

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ КОРПОРАТИВНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### DEVELOPMENT OF CORPORATE SOFTWARE FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES MODELING

**А. Г. Лутфурахманов**  
**Artur G. Lutfurakhmanov**

ООО «РН-БашНИПИнефть»,  
г. Уфа, Российская Федерация

RN-BashNIPIneft LLC,  
Ufa, Russian Federation

**Д. В. Ефимов**  
**Dmitriy V. Efimov**

ООО «РН-БашНИПИнефть»,  
г. Уфа, Российская Федерация

RN-BashNIPIneft LLC,  
Ufa, Russian Federation

**В. А. Павлов**  
**Vladimir A. Pavlov**

ПАО «НК «Роснефть»,  
г. Москва, Российская Федерация

Rosneft Oil Company PJSC,  
Moscow, Russian Federation

**М. А. Литвиненко**  
**Maksim A. Litvinenko**

ПАО «НК «Роснефть»,  
г. Москва, Российская Федерация

Rosneft Oil Company PJSC,  
Moscow, Russian Federation

В ПАО «НК «Роснефть» (Компании) разрабатывается линейка корпоративного программного обеспечения с целью решения широкого спектра бизнес-задач в части поиска, разведки, разработки, обустройства и мониторинга разработки месторождений. Создание собственной линейки программного обеспечения позволит реализовать единую программную платформу, охватывающую полный цикл разработки и эксплуатации месторождений.

Важной областью производственной цепочки является этап сбора, транспортировки и подготовки добываемой продукции. Моделирование технологических процессов блока Upstream – это основа при принятии решений как на этапе проектирования объектов поверхностного обустройства, так и на этапе оперативного сопровождения и управления эксплуатацией этих объектов.

В настоящее время моделирование процессов при сборе и подготовке добываемой продукции в научно-исследовательских институтах Компании осуществляется с помощью программного обеспечения (ПО) сторонних производителей. С целью развития собственных технологий в области технологического моделирования, реализации инновационных подходов в моделировании, повышения устойчивости в условиях сложившейся конъюнктуры в Компании реализуется проект по разработке корпоративного программного комплекса РН-СИМТЕП.

Разрабатываемый симулятор направлен на решение следующих производственных задач Компании: проектирование и оптимизация эксплуатации объектов подготовки нефти и газа, анализ рисков при эксплуатации объектов поверхностного обустройства, оптимизация затрат при проектировании объектов.

В данной работе описаны основные принципы и особенности, которые необходимо учитывать при создании подобного комплекса как элемента корпоративной линейки ПО в блоке разведки и добычи. Приведены основные методические и архитектурные решения, использованные при разработке ПО, текущие результаты, дана оценка перспектив дальнейшего развития текущего проекта.

#### Ключевые слова

разработка программного  
комплекса;  
корпоративный симулятор;  
моделирование технологических  
процессов;  
объекты поверхностного  
обустройства

Rosneft Oil Company PJSC (the Company) is developing a line of corporate software to solve a wide range of business tasks in terms of prospecting, exploration, development, construction and monitoring of field development. Creation of our own line of software will make it possible to implement a unified software platform covering the full cycle of field development and operation.

An important area of the production chain is the stage of gathering, transportation and treatment of produced oil. Modeling of technological processes of the Upstream block is the basis for making decisions both at the design stage of surface facilities, and at the stage of operational support and management of the operation of these facilities.

Currently, the modeling of processes during gathering and treatment of produced oil in the research institutes of the Company is carried out using third-party software. With the aim of developing its own technologies in the field of technological modeling, implementing innovative approaches in modeling, increasing stability in the current market environment, the Company is implementing a project to develop a corporate software package RN-SIMTEP.

The simulator being developed is aimed at solving the following production tasks of the Company: design and optimization of the operation of oil and gas treatment facilities, risk analysis during the operation of surface facilities, and cost optimization in the design of facilities.

