

СТАТЬИ

УДК 681.5:66.012.52:553.981.6
DOI 10.17513/snt.40361

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛОННЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА КОВЫКТИНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

¹Голодков Ю.Э., ¹Елшин В.В., ²Ларионова Е.Ю., ³Горькова К.А.

¹ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
Иркутск, e-mail: yrg27@mail.ru, e-mail: dean_zvf@istu.edu;

²ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет», Иркутск,
e-mail: lari555@mail.ru;

³ООО «Газпромдобыча Иркутск», Иркутск, e-mail: gorkova9587@mail.ru

Исследование работы установки стабилизации газового конденсата в условиях Ковыктинского газоконденсатного месторождения выявило, что отклонения в термобарических параметрах колонны стабилизации приводят к утрате ценных углеводородов вследствие их уноса газами стабилизации. Это отрицательно влияет на качество получаемого продукта, которое оказывается ниже установленных проектных значений, что создает предпосылки для технологической нестабильности производства. Цель настоящего исследования заключалась в определении оптимального соотношения основных параметров процесса стабилизации газового конденсата с помощью компьютерного моделирования. Выявлено, что управление данным процессом осложняется большим числом технологических параметров, изменения которых могут оказывать существенное взаимное влияние. Проанализированы важнейшие параметры, влияющие на стабильность процесса и качество конечного продукта, такие как давление, температура, расходы сырья и др. Моделирование этих параметров выполнено в программном комплексе Aspen Hysys для оптимизации технологических параметров процесса стабилизации газового конденсата на установке комплексной подготовки газа. Расчеты проводились с учетом установленной проектом величиной давления насыщенных паров стабильного газового конденсата. Полученные в ходе исследования данные позволяют улучшить систему автоматического управления процессом стабилизации газового конденсата и повысить экономическую эффективность эксплуатации месторождения.

Ключевые слова: газовый конденсат, колонна стабилизации, моделирование, оптимизация параметров

MODELING THE PARAMETERS OF THE GAS CONDENSATE STABILIZATION COLUMN OF THE KOVYKTA GAS CONDENSATE FIELD

¹Golodkov Yu.E., ¹Elshin V.V., ²Larionova Ye.Yu., ³Gor'kova K.A.

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: yrg27@mail.ru, dean_zvf@istu.edu;

²Irkutsk State Medical University, Irkutsk, e-mail: lari555@mail.ru;

³Gazpromdobycha Irkutsk, Irkutsk, e-mail: gorkova9587@mail.ru

A study of the gas condensate stabilization unit operation under the conditions of the Kovyktta gas condensate field revealed that deviations in the thermobaric parameters of the stabilization column lead to the loss of valuable hydrocarbons due to their entrainment by stabilization gases. This has a negative effect on the quality of the resulting product, which is below the established design values, and creates prerequisites for technological instability of production. The purpose of this study was to determine the optimal ratio of the main parameters of the gas condensate stabilization process using computer modeling. It was revealed that control of this process is complicated by a large number of process parameters, changes in which can have a significant mutual influence. The most important parameters affecting the stability of the process and the quality of the final product, such as pressure, temperature, raw material consumption, etc., were analyzed. These parameters were modeled in the Aspen Hysys software package to optimize the process parameters of the gas condensate stabilization process at the integrated gas treatment unit. The calculations were carried out taking into account the saturated vapor pressure of the stable gas condensate established by the project. The data obtained during the study make it possible to improve the automatic control system for the gas condensate stabilization process and increase the economic efficiency of field operation.

Keywords: gas condensate, stabilization column, modeling, parameter optimization

Введение

Предупреждение технологических аварий в эксплуатации промышленных объектов нефтегазовой отрасли и обеспечение непрерывного функционирования данной инфраструктуры имеют решающее значение в развитии экономики страны. Ковыктинское газоконденсатное месторождение (ГКМ), расположенное на востоке России,

является одним из крупнейших по запасам газа в этом регионе и служит основой для создания Иркутского центра газодобычи, выступает важной ресурсной базой для газопровода «Сила Сибири».

