконденсатных месторождений, а также доктору технических наук, профессору С. Ф. Мулявину и доктору геолого-минералогических наук, профессору А. Н. Лапердину, за ценные замечания, полученные при выполнении работы, кандидату химических наук Д. М. Федулову за рекомендации по наглядному представлению результатов, а также коллективу лаборатории добычи и переработки углеводородного сырья Тюменского филиала ООО «Газпром проектирование» – Д.Е. Украинцевой, Е.А. Якушенко, Л.М. Цурковой – за помощь в обработке массивов промысловой информации, О.А. Омельченко, – за помощь с программной реализацией разработанных методов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель и определены основные задачи исследований, охарактеризована научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, представлены основные защищаемые положения.

Первая глава посвящена анализу практики проектирования разработки и обустройства газоконденсатных месторождений, планирования добычи и подготовки углеводородного сырья, а также анализу современных методов моделирования технологии промысловой подготовки углеводородного сырья (УВС) газоконденсатных месторождений (ГКМ).

При проектировании разработки месторождения определяют основные показатели, к которым можно отнести годовой отбор газа, пластовое давление, число действующих добывающих скважин, мощность дожимных и головных компрессорных станций и другие. Основной целью проектирования разработки месторождений является поиск оптимальной системы извлечения углеводородов из месторождения и обустройства промысла. В разное время решению проблемы оптимизации разработки газовых и газоконденсатных месторождений были посвящены труды А.М. Кулиева, В.Г. Тагиева, С.Н. Закирова, В.И. Васильева, А.И. Гутникова и других.

Задача оптимизации разработки месторождений носит многофакторный характер. Анализ практического опыта показал, что при проектировании разработки месторождений не всегда проводятся подробные расчеты объектов промысловой подготовки добываемого УВС, и не практикуется расчетный анализ влияния проектных показателей отдельных месторождений технологически связанной региональной группы на объекты централизованной стабилизации конденсата. Как правило, для определения показателей разработки пользуются гидродинамической моделью газоконденсатного месторождения. С ее помощью определяют объемы добываемого сырья на период разработки, динамику падения пластового давления при разработке на истощение, объемы и параметры закачиваемого в пласт агента для поддержания пластового давления, объемы продукции промысловой подготовки добываемого сырья, диаметры и протяженности промысловых трубопроводов и т.п.

Вследствие сложности гидродинамических моделей (ГДМ) месторождений, насчитывающих миллионы ячеек, составы пластовых флюидов задаются в форматах со значительным ограничением количества компонентов: от двух («Black oil») до 8 – 10 (композиционный состав). Такое представление оправдано в ГДМ необходимостью выполнения гидродинамических расчетов за приемлемое время, но ведет к значительной потере точности при последующих расчетах процессов промысловой подготовки УВС. Выполненные расчетные исследования показали значительное (до 40% и более) отличие результатов расчетов фазовых равновесий флюидов при представлении их составов в сокращенных форматах по сравнению с расчетами, выполненными по подробным многокомпонентным составам.

Согласно сложившейся практике научно-исследовательских и проектных работ, адекватным представлением составов УВС для моделирования их промысловой подготовки является формат компонентно-фракционного состава (КФС), в котором наиболее «легкие» компоненты до н-пентана включительно представлены индивидуально, далее следует «буферная» фракция с интервалом кипения 45-60°C, а остальные компоненты представляются узкими 10-градусными фракциями. При этом возможно объединение наиболее тяжелых фракций (например, выкипающих свыше 450°C) в остаточную. Однако адекватное получение состава добываемого флюида в формате КФС по результатам ГДМ невозможно.

При существующей практике проектирования разработки не определяются подробные составы и показатели качества выделяемых на промыслах конденсатов и, тем более, балансы, составы и показатели качества продуктов стабилизации конденсатов на централизованных установках. Это может привести к недостаточной эффективности разработки отдельных месторождений, а в целом - эксплуатации региональной системы.

Для получения дополнительной информации с целью более обоснованного выбора вариантов разработки месторождений, совершенствования анализа промысловой технологии

и синхронизации ввода и развития мощностей добычи, подготовки и транспорта УВС требуется разработка комплексной балансовой модели региональной схемы промышленной подготовки углеводородного сырья. Она предназначена для определения показателей разработки проектируемого месторождения с учетом изменения объемов, составов и свойств его скважинной продукции в течение всего периода разработки месторождения, а также изменения объемов, составов и свойств добываемого сырья других месторождений и всех потоков региональной системы промышленной подготовки УВС.

Во второй главе описывается разработка комплексной модели промышленной подготовки углеводородного сырья.

Моделирование технологических процессов химической технологии и химико-технологических систем (к которым относятся и установки промышленной подготовки газа и конденсата) как отдельное направление развивается уже достаточно давно. Над этими вопросами работали А.И. Брусиловский, В.С. Бесков, Б.Г. Берго, С.Д. Барсук, Л.Л. Фишман, А.Н. Кубанов, С.А. Сиротин и др. специалисты. В настоящее время для этих целей широко применяются специальные программные продукты – системы технологического моделирования (СТМ), среди которых в России наиболее популярны HYSYS, Gibbs, ГазКондНефть, PRO/II, PetroSim.

