

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАХОЛАЖИВАНИЯ ГАЗА

© Коллектив авторов,
2025



**М.М. Хасанов¹, С.А. Нехаев¹, А.Р. Ильясов^{1,*}, Е.А. Мякишев¹, П.В. Марюшко¹,
А.С. Епрынцева¹, В.Л. Жиделев¹, А.Е. Коныгин¹, А.Ч. Хадарцев¹, С.В. Иванов²**

¹Группа компаний «Газпром нефть», РФ, Санкт-Петербург

²Университет ИТМО, РФ, Санкт-Петербург

Электронный адрес: a-r-ilyasov@mail.ru

Введение. Основной задачей на этапе ранней проектной проработки газовых и газоконденсатных месторождений является выбор наиболее эффективной с точки зрения экономических показателей технологии подготовки попутного нефтяного и природного газов. Поиск оптимального решения является достаточно сложной технико-экономической задачей, требующей значительных трудозатрат команды специалистов.

Цель. Целью данной работы является разработка цифрового инструмента на базе мультиагентных систем, позволяющих создавать гибкие и адаптивные системы из множества элементов, взаимодействующих между собой для достижения общей цели.

Материалы и методы. Используются методы системного инжиниринга, интеллектуальных мультиагентных технологий, а также суррогатного моделирования (прокси-модели на основе искусственного интеллекта).

Результаты. В работе приведены результаты по разработке цифрового инструмента, который позволяет определить оптимальную температуру процесса низкотемпературной сепарации (НТС) и, как результат, оптимальный перечень товарных продуктов для сбыта, необходимые для этого технологии и транспортное окружение.

Заключение. Разработан прототип цифрового инструмента, который может быть использован на этапах концептуального проектирования для решения задач по выбору технологии подготовки газа.

Ключевые слова: система поддержки принятия решения, мультиагентные системы, подготовка газа и конденсата, природный газ, газ сепарации, сухой отбензиненный газ, нестабильный газовый конденсат, стабильный газовый конденсат, дестанизованный конденсат, сжиженный углеводородный газ, широкая фракция лёгких углеводородов, низкотемпературная сепарация, внутренний валовый продукт, Институт точной механики и оптики, налог на добычу полезных ископаемых, основные технические решения, проектная документация

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Хасанов М.М., Нехаев С.А., Ильясов А.Р., Мякишев Е.А., Марюшко П.В., Епрынцева А.С., Жиделев В.Л., Коныгин А.Е., Хадарцев А.Ч., Иванов С.В. Система поддержки принятия решения по выбору оптимальной температуры захлаживания газа. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2025;10(2):110–119. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2025-10-2-110-119>

Статья поступила в редакцию 11.03.2025

Принята к публикации 01.04.2025

Опубликована 30.06.2025

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR GAS COOLING TEMPERATURE OPTIMIZATION

**Mars M. Khasanov¹, Sergei A. Nekhaev¹, Aidar R. Ilyasov^{1,*}, Evgeniy A. Myakishev¹,
Pavel V. Maryushko¹, Anton S. Ypryntsev¹, Victor L. Zhidelev¹, Andrey E. Konygin¹,
Alan Ch. Khadartsev¹, Sergey V. Ivanov²**

¹Gazprom нефt company group, RF, Saint Petersburg

²ITMO University, RF, Saint Petersburg

E-mail: a-r-ilyasov@mail.ru

Introduction. One of the key issues at the front-end development phase for gas and condensate fields refers to selection of the most economically effective processing technology for natural and associated gas. Justification of the optimal solution is a complex technical and economic task that requires significant effort from a team of experts.

Aim. The purpose of this paper is to present a digital tool based on multi-agent technologies that form a flexible and adaptive system of many elements that interact with each other to achieve a common goal.

Materials and methods. Methods of system engineering, intelligent multi-agent technologies, surrogate modeling (AI-based proxy models) are used.

Results. This paper presents results of development of the digital tool that determines the optimal temperature for low-temperature condensation processes (LTC) providing the optimal output of commercial products, with consideration of necessary technologies and transport environment/capabilities.

Conclusion. The prototype of abovementioned digital tool is useable at the stages of conceptual design for solving problems related to selection of gas treatment technology.

Keywords: decision support system, multi-agent systems, gas and condensate treatment, natural gas, separation gas, dry distilled gas, unstable gas condensate, stable gas condensate, deethanized condensate, liquefied petroleum gas, wide fraction of light hydrocarbons, low-temperature separation, gross domestic product, Institute of Precision Mechanics and Optics, mining tax minerals, basic technical solutions, project documentation

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Khasanov M.M., Nekhaev S.A., Ilyasov A.R., Myakishev E.A., Maryushko P.V., Ypryntsev A.S., Zhidelev V.L., Konygin A.E., Khadartsev A.Ch., Ivanov S.V. Decision support system for gas cooling temperature optimization. PRONEFT. Professionally about oil. 2025;10(2):110–119. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2025-10-2-110-119>