Рассмотрение известных примеров нарушений технологических режимов показало, что наиболее частые события происходят в виде отклонений технологических

параметров основного и вспомогательного оборудования от оптимальных значений, что приводит к неминуемым потерям ценных компонентов [1, с. 68; 2, с. 3]. В исследованиях [3, с. 22; 4, с. 72] отмечена возможность создания даже аварийных ситуаций, остановки производства и экономических издержек. Управление процессом стабилизации газового конденсата затруднено из-за большого числа технологических параметров, изменения которых могут оказывать сложное взаимное влияние друг на друга [5, с. 42]. Эффективным средством исследования таких процессов является использование компьютерного моделирования для поиска оптимальных условий обеспечения стабильности технологических параметров [6, с. 45] и совершенствования на этой основе систем автоматизированного управления технологическими процессами [7, с. 686].

Цель исследования состояла в поиске оптимального соотношения основных параметров процесса стабилизации газового конденсата с помощью компьютерного моделирования.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели исследования были применены комплексные научные методы. Основным подходом стало компьютерное моделирование технологических режимов работы установки комплексной подготовки газа №2 (УКПГ-2) Ковыктинского газоконденсатного месторождения с использованием программного комплекса Aspen Hysys, который позволил проанализировать термобарические параметры и оптимизировать процесс. Для построения модели были учтены важные параметры, такие как давление, температура, расходы сырья и иные, которые влияют на стабильность процесса и качество конечного продукта. При этом принималось во внимание, что проектом установлена рекомендуемая величина давления насыщенных паров (ДНП) стабильного газового конденсата в диапазоне 0,055–0,065 МПа. Установление низкого значения ДНП в проекте направлено на обеспечение безопасности, соответствия стандартам, повышение качества продукта, экономическую выгоду и защиту окружающей среды.

Aspen Hysys – программный комплекс, предназначенный для математического моделирования разнообразных химических процессов, начиная от отдельных операций и заканчивая сложными объектами и нефтеперерабатывающими предприятиями [8, с. 2; 9, с. 127–128]. Корректное задание проектного состава исследуемого процесса по-

зволяет Aspen Hysys прогнозировать параметры потоков, их составы и физические свойства, рабочие условия аппаратуры, а также размеры оборудования [10, с. 95; 11, с. 110]. Программа предоставляет возможности для анализа условий обеспечения безопасности процесса и работы сложного оборудования, поведения установки при различных изменениях, а также оптимизации технологических параметров в целях достижения наилучших результатов.

Для определения технологических особенностей и ключевых факторов, влияющих на технологический режим, были выполнены литературный поиск и обзор научных исследований в области ректификации и стабилизации газовых конденсатов. На основании этого анализа была сформирована база знаний, которая послужила теоретической основой для дальнейших расчетов и моделирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Колонна стабилизации играет решающую роль в процессе стабилизации конденсата методом ректификации на установке стабилизации газового конденсата (УСК) [12, с. 28].

Основная задача процесса ректификации заключается в очищении нестабильного газового конденсата от примесей и выделении из него углеводородов класса метан, этан, пропан, бутан. Разделение компонентов смеси происходит за счет разницы в температурах кипения в процессе испарения и конденсации в ректификационной колонне тарельчатого типа. При этом жидкую фазу контактирует с поднимающимися газовыми потоками и обогащается более высококипящими углеводородами, а газовая фаза насыщается низкокипящими углеводородами [13, с. 20]. Тепловые и массообменные процессы осуществляются в результате конденсации паров и испарения жидкости, поэтому вся жидкость, которая содержится в исчерпывающей части колонны, обладает стабильными свойствами и является готовым товарным продуктом.