Данные системы успешно используются при детальном расчете отдельных технологических процессов, однако для моделирования больших комплексных схем промышленной подготовки УВС, спецификой которого является выполнение укрупненных многовариантных и многопериодных, преимущественно балансовых расчетов, использование СТМ менее эффективно. Одна из причин заключается в недостаточной устойчивости созданных в среде СТМ моделей к существенным изменениям составов и свойств входных потоков технологических аппаратов, нередко возникающим при многовариантных и многопериодных расчетах, что приводит к сбоям в выполнении расчетов, ликвидация которых требует детального знания системы для ее перенастройки. К тому же, в укрупненных балансовых расчетах промышленной подготовки используется очень малая часть заложенных в СТМ возможностей, что резко снижает КПД их применения, а с учетом высокой стоимости и связанным с этим ограничением количества рабочих мест, ухудшает экономическую эффективность создания комплексных моделей в среде СТМ и доступность их для пользователей. По этим причинам, в большинстве случаев расчеты балансов больших комплексных схем проводятся упрощенно, без учета составов и свойств добываемой продукции и их изменения в процессе разработки, что ограничивает объем и качество получаемой информации.

Для более эффективного решения подобного рода задач разработан специальный метод балансового моделирования, в котором вместо детальных расчетов массообменных процессов

используются характеризующие их эффективность обобщенные функции. Это значительно упрощает выполнение расчетов и повышает их наглядность, обеспечивая при этом их приемлемую точность. Данные функции базируются на математическом описании балансов распределения компонентов (индивидуальных углеводородов и узких фракций) сырья между продуктами сепарации и ректификации, а также некоторых многостадийных процессов.

Технологии промышленной подготовки УВС базируются на процессах фазового разделения газ-жидкость. Проведенный анализ показал, что в любых технологических схемах могут быть выделены массообменные элементы - бинарные узлы разделения (УР) газ-жидкость, в которые входит один (сырьевой) поток и выходит два (продуктовых) потока - легкий и тяжелый. К УР можно отнести сепараторы, простые ректификационные колонны, секции сложных ректификационных колонн и даже некоторые схемы, например, газоконденсатного промысла, на вход которого поступает один поток добываемого сырья (представляющий собой смесь потоков со всех скважин промысла), и выходит два промысловых продукта - газ и конденсат.

В результате выполненных исследований установлено, что для расчетов материально-компонентных балансов (МКБ), составов и свойств продуктов УР можно использовать коэффициенты отбора компонентов (КО). Количественно коэффициент отбора является долей компонента сырья, переходящего в один из продуктов УР.

$$K_{ik} = G_{ik} \times 100 / \Sigma G_{ik}, \quad (1)$$

где K_{ik} – коэффициент отбора i -го компонента, поступающего в составе сырья, в k -тый продукт в % масс, G_{ik} – массовый расход i -го компонента, в k -том продукте в кг/час; ΣG_{ik} – сумма массовых расходов i -го компонента во всех продуктах в кг/час.

Ранее, в диссертационной работе О.П. Кабанова показано наличие функциональной зависимости КО компонентов от температур их кипения. Функцию, описывающую эту зависимость, было предложено называть функцией отбора компонентов (ФОК) и использовать ее в качестве меры эффективности технологических процессов - селективности распределения компонентов между продуктами. В данной работе в результате дополнительных проведенных исследований установлена возможность балансового моделирования систем промышленной подготовки на базе определения и преобразований ФОК.

Расчетные исследования показали, что графически функции отбора компонентов различных УР имеют схожую сигмовидную форму, но различный наклон и расположение относительно оси температур кипения в зависимости от технологических характеристик и режимов работы массообменного оборудования. Это служит основой для математической интерпретации ФОК с помощью кубических сплайнов или других функций. С их помощью для любых УР возможны преобразования ФОК на основе их эквидистантного сдвига вдоль оси температур кипения и изменения наклона путем интерполяции коэффициентов отбора, полученных для базовых режимов эксплуатации массообменного оборудования. Такие

преобразования ФОК позволяют имитировать допустимые изменения технологических параметров моделируемых процессов, и на этой основе с помощью итерационных процедур определять условия выработки продуктов с требуемыми показателями качества (т.е. с физическими свойствами, соответствующими требованиям нормативных документов).

Анализ процессов промышленной подготовки УВС показал, что на базе УР можно создать балансовую модель любой технологической схемы. В качестве примера на рисунке 1 представлена принципиальная технологическая схема и соответствующая ей балансовая модель установки стабилизации конденсата (УСК).