Manuscript received 11.03.2025

Accepted 01.04.2025

Published 30.06.2025

ВВЕДЕНИЕ

Особенностью обустройства газовых и газоконденсатных месторождений является потенциально широкая корзина товарных продуктов для монетизации: сухой отбензиненный газ (СОГ), нестабильный/стабильный конденсат (НГК/СК), сжиженные и сухие газы (СУГ), углеводороды: этан, пропан, бутаны, пентаны и т.д. Выбор корзины товарных продуктов по проекту и, как результат, технологии подготовки газа (температуры НТС) зависит от капитальных и операционных затрат на технические решения, логистических особенностей региона и стоимости реализации товарных продуктов в точках сдачи (net-back). Как правило, для выбора технологии подготовки газа прорабатывается множество вариантов с различной температурой процесса, качеством и количеством подготавливаемого продукта. Каждый возможный вариант рассчитывается технически и экономически с учётом требуемого оборудования для обеспечения необходимой температуры захлаживания газа. Сравнение возможных вариантов и выбор базового

решения требует значительных трудозатрат, особенно в условиях неопределённости уровня добычи и состава добываемого газа на стадии концептуального проектирования. Поэтому разработка цифрового инструмента на базе современных алгоритмов и расчётных методов, который позволит автоматизировать процесс расчёта множества вариантов и выбора оптимального является актуальной задачей в области концептуального проектирования.

На рис. 1 приведена типовая схема проработки возможных вариантов технологии подготовки газа выбора базовой технологии подготовки газа на этапе концептуального проектирования. Как правило, процесс выстроен последовательно и выполняется силами кросс-функциональной проектной командой, иногда и территориально распределённой, состоящей из специалистов по различным направлениям, в том числе технолога, специалиста по логистике и стоимостного инженера. На входе проектная команда имеет перечень исходных данных, который по качеству и объёму зависит от текущего

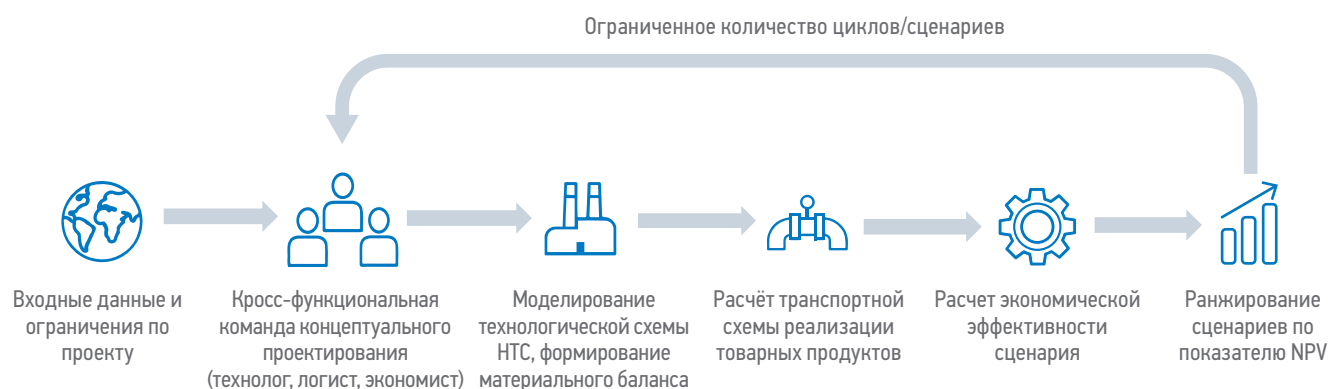


Рис. 1. Принципиальная схема концептуальной проработки вариантов для выбора оптимальной технологии подготовки газа. Составлено авторами

Fig. 1. Schematic diagram of the conceptual elaboration of options for optimal gas treatment technology. Compiled by the authors

этапа проработки и включает в себя данные по подземной части (показатели добычи по годам, компонентный состав продукции скважин) и наземной части (динамика давления на входе объекта подготовки, инфраструктурное окружение в регионе строительства, потенциальные точки сдачи и стоимость продукции). Технолог проектной команды

ПРЕДЛОЖЕН ЦИФРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПО ВЫБОРУ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ГАЗА ДЛЯ ГАЗОВЫХ И ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ЭТАПЕ РАННЕЙ ПРЕДПРОЕКТНОЙ ПРОРАБОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ.

выполняет ручной расчёт технологических схем подготовки газа по технологии НТС с различными температурами захолаживания газа и формирует динамику выхода товарных продуктов на площадочном объекте по годам разработки месторождения. Специалист по коммерции и логистике определяет возможные точки сдачи всех продуктов с учётом возможных способов транспорта и формирует вариант доставки продуктов до потребителя (трубопровод, автомобильная и железная дорога, речной и морской транспорт), учитывая ограничения по точкам сдачи. Стоимостной инженер получает от коллег перечень комплексных вариантов по технологии подготовки и сдаче продукции в формате титульного списка объектов и сооружений, необходимых для строительства и объёмы монетизируемых товарных продуктов по годам. После определения объёмов капитальных и операционных затрат специалистом по инвестиционному анализу выполняется расчёт основных инвестиционных показателей проекта. В результате комплексной проработки путём последовательного расчёта определяется лидирующий вариант, который является итоговым результатом концептуальных работ, а для более позднего этапа «Выбор» и входными данными — для разработки Основных технических решений (ОТР) и Проектной документации (ПД). Как правило, продолжительность процесса поиска базового варианта составляет от нескольких недель до нескольких месяцев, в зависимости от количества сформированных вариантов по проекту. В то же время следует отметить, что технологические расчёты выполняются специалистами с учётом их экспертного опыта и всегда имеется риск недостаточной глубины технической проработки и вариативности, особенно в условиях ограниченных временных ресурсов.