This paper describes the basic principles and features that must be taken into account when creating such a complex as an element of the corporate line of software in the exploration and production block. The main methodological and architectural solutions used in software development, current results are shown, an assessment of the prospects for further development of the current project is given.

### Введение

Ключевым элементом Стратегии «Роснефть — 2022» является технологическое развитие и цифровизация во всех областях деятельности Компании [1]. В рамках реализации Стратегии ПАО «НК «Роснефть» осуществляет курс на создание и развитие программного обеспечения в блоке разведки и добычи, в т.ч. для геолого-гидродинамического и технологического моделирования. Для решения данной задачи в ООО «РН-БашНИПИнефть» разрабатывается линейка наукоемкого программного обеспечения (ПО) для моделирования объектов и процессов при поиске, разведке, разработке, обустройстве и мониторинге разработки месторождений. Создание собственной линейки программного обеспечения позволит реализовать единую программную платформу, охватывающую полный цикл разработки и эксплуатации месторождений.

Важной областью производственной цепочки являются этапы сбора, транспортировки и подготовки добываемой продукции. В Компании реализуется проект, направленный на создание специализированного программного обеспечения для моделирования объектов и процессов в данной области. При разработке данного ПО решаются серьезные технические и методические вопросы, при этом максимально учитывается имеющийся

### Keywords

software development;  
corporate simulator;  
technological processes modeling;  
surface facilities

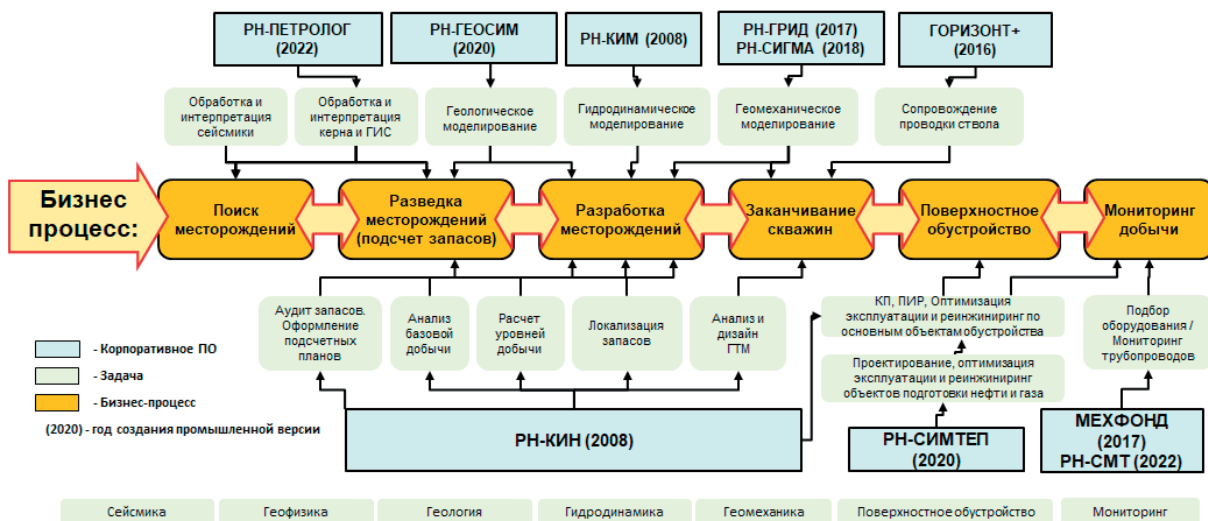
мировой опыт, а также опыт специалистов Компании в данной области.

В данной работе представлен опыт создания корпоративного программного обеспечения для моделирования технологических объектов и процессов в системе сбора и транспортировки продукции (ССТП), системе подготовки продукции (СПП). В контексте данной работы под технологическими процессами (или технологическими объектами) будут пониматься процессы (и объекты), относящиеся к системе сбора и транспортировки продукции (ССТП) и к системе подготовки продукции (СПП).