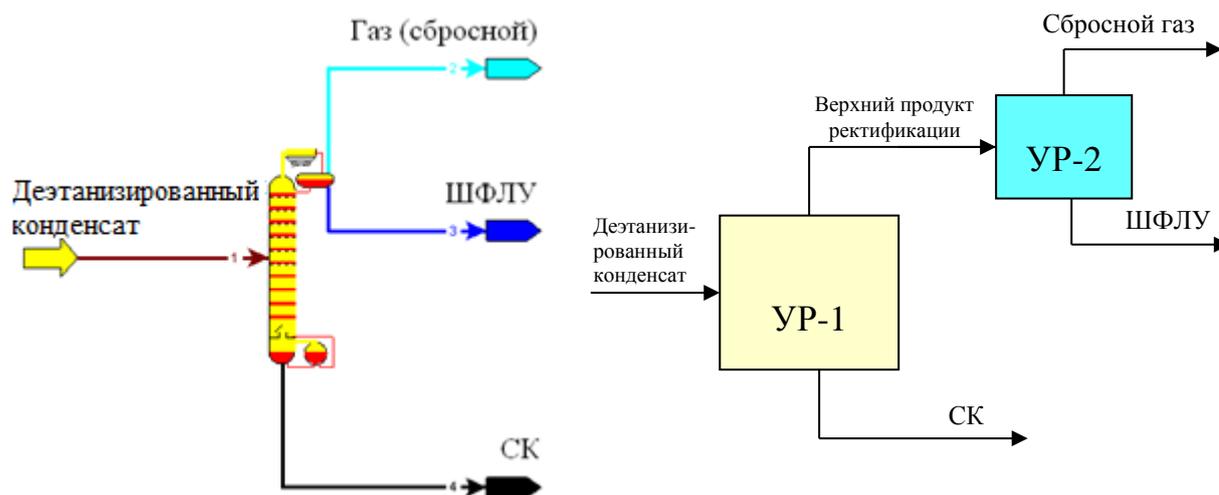


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема и балансовая модель УСК

Коэффициенты отбора компонентов определяются для ряда типовых режимов каждого УР по результатам детальных расчетов технологических аппаратов в среде СТМ, выполненных на базе фактических режимных и расходных параметров, данных аналитического контроля и экспериментальных исследований составов и свойств потоков.

Подбор конкретных ФОК для УР выполняется по условиям соответствия результатов расчетов выходов и (или) показателей качества потоков по заданным спецификациям. При этом, в расчетах по балансовой модели имитируются технологические режимы процессов, обеспечивающие выработку потоков и продуктов, соответствующих фактическим показателям или нормативным требованиям по выходам или физико-химическим свойствам.

Проведенные исследования показали, что с помощью УР можно моделировать не только отдельные аппараты, но и некоторые технологические схемы, в частности - промышленной подготовки УВС. Такой прием позволяет значительно упростить и ускорить многовариантные комплексные расчеты.

В качестве еще одного преимущества балансового моделирования промышленной подготовки УВС следует отметить прозрачность и наглядность используемых при расчетах закономерностей распределения компонентов по потокам и продуктам.

Для определения КФС добываемого УВС на текущий период разработки могут

использоваться результаты исследований скважин на газоконденсатность, в процессе которых отобраны и исследованы пробы газа и конденсата из промышленного сепаратора и рекомбинирован КФС флюида. Более достоверным является КФС совокупного добытого УВС, полученный по результатам обследования и моделирования промысла. Однако для определения КФС добываемого сырья на дальнейший период разработки необходимо прогнозирование его изменения по показателям разработки месторождения.

Проблемой такого прогноза является существенное занижение содержания тяжелых компонентов в расчетных составах добываемых газоконденсатных флюидов по обычно используемой методике дифференциальной конденсации относительно результатов экспериментальных PVT-исследований – для компонентов с температурами кипения выше 200 °С расчетные концентрации ниже экспериментальных на 20 – 90 %, вероятно в виду погрешности расчетов мольной доли и составов фаз по уравнению состояния при высоких давлениях.

Для повышения точности прогноза КФС добываемого сырья разработан новый метод, основанный на использовании коэффициентов изменения концентраций компонентов (КИ), полученный на базе результатов PVT-экспериментов. КИ – это отношение концентрации компонента в КФС, полученном при текущем пластовом давлении к концентрации этого компонента в начальном составе.

Наличие зависимости отношения концентраций от отношения текущего давления к давлению насыщения начального пластового флюида ($\frac{p_{пл}^j}{p_{нас}^0}$) определено в результате анализа экспериментальных данных, полученных в результате PVT-исследований, и приведено в качестве примера для различных компонентов пластового флюида ачимовских залежей на рисунке 2.