Анализ исследований в области ректификации [14, с. 107; 15, с. 18] показал, что важнейшими параметрами, влияющими на поддержание технологического режима в оптимальных условиях, являются следующие:

- давление в верхней и нижней частях колонны, а также перепад давления;
- температура подачи сырья;
- температуры низа и верха колонны;
- расходы сырья, дистиллята, орошающей жидкости и кубового остатка;

- параметры теплоносителя (температура и расход циркулирующей жидкости);
- состав и температура конечных продуктов;
- уровень жидкости в кубовой части колонны.

На качество процесса стабилизации газового конденсата существенное влияние оказывают расход и состав питательной смеси, которые могут рассматриваться как возмущающие воздействия. Так, недостаток питания приводит к повышению концентрации низкокипящих компонентов в дистилляте, и производительность ректификационной колонны снижается, а переизбыток исходной смеси ухудшает температурные условия для испарения низкокипящих компонентов, что приводит к увеличению содержания высококипящих компонентов в кубовом остатке, и качество выходящего конденсата снижается.

Эффективность процесса ректификации определяется также температурой внутри колонны, которая зависит от давления, параметров исходной смеси, количества флегмы и подаваемого пара в кипятильник. Если температура в кубовой части колонны снижается, то это приводит к уменьшению давления, для поддержания которого сокращается отбор паров из колонны. Тогда создаются условия для накопления низкокипящих компонентов в кубовой части, и качество продукта снижается. Если температура в колонне повышается, то увеличивается концентрация высококипящих компонентов в дистилляте, и производительность колонны снижается.

Исходная смесь при подаче в колонну должна иметь температуру не ниже температуры кипения, для этого используют систему автоматической стабилизации с помощью теплообменника. В противном случае для поддержания температуры подаваемой смеси будет расходоваться теплота паров нижней части колонны, что неизбежно усилит конденсацию паров и нарушит технологические условия процесса ректификации.

Изучение влияния расхода перегретого пара на эффективность разделения компонентов исходной смеси показало, что повышение расхода пара увеличивает скорость движения газовой фракции, тем самым способствует барботажу компонентов на тарелках и в целом процессу ректификации. Однако следует поддерживать оптимальное значение расхода пара ниже критического, при котором наблюдается нежелательное явление «захлебывания» колонны.

Для нормального функционирования печи, выполняющей функцию выносного

кипятильника, и всей колонны в целом необходимо поддерживать стабильный уровень жидкости в исчерпывающей части колонны, чтобы обеспечить материальный баланс.

Качество дистиллята напрямую зависит от количества подаваемой флегмы (орошения) в колонну, расход которой регулируется с помощью изменения состава дистиллята и температуры верхней части колонны. Это связано с тем, что повышение расхода флегмы, с одной стороны, улучшает производительность колонны по кубовой части жидкой фракции, а с другой стороны, снижает экономическую эффективность процесса по причине дополнительных энергетических затрат на испарение избыточной флегмы.

Таким образом, процесс ректификации является одним из наиболее сложных в химической технологии, поскольку характеризуется множеством взаимосвязанных параметров. На основе проведенного анализа формируются основные каналы регулирования, отражающие взаимосвязи между входными и выходными параметрами, а также определяются возмущения для колонны.

При изучении процесса стабилизации газового конденсата на установке УКПГ-2 авторами было обнаружено, что нарушение термобарических параметров колонны стабилизации приводит к уносу ценных углеводородных компонентов газами стабилизации. Это влечет за собой снижение качества конечного продукта относительно проектных показателей.

Показано, что управление этим процессом затруднено из-за большого числа технологических параметров, которые взаимозависимы. Поэтому из множества выходных параметров как наиболее результативные с точки зрения управления технологическим процессом были выделены температура и давление в кубовой части колонны. И исследования методом компьютерного моделирования выполнены относительно данных параметров.

В материалах статьи представлено сокращенное содержание процесса моделирования в среде Aspen Hysys.

1. Создан список компонентов модели, которые используются в технологическом процессе. К компонентам относятся такие углеводороды, как метан, этан, пропан, пентан, бутан и др. Также были добавлены проектные составы потоков.