С точки зрения автоматизации описанного процесса задача относится к классу комбинаторной оптимизации, в рамках которой необходимо скомбинировать множество различных, в том числе не всегда совместимых, вариантов технических и стоимостных параметров и найти лучший вариант относительно заданной целевой функции.

В целом необходимо отметить, что применение машинных алгоритмов для решения комплексных задач в нефтяном инжиниринге является установившейся практикой. Так, например, в работе [1] применялся нейросетевой алгоритм для комплексной оценки схемы планирования разработки нефтяного месторождения. Для этого использовались такие параметры, как чистая приведенная стоимость, коэффициент прибыльности инвестиций, срок окупаемости и общий объём инвестиций, средняя стоимость нефти, накопленная добыча, соотношение нефти и газа в добываемой смеси. В другой работе [2] был предложен гибридный метод искусственного интеллекта для оптимизации интегрированной системы добычи газа. В работе [3] описан способ оптимизации проектирования разработки нефтяных месторождений на основе нечеткой логики и метода обратного распространения ошибки для обучения нейронной сети. Также решаются задачи, такие как прогнозирование стоимости нефти на основе отраслевого производства и энергопотребления, ВВП, цен на другие сырьевые товары нейросетевыми методами [4], оценка эффективности мероприятий для добывающих нефтяных и нагнетательных скважин на основе метода «роя частиц» [5], прогнозирование добычи нефти с учетом обводненности с использованием иерархической оптимизации на основе анализа «нечеткой кластеризации» [6].

Отдельно стоит осветить вопросы применения мультиагентных систем (МАС) в нефтегазовой и других смежных отраслях. Согласно одному из наиболее распространенных определений МАС состоит из различных взаимодействующих агентов, где агент — это компьютерная система, способная выполнять автономные действия для достижения определенных целей, взаимодействуя с окружающей средой и другими агентами [7]. Интеллектуальный агент достигает своих целей, воспринимая свою среду и используя наблюдения для принятия решения о том, какое действие выполнить на следующем шаге [8].

МАС как технология помогает оптимизировать производственные системы, которые являются децентрализованными с параллельным исполнением процессов. МАС

рассматривается как перспективный способ управления распределенными вычислительными и информационными системами [9]. МАС особенно подходят для организаций отдельных элементов с разными или противоречивыми целями, которые можно разбить на несколько независимых задач и назначить агентам. Они также могут применяться в оптимизации систем, свойства и характеристики которых изменяются со временем. МАС успешно применяются в широком спектре дисциплин, таких как электронная коммерция, сетевое планирование и транспорт [10], логистика, управление процессами (например, управление воздушным движением), промышленное производство, телекоммуникации, интеллектуальные сети и робототехника [11], энергетические системы [12], обеспечение безопасности, управление цепочками поставок в нефтегазовой отрасли [8]. МАС имеют значительный потенциал в нефтегазовом инжиниринге, т.к. способны эффективно решать технические задачи в области объектов наземного обустройства за счёт эффективной имитации объектов реального мира со сложным поведением и взаимодействием друг с другом.

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА

В компании «Газпромнефть-Развитие» совместно с Университетом ИТМО для этапов ранней проектной проработки и выбора технологии подготовки продукции скважин разработан прототип цифрового инструмента «Система поддержки принятия решения по выбору оптимальной температуры захождения газа с использованием интеллектуальных мультиагентных систем». Инструмент позволяет выполнять расчётные исследования для широкого диапазона температурного режима подготовки газа и с учётом ограничений по проекту определять оптимальную технологическую схему низкотемпературного процесса подготовки газа. На **рис. 2** приведена блок-схема архитектуры прототипа, включающего в себя шесть взаимосвязанных модулей: модуль редактирования сценариев, модуль расчёта технологических схем, модули расчёта затрат объекта подготовки и транспорта, модуль финансово-экономической модели и модуль оптимизации (эффективного ранжирования результатов расчётов). За каждым модулем закреплён виртуальный агент со своей зоной ответственности и специфическими локальными