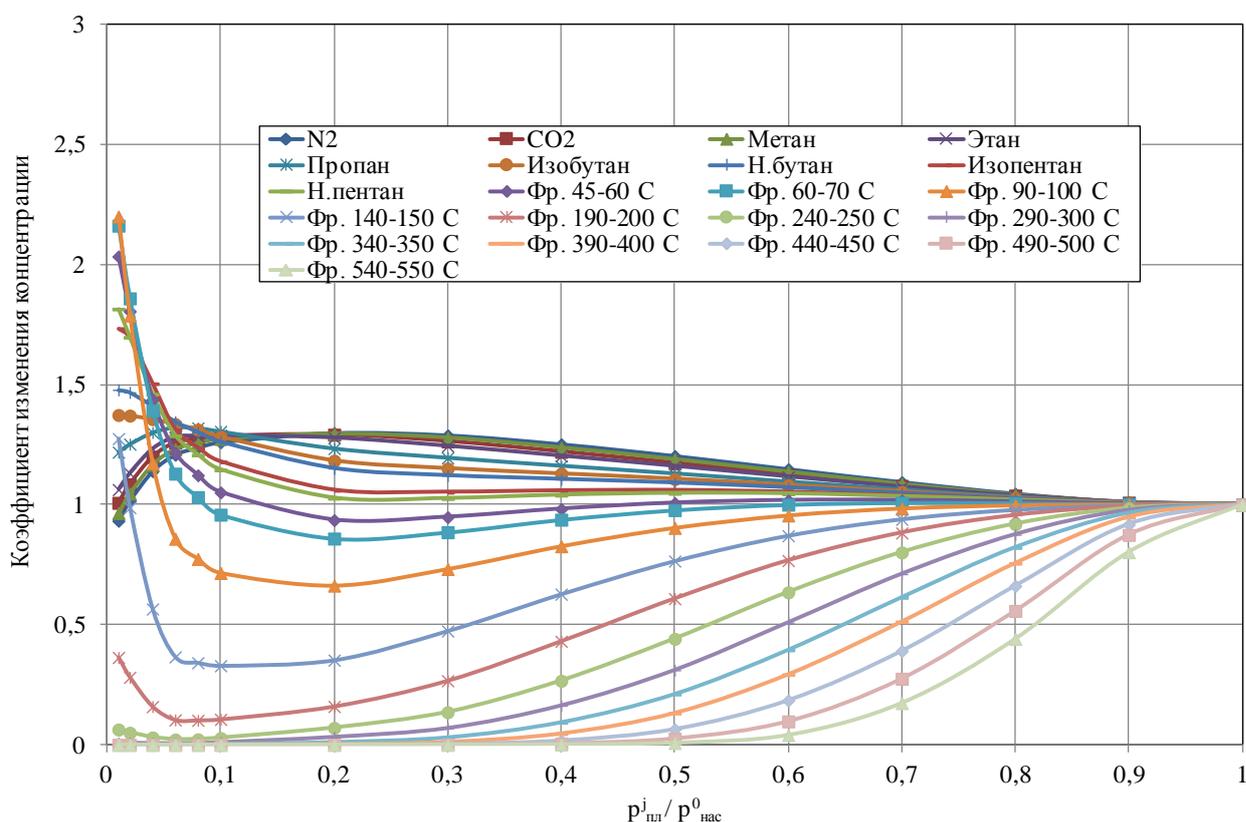


Рисунок 2 - График зависимости коэффициентов извлечения компонентов добываемого флюида от $\left(\frac{p_{пл}^j}{p_{нас}^0}\right)$ (для продукции ачимовских залежей)

На базе представленных зависимостей и полученного по результатам экспериментальных исследований или расчетно-технологического мониторинга КФС добываемого сырья на текущей стадии разработки можно восстановить КФС начального добываемого флюида и затем на его основе определять прогнозные составы добываемого сырья в динамике разработки.

Для реализации балансовой модели региональной группы газоконденсатных промыслов с централизованной стабилизацией конденсата (далее – Модели) выбран табличный редактор Microsoft Excel с целью сокращения трудозатрат на обработку результатов расчетов и подготовку документации. Вторая причина такого выбора - Модель на основе электронных таблиц не имеет ограничений по числу пользователей, накладываемых электронной защитой СТМ от несанкционированного размножения, что позволяет одновременно ряду специалистов выполнять несколько вариантов расчетов. В главе описываются структура и специально созданные средства реализации Модели.

Модель промышленной подготовки УВС включает локальные модели: прогноза составов пластовых флюидов месторождений в динамике их разработки; подготовки скважинной продукции на промысловых объектах; централизованных установок заключительной стадии подготовки (стабилизации) конденсатов нескольких месторождений.

Каждая из перечисленных локальных моделей представляет собой набор унифицированных файлов – книг Microsoft Excel, объединенных между собой связями. Для

выполнения сложных итерационных расчетов и организации автоматизированного процесса вычислений в необходимой последовательности в зависимости от схемы моделируемого процесса созданы специализированные программные приложения (с применением среды программирования Borland Delphi и встроенного языка программирования Visual Basic for Applications), которые вызываются с помощью специально созданных надстроек из любой книги Microsoft Excel.

Исходными данными для расчетов являются объемы и КФС добываемого на месторождениях УВС, режимные параметры процессов промышленной подготовки, спецификации потоков (фактические значения или нормативные требования к качеству потоков). Выполнение расчетов по моделям базируется на последовательном определении МКБ каждого входящего в балансовую схему УР на основе преобразований соответствующих ФОК по условиям достижения соответствия расчетных выходов или показателей качества потоков заданным для них спецификациям. Показатели качества потоков вычисляются по прошедшим длительную практическую проверку методикам, связывающих компонентно-фракционные составы и физико-химические свойства компонентов с показателями качества потоков (см. А.Г.Касперович, Р.З.Магарил «Балансовые расчеты при проектировании и планировании переработки углеводородного сырья газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений»).

В третьей главе представлены результаты практического использования комплексной модели промышленной подготовки углеводородного сырья ОАО «Газпром» в Западной Сибири, приводятся описание и примеры решения различных задач на основе ее применения.

Балансовое моделирование процессов промышленной подготовки УВС на базе определения и преобразований функций отбора компонентов широко используется в ООО «ТюменНИИгипрогаз» при проектировании и анализе разработки северных газоконденсатных (ГКМ) и нефтегазоконденсатных (НГКМ) месторождений, а также при комплексных прогнозных расчетах вариантов реконструкции и перспективного развития региональной системы ОАО «Газпром» в Западной Сибири. Ее особенностью является наличие централизованных объектов подготовки (стабилизации) конденсата, территориально отделенных от промышленных установок месторождений.

Модель и входящие в ее состав локальные модели могут использоваться для решения самых разнообразных задач, которые можно разделить на два глобальных типа: расчетно-технологического мониторинга (РТМ) и прогноза.

РТМ фактически является базовой задачей моделирования промышленной подготовки, и выполняется с целью максимально достоверного воспроизведения на модели фактических показателей процесса (по результатам измерений параметров и аналитического контроля потоков) для значительного расширения объема информации о потоках, а также для

адаптации (настройки и подстройки) модели и определения степени ее соответствия результатам измерений.

Способ применения РТМ показан на примере одного из газоконденсатных промыслов Западной Сибири. В качестве исходных данных используется экспериментальный состав нестабильного конденсата (НК), режимные параметры сепараторов, фактические объемы газа и конденсата. Искомый состав добываемого УВС на первой итерации принимается ориентировочно по аналогам или результатам предыдущих расчетов. По нему проводится балансовый расчет промысла и находится обобщенная ФОК УКПГ. По ней, исходя из экспериментального состава и фактической массы товарного конденсата рассчитываем массы компонентов товарного газа $G_i^{газ}$:

$$G_i^{газ} = \frac{G_i^{НК}}{K_i^{НК}} \cdot (1 - K_i^{НК}), \quad (2)$$

где $G_i^{НК}$ – масса i -того компонента в НК;

$K_i^{НК}$ – коэффициент отбора i -того компонента в НК.