2. Определен пакет свойств, связанных с уравнениями для моделирования термодинамического поведения как индивидуальных компонентов, так и их смесей. Расчеты производили с помощью уравнений состояния пакета свойств Peng-Robinson.

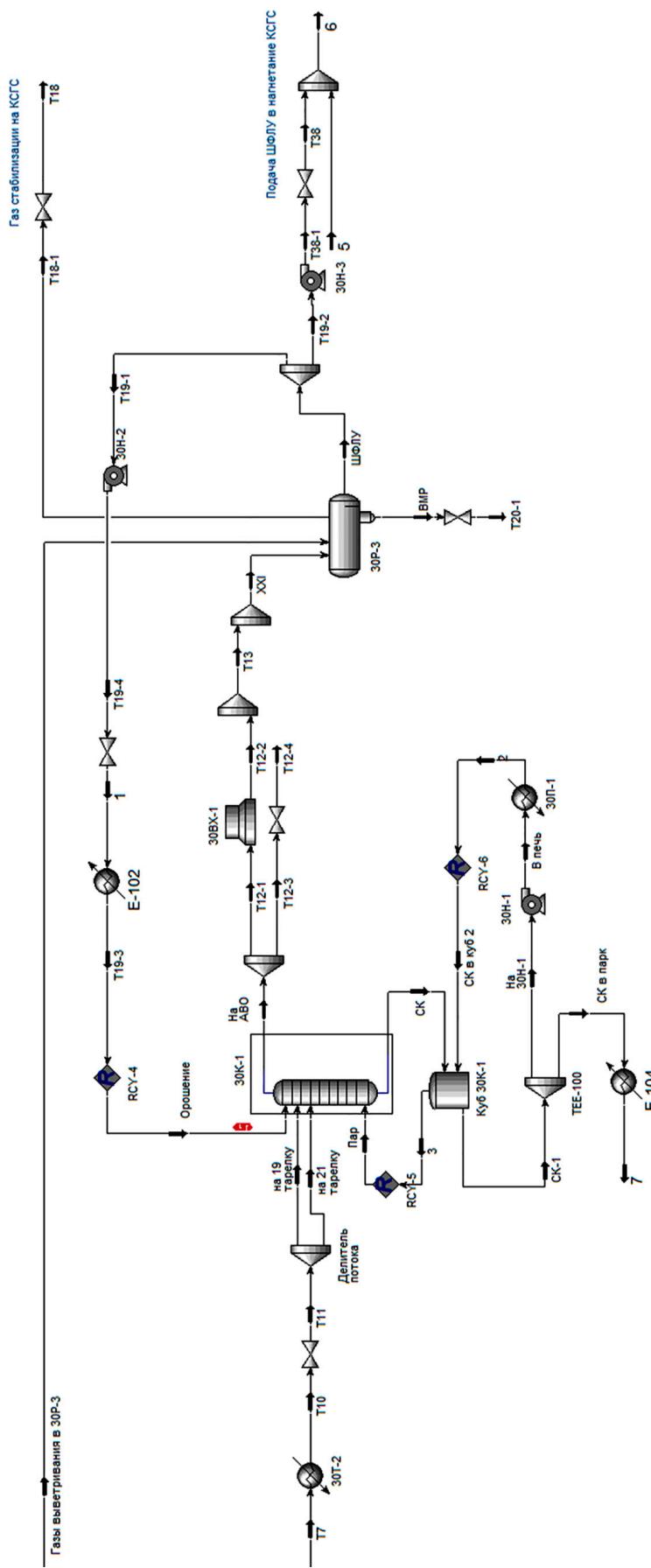


Рис. 1. Компьютерная модель УCK
Источник: составлено авторами

Материальный поток: На АВО

Таблица	Название потока	На АВО	Паровая фаза	Жидкая фаза
Условия		0,9327	0,9327	0,0673
Свойства		45,47	45,47	45,47
Состав		1,300	1,300	1,300
Подача нефти и газа		5,231	4,879	0,3520
Проба нефтепродукта		8476	7766	709,5
Конст. равн.		18,15	16,86	1,291
Пользов.перемен.		-1,040e+005	-1,012e+005	-1,431e+005
Прим.		159,4	163,8	98,26
Парам. стоим.		-2,262e+007	-2,052e+007	-2,093e+006
Нормализ. выходы		18,10	16,93	1,252
Выбросы		<i>Basis-1</i>		