целями, которые приводят к возможным конфликтам интересов, которые должны быть разрешены в ходе общей оптимизации с выработкой компромиссного варианта. На вход инструмента подается профиль добычи месторождения по годам разработки, содержащий основные данные для выполнения исследования — расход и компонентный состав продукции скважин, давление и температура потока на входе объекта подготовки. Данные являются входными для инициации процесса формирования рамок проекта в Модуле 1 «Редактор сценариев», где указываются возможные точки сдачи потенциально возможных видов товарной продукции. Интерфейс представляет собой интерактивную среду проектирования вариантов решений с инструментами для ручного ввода возможных потребителей продуктов с учётом их удаленности и способов транспортировки промежуточных и конечных продуктов, а также возможных точек для процессинга продукции на базе объектов подготовки сторонних организаций (**рис. 3**). Модуль позволяет максимально учесть условия проекта, предоставляя пользователю наглядную информацию о логистических цепочках. Это важно для дальнейшего междисциплинарного обмена информацией при выполнении расчётного исследования по проекту. Далее информация передается в Модуль 2 «Расчёт технологических схем», который представляет собой библиотеку технологических схем НТС (см. **таблицу 1**) и расчётный алгоритм для выполнения технологических расчётов. Перечень расчётных технологических схем структурирован по принципу снижения рабочей температуры в устройстве низкотемпературной сепарации, а также по мере возрастания сложности технологии, предназначенной для получения продуктов низкотемпературной сепарации природного газа и газового конденсата. Каждая технологическая схема в библиотеке адаптирована в соответствии с современными требованиями к эффективности и безопасности процессов. Результатом работы модуля является набор потоков для выходных продуктов с набором характеристик, необходимых для дальнейшего использования результатов расчётов: массовый и объёмный расход, компонентный состав, давление и температура. После выполнения технологических расчётов в Модулях 3 и 4 для каждой исследуемой технологической схемы и логистического маршрута реализации товарных продуктов выполняется расчёт капитальных и операционных затрат по годам разработки месторождения. Алгоритм предусматривает

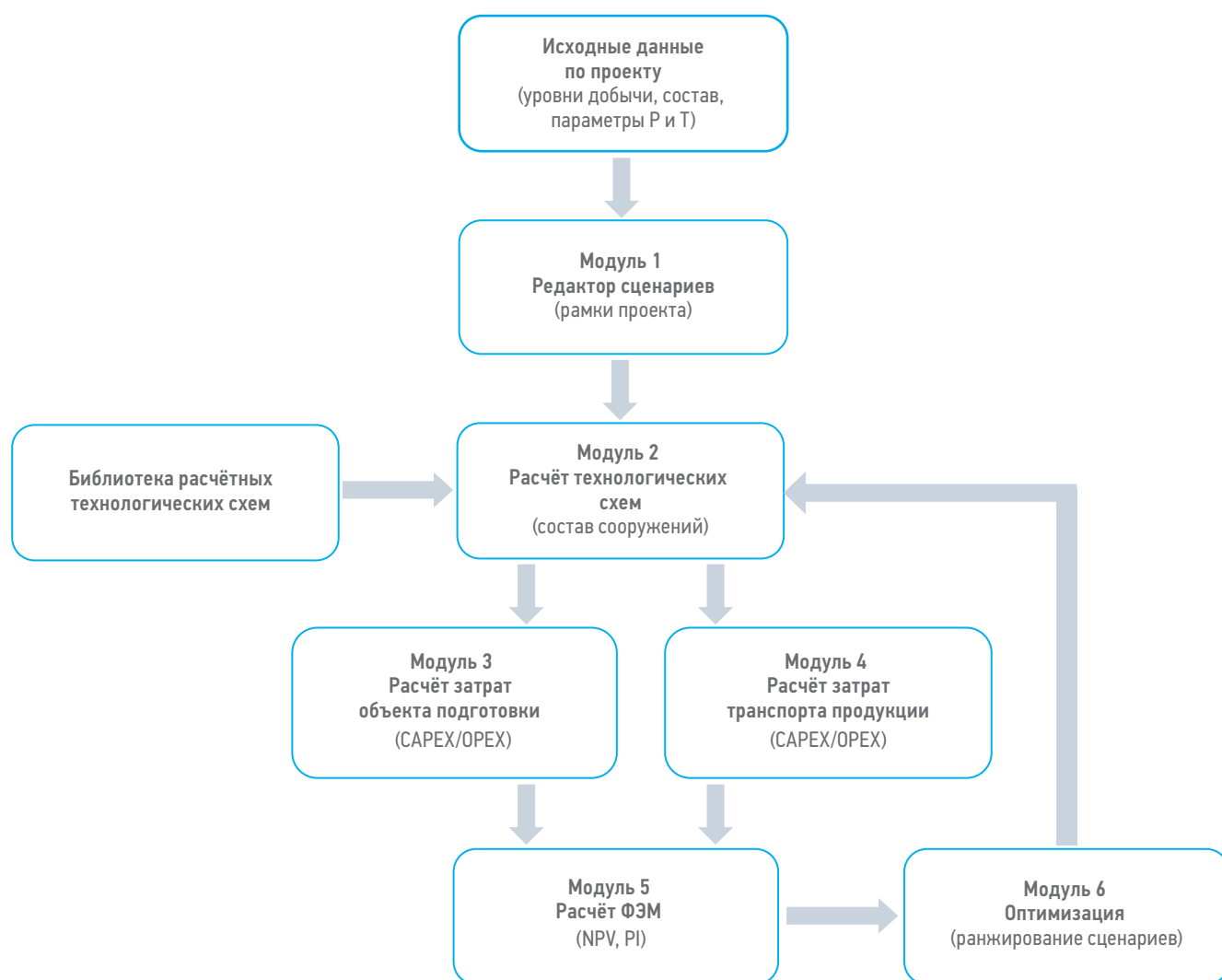


Рис. 2. Блок-схема архитектуры прототипа СППР. Составлено авторами
Fig. 2. Block diagram of the prototype architecture of the DSS. Compiled by the authors