Суммируя массы компонентов газа и НК, находим массы компонентов и уточненный состав добываемого УВС, по которому повторяем вышеизложенный расчет, определяем удельный выход конденсата на газ сепарации и его сходжение с фактическим. Если заданная точность не достигнута, вновь проводим рекомбинацию добываемого УВС с массой НК, скорректированной на величину отклонения и повторяем расчет УКПГ.

В результате нескольких итераций находим состав добываемого УВС, поступающего на вход УКПГ, увязанный с технологическими параметрами промысла на момент отбора пробы конденсата и балансовыми выходами продукции. При этом расчетный состав НК с приемлемой точностью совпадает с экспериментальным – абсолютные отклонения по компонентам в приведенном примере не превысили 0,5% - для пропана (рисунок 3).

Расчетное потенциальное содержание углеводородов C_{5+} в добываемом УВС составило 63,3 г/м³ - на 4 г/м³ (5%) ниже данных эксплуатационного рапорта, что свидетельствует о корректности этого метода.

Полученная в результате расчета информация о составах добываемого сырья может служить основой для анализа разработки месторождения, расчетов связанных со списанием запасов, а также при проектировании дальнейшей разработки месторождения (прогнозные расчеты показателей разработки).

Для достоверного решения прогнозных задач, требуется использование адекватных, по возможности адаптированных в процессе РТМ моделей и достоверных данных по составам и свойствам добываемого сырья. Прогнозные задачи можно подразделить на локальные и комплексные.

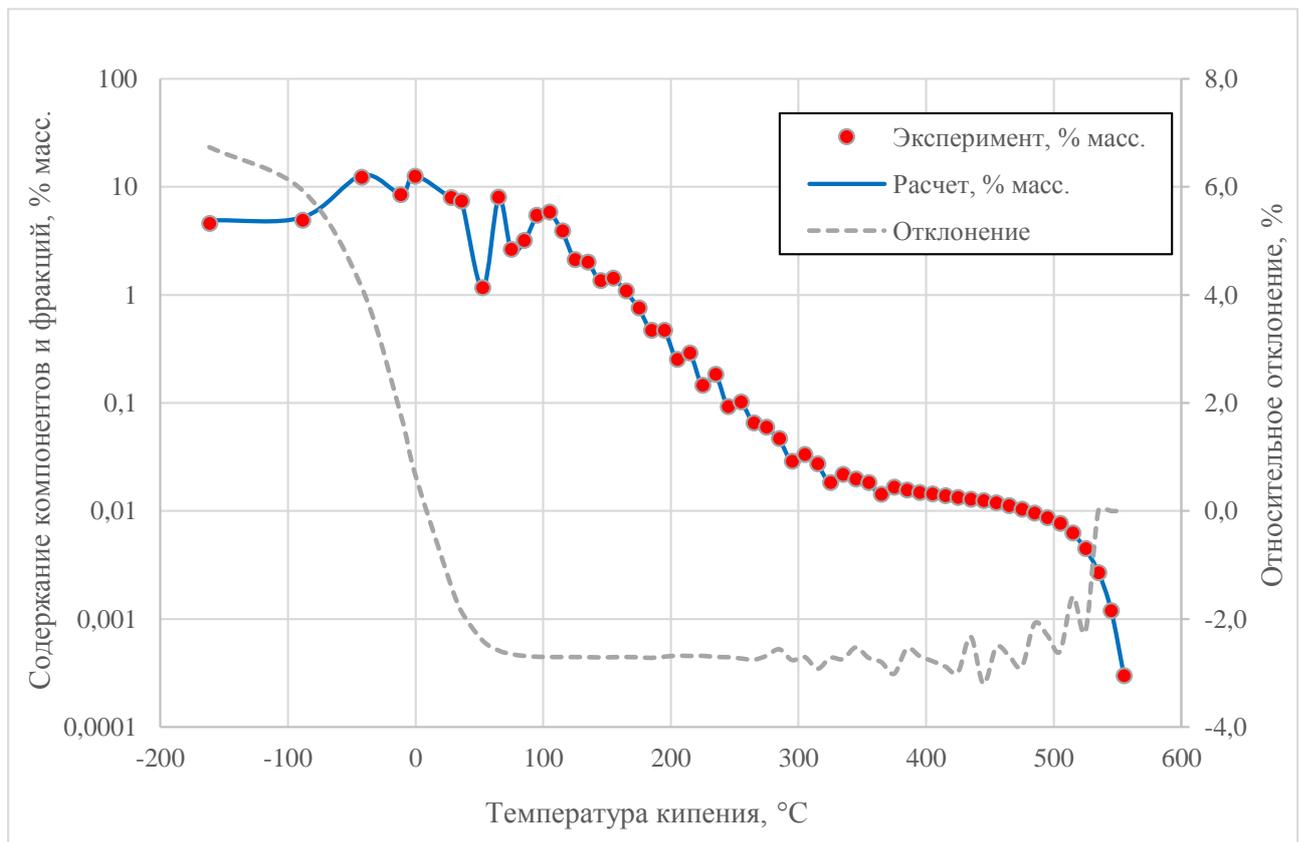


Рисунок 3 – Сравнение расчетного состава нестабильного конденсата с экспериментальным

В качестве примера локальной задачи в работе описывается расчет прогнозных КФС, объемов и свойств добываемого сырья и продуктов одного из газоконденсатных промыслов Западной Сибири в целом и по объектам разработки. В качестве исходных данных используются прогнозные содержания углеводородов C_{5+} (из расчета ГДМ), по которым рассчитываются составы добываемого УВС вышеописанным методом с использованием коэффициентов изменения концентраций.