OK

Материальный поток: На АВО

Таблица	Массовые доли	Паровая фаза	Жидкая фаза
Methane	0,0595	0,0646	0,00
Ethane	0,2222	0,2369	0,06
Propane	0,3518	0,3604	0,25
i-Butane	0,1279	0,1231	0,18
n-Butane	0,2073	0,1921	0,37
H ₂ O	0,0002	0,0002	0,00
Methanol	0,0219	0,0169	0,07
F1*	0,0063	0,0037	0,03
F2*	0,0018	0,0010	0,01
F3*	0,0001	0,0000	0,00
Итого	1,00000		

Рис. 2. Задание проектных условий и состава потоков на примере материального потока газа стабилизации на выходе из колонны
Источник: составлено авторами

Выбор переменной Настройки проекта Результаты Граф.

Независимые переменные				
	Имя	Ярлык	Текущее знач.	Ед. изм..
1	2 - Фаза-Температура (Общие)		260,0	с

Диспетчер переменных Найти переменные

Зависимые переменные				
	Имя	Ярлык	Текущее знач.	Ед. изм..
1	7 - Калькулятор (Reid VP at 37.8 С-Общие)		52,56	кPa

Диспетчер переменных Найти переменные

Рис. 3. Сформированный список переменных для расчета термобарических параметров
Источник: составлено авторами

Выбор переменной Настройки проекта Результаты Граф.			
Сбой проекта	Показ	Все	<input checked="" type="checkbox"/> Транспонирование
Состояние	2 - Фаза-Температура (Общие) [C]	7 - Калькулятор (Reid VP at 37.8 C-Общие) [kPa]	
Сценарий 10	214,0	71,22	
Сценарий 11	215,0	67,52	
Сценарий 12	216,0	66,01	
Сценарий 13	217,0	63,92	
Сценарий 14	218,0	61,58	
Сценарий 15	219,0	59,33	
Сценарий 16	220,0	57,29	
Сценарий 17	221,0	55,10	
Сценарий 18	222,0	53,09	
Сценарий 19	223,0	51,26	
Сценарий 20	224,0	48,80	
Сценарий 21	225,0	47,96	

Рис. 4. Результаты вычислений термобарических параметров
Источник: составлено авторами