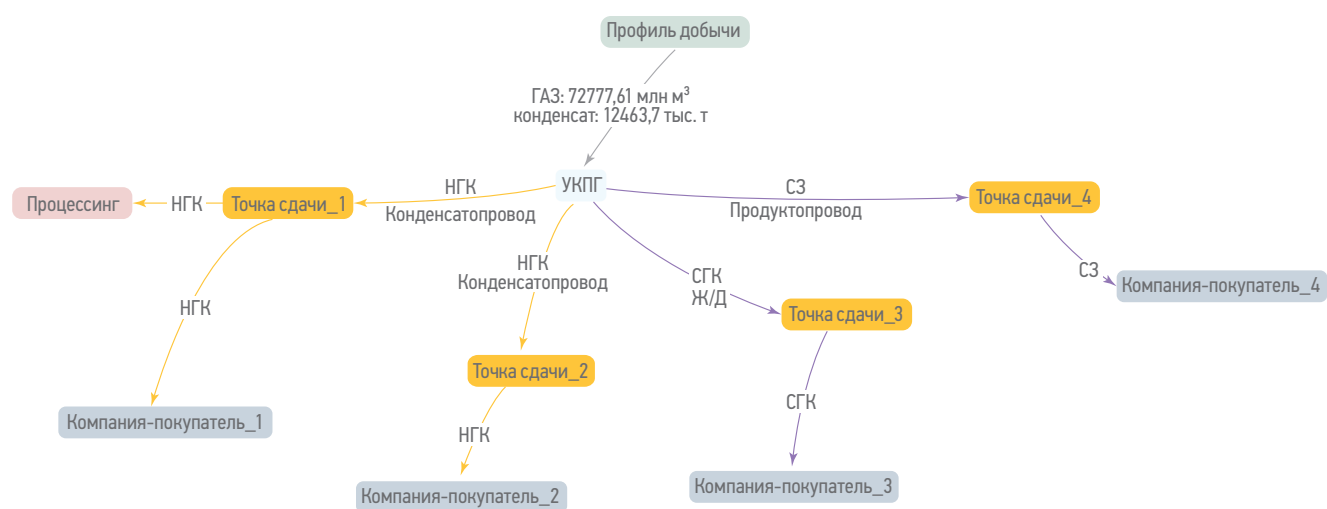


Рис. 3. Пример схемы графов по проекту с возможными точками сдачи продукции. Составлено авторами
Fig. 3. An example of a graph diagram for a project with possible delivery points. Compiled by the authors

масштабирование удельных показателей
стоимости площадочного объекта (УКПГ)
на базе технологии НТС с учётом как его

производительности по сырьевому газу
и выходным продуктам, так и отдельного
капиталоёмного оборудования (компрессор,

Таблица 1. Перечень технологических схем НТС, используемые в инструменте. Составлено авторами
Table 1. The list of LTS technological schemes used in the tool. Compiled by the authors

№ п/п	№ схемы	Технология подготовки	Т, °С	Продуктовая корзина									
				Сепарация/Подготовка			Стабилизация/Ректификация						
				ГС	СОГ	НГК	СГК	ДЭК	СУГ	ШФЛУ	С2	С3	С4
1	1.0	Простая сепарация	-	+		+							
2	1.1	УНТС, дроссель	-30		+	+							
3	2.2	УНТС, дроссель + эжектор	-30		+	+							
4	2.4	УНТС, дроссель + эжектор	-35		+	+							
5	2.1	УНТС, дроссель + эжектор	-30		+			+					
6	3.1	УНТС, ТДА	-45		+			+					
7	3.2	УНТС, ТДА	-45		+		+			+			
8	2.3	УНТС, дроссель + эжектор	-30		+		+		+				
9	2.5	УНТС, дроссель + эжектор	-35		+		+		+				
10	3.3	УНТС, ТДА	-45		+		+		+				
11	4.1	УНТК, ТДА	-60		+		+		+				
12	3.4	УНТС, ТДА	-45		+		+					+	+
13	4.2	УНТК, ТДА	-70		+		+		+			+	+
14	5.1	УНТКР, ТДА, колдбок	-120		+		+		+		+	+	+

турбодетандер) и линейных объектов внешнего транспорта в регионе строительства с учётом сроков их ввода. Внутренняя библиотека удельных капитальных и операционных затрат сформирована на базе инструментов стоимостного инжиниринга «Газпром нефти» и при необходимости может быть дополнена внешней информацией.

Данные по капитальным и операционным затратам по каждому сценарию в автоматическом режиме передаются в Модуль 5 «Расчёт ФЭМ» для расчёта финансово-экономической модели (ФЭМ), позволяющий оценить инвестиционные показатели разработки месторождения, добычи и продажи товарных продуктов. В данном исследовании в качестве показателя инвестиционной эффективности принят чистый дисконтированный доход (NPV).

Результаты расчётов по выходу товарных продуктов, а также показателю эффективности сценария направляются в Модуль 6 «Оптимизация», который предназначен для накопления данных всех сценариев по проекту и их ранжирования. После выполнения расчетов по всем технологическим схемам и логистическим маршрутам реализации товарных продуктов лидирующий по показателю NPV сценарий или несколько сценариев могут быть рекомендованы как базовые на этапе концептуального проектирования

и детального расчёта на этапе ОТР и ПД.