По прогнозным составам общего потока добываемого сырья с помощью адаптированной на стадии РТМ модели проводится балансовый расчет промысла в целом, после чего вычисляются массы компонентов отдельных объектов разработки в продуктах УКПГ по обобщенной ФОК и массам компонентов УВС в сырье соответствующих объектов:

$$Gnk_i^N = Graw_i^N \cdot K_i^{NK}, \quad (3)$$

где Gnk_i^N – масса i -того компонента НК из сырья N -го объекта разработки,

$Graw_i^N$ – масса i -того компонента в сырье N -го объекта разработки,

K_i^{NK} – коэффициент отбора i -того компонента по обобщенной ФОК.

Суммарная масса компонентов в продукте (Gnk^N), полученная из сырья выбранного объекта разработки вычисляется сложением масс. Итоговая формула выглядит следующим образом:

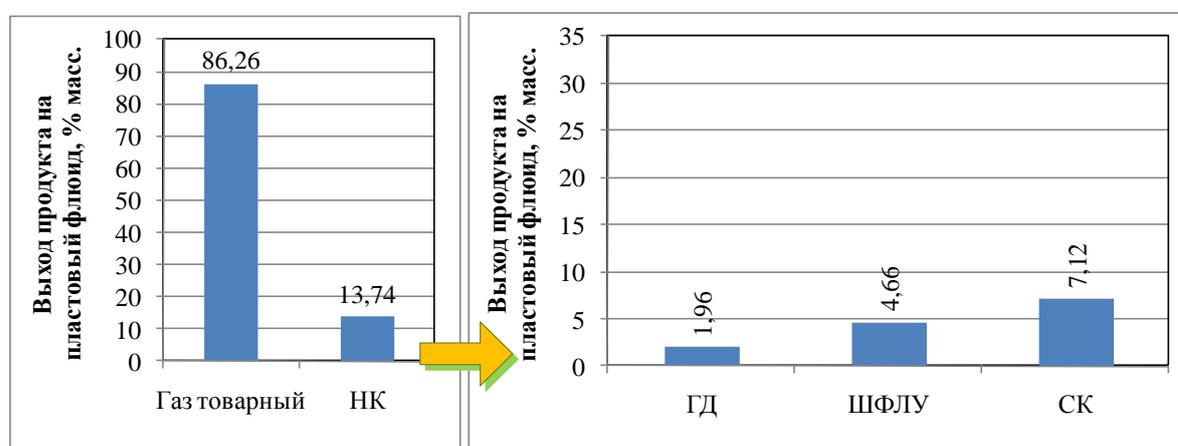
$$Gnk^N = \sum_{i=1}^{nn} Gnk_i^N, \quad (4)$$

где np – общее количество компонентов.

Применение описанного подхода позволяет рассчитывать прогнозные составы и выходы продуктов промышленной подготовки в целом по УКПГ и отдельно по каждому объекту для более детального анализа разработки месторождения.

Комплексные прогнозные задачи заключаются в выполнении балансовых расчетов промышленных и централизованных установок промышленной подготовки УВС, входящих в единую систему. Примером является расчет полного баланса промышленной подготовки добываемого на месторождении сырья, включая выходы и составы продуктов стабилизации конденсата, что требуется при анализе и планировании разработки. Расчеты в объеме промыслов отдельных месторождений недостаточны для адекватного достижения этой цели, но применение комплексной модели с использованием вышеупомянутой методики выделения из общих МКБ балансов отдельных сырьевых потоков дает возможность успешно и корректно решать такие задачи.

Пример получения дополнительной достоверной информации и составления общего баланса промышленной подготовки добываемого сырья на базе Модели, охватывающей промышленные и централизованные установки по сравнению с получаемой традиционно, показан на рисунке 4. Прогнозные расчеты по Модели позволяют значительно уточнить выходы продуктов стабилизации конденсатов отдельных месторождений в составе балансов централизованных установок промышленной подготовки УВС по сравнению с традиционным способом расчета по фиксированным «коэффициентам выходов».



а)

б)

Рисунок 4 – Расчетные диаграммы объемов продуктов промышленной подготовки, полученные при расчетах в объеме промысла (а) и дополнительно по комплексной модели (б),
(НК – нестабильный конденсат, ГД – газ деэтанализации, ШФЛУ – широкая фракция легких углеводородов, СК – стабильный конденсат)

На рисунке 5 представлены результаты комплексных балансовых расчетов деэтанализации и стабилизации смеси конденсатов трех ГКП – выходы газа деэтанализации (ГД) и стабильного конденсата (СК) в сравнении с расчетом по «коэффициентам выходов». Потенциальное содержание углеводородов C_{5+} в сырье ГКП 1, ГКП 2, ГКП 3 растет от первого

к третьему. Из рисунка видно, что наибольшие отклонения по выходам продукции наблюдаются для ГКП 3 – с наиболее «тяжелым» составом сырья.