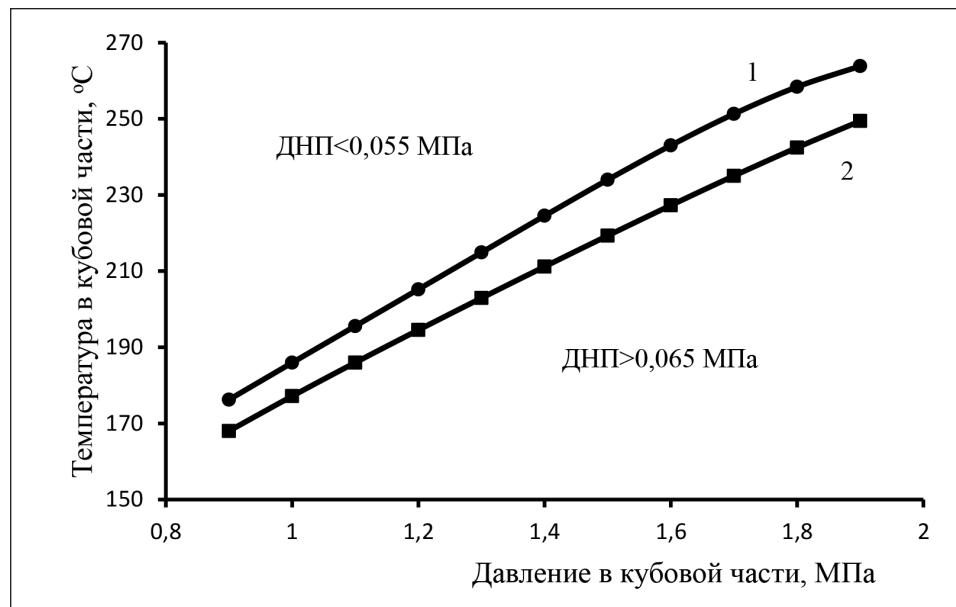


Рис. 5. Оптимальные термобарические условия колонны стабилизации (график 1 – при ДНП= 0,055 МПа; график 2 – при ДНП= 0,065 МПа)
Источник: составлено авторами

3. С помощью библиотеки блоков «Панели моделей» в рабочем окне был смоделирован процесс стабилизации газового конденсата с указанием всего необходимого оборудования и аппаратов, который наглядно представлен на рис. 1, задан проектный состав входных и выходных потоков установки (рис. 2).

4. В рамках данного исследования был создан расчет под названием «Зависимость ДНП от температуры конденсата в кубе». Дальнейшие вычисления проводились для двух переменных: температуры стабильного конденсата на выходе из печи и давления насыщенных паров товарного стабильного конденсата (рис. 3).

5. После запуска программы автоматически формируется таблица с результатами вычислений (рис. 4).

Более полные результаты моделирования представлены на рисунке 5.

Анализ полученных результатов компьютерного моделирования позволил определить значения термобарических параметров колонны стабилизации для ведения оптимального режима работы УСК. Так, термобарические условия, соответствующие области между графиками 1 и 2 на рисунке 5, обеспечивают поддержание давления насыщенных паров стабильного газового конденсата в диапазоне 0,055–0,065 МПа, что гарантирует качество товарного продукта. При этом рабочими термобарическими условиями следует принять значения температуры конденсата в кубовой части, соответствующие давлению в диапазоне 1,5–1,6 МПа. Выбор таких значений термобарических параметров объясняется следующими причинами.

Значение давления в колонне больше 1,6 МПа приводит к дополнительной конденсации углеводородов из пара, что отрицательно влияет на состав стабильного газового конденсата. А значительное повышение температуры выше 228,2°C (при ДНП 0,065 МПа) и 243,0°C (при ДНП 0,055 МПа) может вызвать перегрев конденсата, что станет причиной уноса ценных компонентов газами стабилизации с верха колонны. Работа колонны стабилизации при давлении ниже 1,5 МПа и температуре меньше 217,8°C (при ДНП 0,065 МПа) и 233,9°C (при ДНП 0,055 МПа) возможна, однако в этом режиме мощность печи, выступающей в качестве кипятильника, будет использована не в полном объеме, так как для поддержания более низких температур в колонне не будут включены в работу все горелочные устройства.

Таким образом, предложенные условия обеспечивают эффективное отделение легких компонентов и поддержание давления насыщенных паров в требуемом диапазоне в соответствии с проектом.

Заключение

Проведенное исследование позволило глубже понять процесс стабилизации газового конденсата в условиях Ковыктинского газоконденсатного месторождения. С помощью компьютерного моделирования в программном комплексе Aspen Hysys были получены зависимости термобарических параметров, необходимые для настройки оптимального технологического режима, что способствует повышению качества конечного продукта и эко-

номической эффективности эксплуатации установки. Представленные в работе данные могут быть использованы для совершенствования системы автоматического управления процесса стабилизации газового конденсата Ковыктинского газоконденсатного месторождения. Перспективы продолжения исследований в данной области связаны с возможностью дальнейшего улучшения процессов добычи и переработки углеводородов.