При этом выполнение расчетного исследования в разработанном инструменте позволяеткратно сократить трудозатраты проектных команд для расчёта большого количества вариантов технологических схем.

В ходе реализации наибольшие сложности вызвала автоматизация вызова и расчета параметров технологических схем во внешнем инструменте. Даже в режиме непрерывной имитации работы технолога при расчете сотен сценариев на длительный период эксплуатации месторождения время работы робота-агента может занимать несколько часов, однако это как минимум на порядок быстрее, чем аналогичная работа специалиста-человека. При этом исключаются возможные ошибки ввода данных, которые может совершать человек при потоковой работе.

Общая эффективность расчётов также достигается за счет предварительного отсеечения нереалистичных сценариев проекта при создании графа принятия решения и редактировании его параметров в интерфейсе системы.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам пилотирования прототипа цифрового инструмента на газовых проектах

компании ранней стадии предпроектной проработки была подтверждена высокая сходимость полученных результатов с фактическими техническими решениями. Так, для двух проектов газоконденсатных месторождений расчётная температура процесса НТС и количество товарных продуктов полностью соответствует техническим решениям, выбранным проектной командой по результатам расчётов. При этом сокращение трудозатрат за счёт применения машинного алгоритма, совмещающего в себе функции множества специалистов, составило более чем 15 раз. Это позволяет сделать вывод о перспективности разработанного прототипа и необходимости его дальнейшего развития.

Проведенные расчётные исследования на прототипе цифрового инструмента и анализ полученных результатов продемонстрировали эффективность применяемых алгоритмов, что открывает новые горизонты для расширения функциональности и совершенствования интерфейсной части инструмента. Внедрение дополнительных модулей и интеграция с существующими цифровыми системами «Газпром нефти» позволит повысить гибкость и адаптивность разрабатываемых технических решений по проектам, позволяя командам быстрее принимать обоснованные решения на основе актуальной информации.

ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ И ДОСТОВЕРНОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для выполнения поверочного моделирования в прототипе СППР были использованы исходные данные и результаты работы проектной команды по выбору оптимальной технологии НТС по одному из реализованных проектов «Газпром нефти».

Исходные данные. Месторождение ачимовских газоконденсатных залежей

с полкой добычи газа 5 млрд м³/год и пиковым объёмом добычи конденсата 1,5 млн т/год находится в инфраструктурно развитом регионе. Состав технологических сооружений площадочного объекта подготовки (УКПГ) и выбор технологии (температуры процесса НТС) формировался с учётом возможности сдачи СОГ, выделения и подготовки НГК, сдачи СГК и СУГ на ж/д терминале (удаленность ~10 км), либо в систему трубопроводного транспорта регионального оператора (СГК, ШФЛУ удаленность ~30 км), сдачи ДЭК в трубопровод до ПЗПК (удаленность ~30 км), либо в систему трубопроводного транспорта регионального оператора.

Задача. В рамках предпроектной проработки из возможных комбинаций сценариев подготовки газа с температурой захлаживания $T = -30^\circ\text{C}$, $T = -45^\circ\text{C}$, одно- и двухколонной схемы подготовки конденсата и множеством вариантов точек сдачи продукции определить наиболее экономически выгодный вариант для реализации.

Для проведения исследовательской работы по верификации выбранного сценария в прототип цифрового инструмента СППР были загружены константы проектирования (уровни добычи ПГ и НГК, динамика падения устьевого давления, данные по региональному окружению с учётом удалённости возможных точек сдачи, удельные показатели строительства площадочных и линейных инфраструктурных объектов, стоимость процессинга по подготовке и транспорту продукции, netback в точках сдачи) и выполнен расчёт. Полученные результаты по проекту приведены в сводной **табл. 2**. Лидирующим расчётным сценарием СППР по проекту является технологическая схема НТС с температурой захлаживания $T = -30^\circ\text{C}$ с получением СОГ, СГК и СУГ.

Выполненный поверочный расчет показал, что полученная схема в СППР и фактически реализованная по проекту имеют аналогичную технологическую схему подготовки

Таблица 2. Выбор температуры захлаживания газа. Составлено авторами
Table 2. Selection of the gas cooling temperature. Compiled by the authors

Сценарий	1	2	3	4
Технология	НТС -30 °C	НТС -30 °C	НТК -45 °C	НТК -45 °C
Технология подготовки конденсата	Одноколонная	Двухколонная (учёт ДЭК для НДПИ)	Одноколонная	Двухколонная (учёт ДЭК для НДПИ)
CAPEX, млрд руб.	104,4	106,0	113,2	114,4
OPEX, млрд руб.	73,9	80,1	73,3	77,6
NPV, млрд руб.	5,6	11,0	-2,6	7,2

НТС на дросселе с $T = -30^\circ\text{C}$. Прототип СППР позволил в более сжатые сроки выполнить большое количество расчётов, результаты которых показывают высокую сходимость с наиболее эффективным сценарием в проекте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложен метод решения оптимизационных задач по выбору технологии подготовки газа для газовых и газоконденсатных месторождений на этапе ранней предпроектной проработки с применением мультиагентных систем (МАС). Следует отметить, что полученные результаты пилотирования прототипа позволяют сделать вывод о высокой эффективности применения МАС в области концептуального

проектирования. Планируется дальнейшее развитие прототипа до полноценного цифрового инструмента, который будет использоваться в компании на этапах концептуального проектирования газовых и газоконденсатных месторождений. Это позволит повысить эффективность выполнения концептуальных работ и оптимизировать процесс разработки проектов, увеличить глубину технической проработки проектов и качество конечного результата.