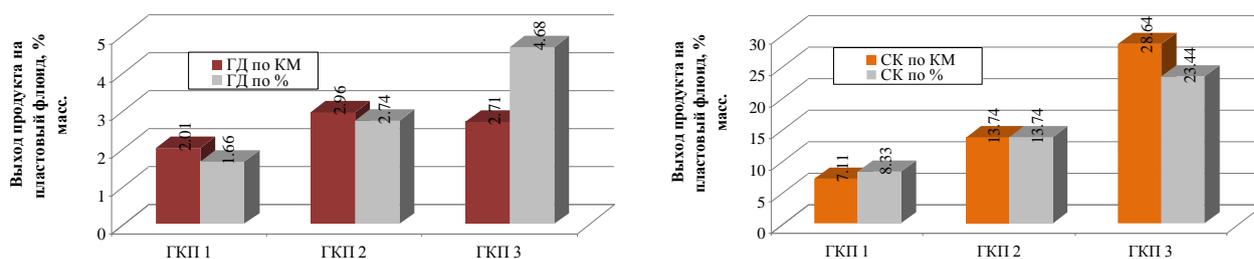


Рисунок 5 – Диаграммы выходов продуктов деэтанализации и стабилизации конденсатов отдельных месторождений по комплексной модели и «коэффициентам выходов»

Представленный метод расчета балансов стабилизации конденсатов индивидуальных промыслов в составе общих балансов заводских установок деэтанализации и стабилизации смесей конденсатов позволяет получить дополнительную информацию для более объемного и подробного анализа показателей эксплуатации месторождений, уточнения учетных задач по реализации сырьевых ресурсов, договорных показателей поставки сырья на переработку, получению исходных данных для уточненного расчета ТЭП, трансфертного ценообразования и т.п.

Другим примером, демонстрирующим вариант применения Модели, является выработка решений по синхронизации мощностей по централизованной подготовке добываемого УВС с развитием мощностей добычи и промысловой подготовки.

Пример основывается на условном сценарии развития Западно-Сибирского комплекса по подготовке УВС ГКМ. Схематично предлагаемый для решения этой задачи подход показан на рисунке 6.

На централизованных установках подготовки конденсата существует ряд ограничений по составам и свойствам сырья и продуктов, максимальной и минимальной загрузке мощностей, изменяющихся во времени условий технологической и экономической эффективности их эксплуатации. Наличие большого числа взаимозависимых параметров (переменные во времени составы и объемы добываемого УВС, многовариантность распределения потоков и другие) не позволяет решать задачи синхронного развития мощностей добычи и подготовки УВС на месторождениях и централизованных установок подготовки конденсата путем простого сложения и разделения объемов добываемого сырья и сравнения объемов полученных потоков с мощностями действующих установок.

Применение разработанной Модели в этих условиях позволяет успешно и оперативно решать такие задачи на основе выполнения многовариантных расчетов.

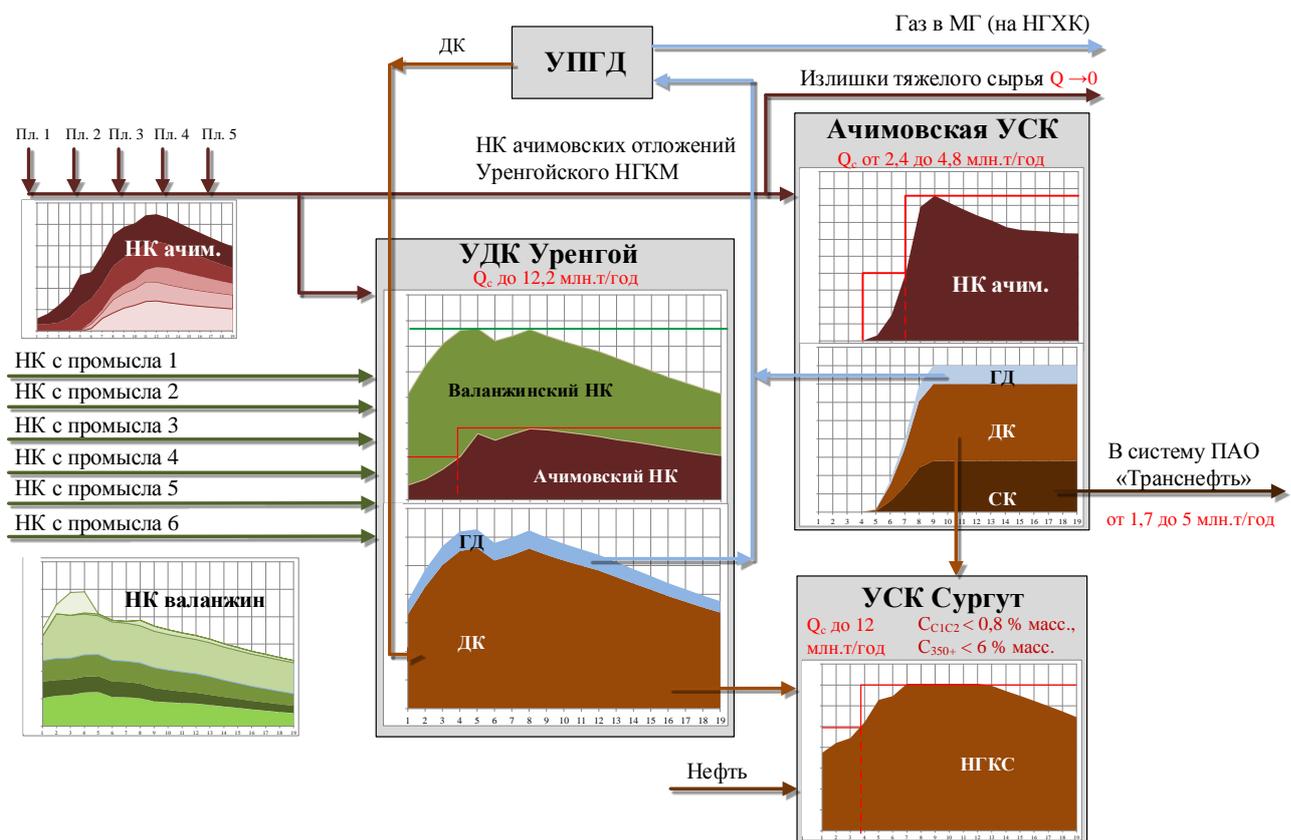


Рисунок 6 – Схема определения сроков синхронного ввода мощностей объектов региональной схемы добычи и подготовки УВС