Список литературы

1. Ясьян Ю.П., Сыроватка В.А., Казакова А.С., Берестенко Е.Н. Рациональная технология извлечения сжиженных углеводородных газов на адсорбционной установке подготовки природного газа // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2024. № 9 (153). С. 68-72. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/gazopodgotovka/855706-ratsionalnaya-tekhnologiya-izvlecheniya-szhizhennykh-uglevodorodnykh-gazov-na-adsortsionnoy-ustanov/> (дата обращения: 03.02.2025).
2. Мурзабеков Б.Е. Модернизация технологии стабилизации газового конденсата. Автореферат на соискание ученоей степени кандидата технических наук. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2015. 20 с.
3. Абдурахимов К.А., Ли А.Р., Абдурахимов М.А. Оптимизация технологических режимов работы установки стабилизации конденсата на примере промысла «Кокдумалак» // Universum: технические науки. 2024. № 3(120). С. 21-26. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16975> (дата обращения: 03.02.2025).
4. Ганбаров А.Б., Варламов Д.Н., Куликов Д.Ю., Проксурин Г.В. Определение параметров устойчивой работы ректификационной установки при отклонении от проектных условий // Газовая промышленность. 2018. № 8 (772). С. 72-76.
5. Никулин А.С., Степнов Д.А., Куркин Д.С. Разработка суррогатной модели колонны стабилизации газового конденсата // Газовая промышленность. 2022. № 11 (840). С. 42-45.
6. Маслов А.А., Павловский Г.Е. Пути повышения эффективности переработки газа и газового конденсата на Сосновогорском ГПЗ в условиях изменения объемов и состава сырьевой базы // Вестник газовой науки: научно-технический сборник. 2020. № S1 (43). С. 43-46.
7. Абрамкин С.Е., Душин С.Е., Первухин Д.А. Проблемы разработки систем управления газодобывающими комплексами // Известия вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 8. С. 685–692. DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-8-685-692.
8. Королева А.Н., Бахман В.А., Царегородцев Е.Л. Моделирование процесса изомеризации легких бензиновых фракций в программном пакете Aspen Hysys и анализ полученных результатов // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. №7 (133). С. 1-5. URL: <https://research-journal.org/archive/7-133-2023-july/10.23670/IJR.2023.133.25> (дата обращения: 03.02.2025). DOI: 10.23670/IJR.2023.133.25.
9. Ахмеров Д.Р., Мухаметзянова А.Г. Повышение эффективности технологических установок нефтеперерабатывающих заводов с применением Aspen HYSYS // Вестник Технологического университета. 2025. Т. 28, № 1. С. 127-131. DOI: 10.55421/1998-7072_2025_28_1_127.
10. Гилязутдинов Д.Б., Носенко В.Н. Исследование процесса подготовки газов ГКМ в среде ASPENHYSYS // Вестник Омского университета. 2018. Т. 23, № 4. С. 93-97. DOI: 10.25513/1812-3996.2018.23(4).93-97.
11. Гарипов Н.И., Зиятдинов Н.Н., Емельянов И.И. Системный анализ технологического процесса реакторного

- узла установки производства метанола // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27, № 8. С. 109-115. DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_8_109.
12. Жагфаров Ф.Г., Григорьева Н.А., Веретин М.С. Метод оптимизации процесса стабилизации газового конденсата в случае «утяжеления» углеводородного сырья // НефтегазоХимия. 2024. № 1. С. 27–34. DOI: 10.24412/2310-8266-2024-1-27-34.
13. Сыроватка В.А. Совершенствование технологии извлечения тяжелых углеводородов C₅₊ из газа регенерации адсорбционной установки подготовки углеводородного газа: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Астрахань, 2018. 24 с.
14. Ермолин Д.Б., Магарил Е.Р., Магарил Р.З. Повышение эффективности работы стабилизационных колонн в нефтегазовой промышленности // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2018. № 4 (130). С. 107-114. DOI: 10.31660/0445-0108-2018-4-107-114.
15. Абдурахимов К.А., Абдурахимов М.А., Ли Р.Ч. Исследование по определению температурного режима эксплуатации колонны дебутанизации на установке стабилизации конденсата «Кокдумалак» // Universum: технические науки. 2024. №3 (120). С. 16-20. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17117> (дата обращения: 03.02.2025).