Применение данного подхода в смежных процессах компании, таких как логистика и строительство объектов добычи, подготовка газа и конденсата, позволит на стадии ранней проектной проработки проекта значительно повысить эффективность процесса принятия решений и точность прогнозирования.

Список литературы

1. Kang X.J., Yuan A.W., Gao J. et al. Neural network method for comprehensive evaluation of oilfield development planning scheme. *Spec Oil Gas Res.* 2006;13(2):48–50.
2. Park H., Lim J.S., Kang J.M., Roh J., Min B. A hybrid artificial intelligence method for the optimization of integrated gas production system. Нефтегазовая конференция и выставка SPE в Азиатско-Тихоокеанском регионе. — 2006.
3. Xiao D.R., Pan H. Optimization of designing of the oil field exploiting based on fuzzy mathematics and BP neural network. *Microcomput Inf.* 2010;26(6):209–211.
4. Godarzi A.A., Amiri R.M., Talaei A. et al. Predicting oil price movements: a dynamic artificial neural network approach. *Energy Policy.* 2014;68(5):371–382.
5. Sun H., Li P.C. Measures optimization for oil and water well based on quantum particle swarm optimization. *Comput Technol Dev.* 2016;26(9):78–82.
6. Feng G.Q., Pan L.Y., Kong B. et al. Hierarchical optimization research based on fuzzy clustering analysis. *Eval Dev Oil Gas Reserv.* 2018;3:30–39.
7. Wooldridge M. An introduction to multiagent systems. John Wiley & sons, 2009.
8. Hanga K.M., Kovalchuk Y. Machine learning and multi-agent systems in oil and gas industry applications: A survey. *Computer Science Review.* 2019;34:100191.
9. Weiss G. Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence. MIT press, 1999.
10. Burmeister B., Haddadi A., Matylis G. Application of multi-agent systems in traffic and transportation. *IEE Proceedings Software.* 1997;144(1):51–60.
11. Merabet G.H. et al. Applications of multi-agent systems in smart grids: A survey. 2014 International conference on multimedia computing and systems (ICMCS). IEEE. 2014; 1088–1094.
12. McArthur S.D.J. et al. Multi-agent systems for power engineering applications—Part I: Concepts, approaches, and technical challenges. *IEEE Transactions on Power systems.* 2007;22(4):1743–1752.

References

1. Kang X.J., Yuan A.W., Gao J. et al. Neural network method for comprehensive evaluation of oilfield development planning scheme. *Spec Oil Gas Res.* 2006;13(2):48–50.
2. Park H., Lim J.S., Kang J.M., Roh J., Min B. A hybrid artificial intelligence method for the optimization of integrated gas production system. In: SPE Asia pacific oil & gas conference and exhibition, 11–13 September. Society of Petroleum Engineers, Adelaide, 2006; 1–9.
3. Xiao D.R., Pan H. Optimization of designing of the oil field exploiting based on fuzzy mathematics and BP neural network. *Microcomput Inf.* 2010;26(6):209–211.
4. Godarzi A.A., Amiri R.M., Talaei A. et al. Predicting oil price movements: a dynamic artificial neural network approach. *Energy Policy.* 2014;68(5):371–382.
5. Sun H., Li P.C. Measures optimization for oil and water well based on quantum particle swarm optimization. *Comput Technol Dev.* 2016;26(9):78–82.
6. Feng G.Q., Pan L.Y., Kong B. et al. Hierarchical optimization research based on fuzzy clustering analysis. *Eval Dev Oil Gas Reserv.* 2018;3:30–39.
7. Wooldridge M. *An introduction to multiagent systems.* John Wiley & sons. 2019.
8. Hanga K.M., Kovalchuk Y. Machine learning and multi-agent systems in oil and gas industry applications: A survey. *Computer Science Review.* 2019;34:100191.
9. Weiss G. *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence.* MIT press, 1999.
10. Burmeister B., Haddadi A., Matylis G. Application of multi-agent systems in traffic and transportation. *IEE Proceedings Software.* 1997;144(1):51–60.
11. Merabet G. H. et al. Applications of multi-agent systems in smart grids: A survey. International conference on multimedia computing and systems (ICMCS). IEEE. 2014; 1088–1094.
12. McArthur S.D.J. et al. Multi-agent systems for power engineering applications — Part I: Concepts, approaches, and technical challenges. *IEEE Transactions on Power systems.* 2007;22(4):1743–1752.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

М.М. Хасанов — оказал экспертную поддержку в области методов и алгоритмов для решения сложных математических задач, окончательно утвердил публикуемую версию публикации.