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Анализ практики проектирования разработки и обустройства месторождений, планирования добычи и подготовки углеводородного сырья показал, что обычно планирование добычи ведется без учета всей системы промышленной подготовки углеводородного сырья. Это может приводить к недостаточной или избыточной загрузке централизованных установок подготовки конденсата по сырью и трудностям при реализации продукции.

2. Анализ современных методов моделирования промышленной подготовки углеводородного сырья выявил их недостаток, заключающийся в плохой приспособленности для последовательных расчетов сложных систем (включающих комплексы сооружений по промышленной подготовке углеводородного сырья и централизованные установки подготовки конденсата) на прогнозируемый период (год, квартал, месяц).

3. Разработан способ балансового моделирования процессов промышленной подготовки углеводородного сырья посредством выделения в схеме бинарных узлов разделения жидкость-газ и унифицированного математического описания для них функциональных зависимостей коэффициентов отбора компонентов и фракций от их температур кипения.

4. Предложен метод расчета материальных балансов и составов продуктов промышленной подготовки углеводородного сырья на основе вычисления коэффициентов отбора компонентов в узлах разделения по критериям схождения расчетных и заданных спецификаций качества потоков.

5. Разработан метод прогноза изменения состава добываемого сырья на основе закономерностей изменения концентраций компонентов от соотношения текущего и начального давления насыщения пластового флюида, устанавливаемых по результатам экспериментальных PVT-исследований его дифференциальной конденсации.

6. Разработана и практически реализована комплексная балансовая модель промышленной подготовки добываемого сырья газоконденсатных месторождений ПАО «Газпром» в Западной Сибири, позволяющая учитывать потоки со всех месторождений, включенных в систему, технологические параметры работы оборудования и ограничения по загрузке централизованных установок стабилизации конденсата.

Основные научные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Касперович А.Г. Методология адаптации технологических моделей подготовки и первичной переработки газового конденсата и нефти / А.Г. Касперович, Д.А. Рычков, О.А. Омельченко // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – С. 47–50.

2. Касперович А.Г. Развитие систем добычи, транспорта и переработки УВС на основе моделирования поточных схем / А.Г. Касперович, Н.Н. Кисленко, Р.Ф. Фатрахманова, П.Е. Емельянов, О.А. Омельченко, В.В. Прытков, Д.А. Рычков // Газовая промышленность. – 2007. – № 4. – С. 40–44.

3. Нестеренко А.Н. Моделирование дифференциальной конденсации газоконденсатного флюида / А.Н. Нестеренко, А.Г. Касперович, В.В. Прытков, О.А. Омельченко, Д.А. Рычков, Т.В. Турбина // Газовая промышленность. – 2014. – № 1. – С. 82–86.

4. Касперович А.Г. Построение фазовых диаграмм углеводородных систем для анализа процессов добычи, подготовки и транспорта сырья газоконденсатных месторождений / А.Г. Касперович, О.А. Омельченко, Д.А. Рычков, Т.В. Турбина // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». Проблемы разработки газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений, № 4 (20), 2014, С. 146 – 155.

5. Нестеренко А.Н. Практический опыт, проблемы и пути совершенствования методов определения и прогноза составов добываемого сырья газоконденсатных месторождений для адекватного моделирования его промышленной подготовки, транспорта и переработки / А.Н. Нестеренко, А.Г. Касперович, О.А. Омельченко, Д.А. Рычков, Е.А. Якушенко // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов, № 4 (28), 2016, С. 29 – 38.

В других изданиях:

6. Рычков Д.А. Исследование функций распределения компонентов для комплексного моделирования поточных схем промышленной подготовки и переработки углеводородного сырья / Д.А. Рычков, Ю.В. Кацмон, В.В. Прытков, А.Г. Касперович // Проблемы развития газовой промышленности в Западной Сибири: Сб. тезисов докладов 8 науч-практ. конф. молодых ученых и специалистов – Тюмень, ООО «ТюменьНИИГипрогаз». – 2004.– с. 124.

7. Рычков Д.А. Использование комплексного моделирования подготовки, транспорта и переработки углеводородного сырья при проектировании разработки газоконденсатных месторождений / Д.А. Рычков // Актуальные вопросы и научно-технические решения по технике и технологии добычи и подготовки газа на месторождениях, вступивших в заключительную стадию разработки: Материалы заседания секции «Добыча и промышленная подготовка газа и газового конденсата» Научно-технического совета ОАО «Газпром» (пос. Кабардинка, 25-29 октября 2010 г.). – М.: ООО «Газпром экспо», – 2012. – С. 185–194.

Подписано к печати « » октября 2020 г.
Заказ №
Тираж 100 экз.
1 уч. – изд.л, ф-т 60x84/16
Отпечатано в ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
По адресу: 142717, Московская область,
Ленинский район, пос. Развилка,
Проектируемый проезд № 5537, владение 15, строение 1