С.А. Нехаев — сформировал цель работы, оказал экспертную поддержку в области проработки проектов на ранних этапах, окончательно утвердил публикуемую версию публикации.

А.Р. Ильясов — инициатор работы, сформировал цель работы, обозначил задачи и методологию выполнения работы, сформировал проект публикации.

Е.А. Мякишев — принимал активное участие в апробации результатов работы (прототипа) на реальных объектах (проектах), участвовал в разработке публикации.

П.В. Марюшко — принимал активное участие в организации работы, формировании расчетного алгоритма инструмента, апробации результатов работы (прототипа) на реальных объектах (проектах).

А.С. Епрынцеv — принимал активное участие в организации работы, выявления зон для доработки, участвовал в апробации результатов работы (прототипа) на реальных объектах (проектах).

В.Л. Жиделеv — принимал активное участие в анализе результатов апробации прототипа, в доработке публикации.

А.Е. Коныгин — принимал активное участие в анализе результатов апробации прототипа, в доработке публикации.

А.Ч. Хадарцев — участвовал в разработке прототипа инструмента, его апробации и анализе результатов.

С.В. Иванов — участвовал в разработке прототипа инструмента, его апробации и анализе результатов, в доработке публикации.

Mars M. Hasanov — provided expert support in issues related to methods and algorithms for solution of complex mathematical problems, provided final approval of the publication.

Sergei A. Nekhaev — provided expert support in issues related to project development at early stages, provided final approval of the publication.

Aidar R. Ilyasov — the initiator of the work, formed the purpose of the work, outlined the tasks, formed the draft of publication.

Evgeniy A. Myakishev — took an active part in testing the results of the work (prototype) on real objects (projects), participated in formation of the publication.

Pavel V. Maryushko — took an active part in organization of the work, forming the calculation algorithm of the tool, participated in testing the results of work (prototype) on real objects (projects)

Anton S. Ypryntsev — took an active part in organization of the work, identifying areas for improvement, participated in testing the results of work (prototype) on real objects (projects).

Victor L. Zhidelev — took an active part in the analysis of the results of the prototype testing, participated in revision of the publication.

Andrey E. Konygin — took an active part in the analysis of the results of the prototype testing, participated in revision of the publication.

Alan Ch. Hadartsev — participated in the development of the prototype of the tool, testing and analysis of the results.

Sergey V. Ivanov — participated in the development of the prototype of the tool, testing and analysis of the results, participated in revision of the publication.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Марс Магनावиевич Хасанов — доктор технических наук, директор по науке, Группа компаний «Газпром нефть»

Сергей Алексанvрович Нехаев — кандидат экономических наук, заместитель генерального директора по ранней проектной проработке, Группа компаний «Газпром нефть»

Айдар Римович Ильясов* — руководитель центра, Группа компаний «Газпром нефть»
625048, Россия, г. Тюмень, ул. 50 лет Октября, д. 14.
e-mail: a-r-ilyasov@mail.ru

Евгений Александрович Мякишев — кандидат технических наук, руководитель программ развития инструментов инжиниринга, Группа компаний «Газпром нефть»

Mars M. Hasanov — Dr. Sci. (Eng.), Director of Science, Gazprom нефt company group

Sergei A. Nekhaev — Cand. Sci. (Econ.), Deputy General Director for Early Design Work, Gazprom нефt company group

Aidar R. Ilyasov* — Head of the Center, Gazprom нефt company group
14, 50 let Oktyabrya Street, Tyumen, 625048, Russia.
e-mail: a-r-ilyasov@mail.ru

Evgeniy A. Myakishev — Cand. Sci. (Eng.), Program Manager of Engineering Tools Development, Gazprom нефt company group

Павел Викторович Марюшко — руководитель программ, Группа компаний «Газпром нефть»

Антон Сергеевич Епрынцеv — кандидат технических наук, руководитель программ по газоконденсатным проектам, Группа компаний «Газпром нефть»

Виктор Леонидович Жиделеv — руководитель программ по интеграции наземной инфраструктуры, Группа компаний «Газпром нефть»

Андрей Евгеньевич Кonyгин — руководитель программ по интегрированному инжинирингу, Группа компаний «Газпром нефть»

Алан Черменович Хадартцев — кандидат технических наук, руководитель направления по технологиям подготовки газа, Группа компаний «Газпром нефть»

Сергей Владимирович Иванов — кандидат технических наук, доцент факультета цифровых трансформаций университета ИТМО, старший научный сотрудник исследовательского центра «Сильный искусственный интеллект в промышленности»

Pavel V. Maryushko — Program Manager, Gazprom нефt company group

Anton S. Ypryntsev — Cand. Sci. (Eng.), Program Manager for Gas Condensate projects, Gazprom нефt company group

Victor L. Zhidelev — Program Manager of Ground Infrastructure Integration, Gazprom нефt company group

Andrey E. Konygin — Program Manager of Integrated Engineering, Gazprom нефt company group

Alan Ch. Hadartsev — Cand. Sci. (Eng.), Speciality Manager of Gas Treatment Technologies, Gazprom нефt company group

Sergey V. Ivanov — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Faculty of Digital Transformations at ITMO University, Senior Researcher at the Research Center «Strong Artificial Intelligence in Industry»

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author