ССТП и СПП являются неотъемлемыми компонентами инфраструктуры месторождения. Таким образом, без инструментария для моделирования технологических процессов невозможно корректное и обоснованное принятие решений на этапе как проектирования объектов поверхностного обустройства, так и оперативного управления эксплуатацией этих объектов.

### Особенности реализации ИТ-инструментов корпоративной линейки ПО

Линейка разрабатываемого в Компании программного обеспечения [2–4] в соотношении с этапами типового бизнес-процесса при разработке и эксплуатации месторождений показана на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Матрица покрытия этапов производственной цепочки специализированным ПО, входящим в корпоративную линейку Компании

Корпоративная линейка прикладного программного обеспечения — это набор наукоемких программных продуктов, обеспечивающих потребности в прикладном ПО в области геологии, разработки и мониторинга месторождений, обладающих необходимым функционалом для замещения стороннего ПО.

Назначение единой линейки ПО:

- обеспечение технологического лидерства и безопасности Компании;
- обеспечение обществ группы (ОГ) Компании ПО, ориентированным на задачи Компании;
- минимизация затрат на закупку и содержание ПО за счет замещения сторонних аналогов;
- исключение санкционных рисков.

Наличие единой корпоративной линейки специализированного ПО накладывает определенные требования к создаваемому программному обеспечению:

- разработанные методики и алгоритмы расчетов, а также существующие ИТ-инструменты и наработки должны максимально учитываться при планировании работ и непосредственно при реализации нового инструментария;
- учет взаимодействия между отдельными симуляторами из корпоративной линейки ПО, то есть возможность сквозной передачи данных, результатов расчетов и/или моделей между отдельными программными комплексами;
- требования по интеграции ПО при решении совместных задач (интегрированное моделирование);

— необходимость учета особенностей существующих корпоративных информационных систем (ИС) и баз данных (БД);

— возможность применения отдельных расчетных элементов или библиотек (расчетных сервисов), созданных в рамках разрабатываемого ПО, в другом корпоративном ПО;

— необходимость учета единого корпоративного стиля, стилистических решений, базовых требований к интерфейсу ПО и т.д.

Реализация программы по разработке линейки корпоративного программного обеспечения дает Компании возможность получить ряд положительных эффектов. Например, к таким эффектам можно отнести возможность покрытия всей производственной цепочки собственным ПО; минимизацию трудозатрат и потерь при передаче данных из одного ПО в другое; обеспечение планомерного технологического развития Компании; получение решений, наиболее адаптированных к условиям Компании; повышение устойчивости Компании в условиях текущей конъюнктуры; возможность диверсифицирования бизнеса Компании путем коммерциализации собственного ПО. Благодаря тому, что разрабатывается корпоративное ПО, появляется возможность внедрения наиболее передовых и инновационных методов моделирования, аккумулирования собственных методических наработок и масштабирования их на уровне Компании.

**Основные моменты при реализации ПО для моделирования ССТП и СПП**

С целью развития собственных компетенций в области моделирования процессов на

объектах поверхностного обустройства, снижения санкционных рисков, а также с целью сокращения затрат на программное обеспечение в ПАО «НК «Роснефть» был инициирован инновационный проект по созданию корпоративного программного комплекса для моделирования технологических процессов РН-СИМТЕП (СИстема Моделирования ТЕхнологических Процессов).

Целью проекта является создание инструмента, на основе которого инженеры, технологи и эксперты будут производить расчеты параметров, показателей, режимов работы технологических объектов и процессов в системах сбора, подготовки и поддержания пластового давления (ППД) при решении следующих блоков производственных задач:

- проектирование линейных и площадных объектов поверхностного обустройства;
- анализ рисков эксплуатации оборудования;
- оптимизация режимов эксплуатации объектов поверхностного обустройства;
- технико-экономическое обоснование различных вариантов обустройства.

Данные задачи являются типовыми для специалистов нефтегазовой отрасли, поэтому изложенные далее подходы и сформированные решения могут использоваться в аналогичных проектах других компаний.

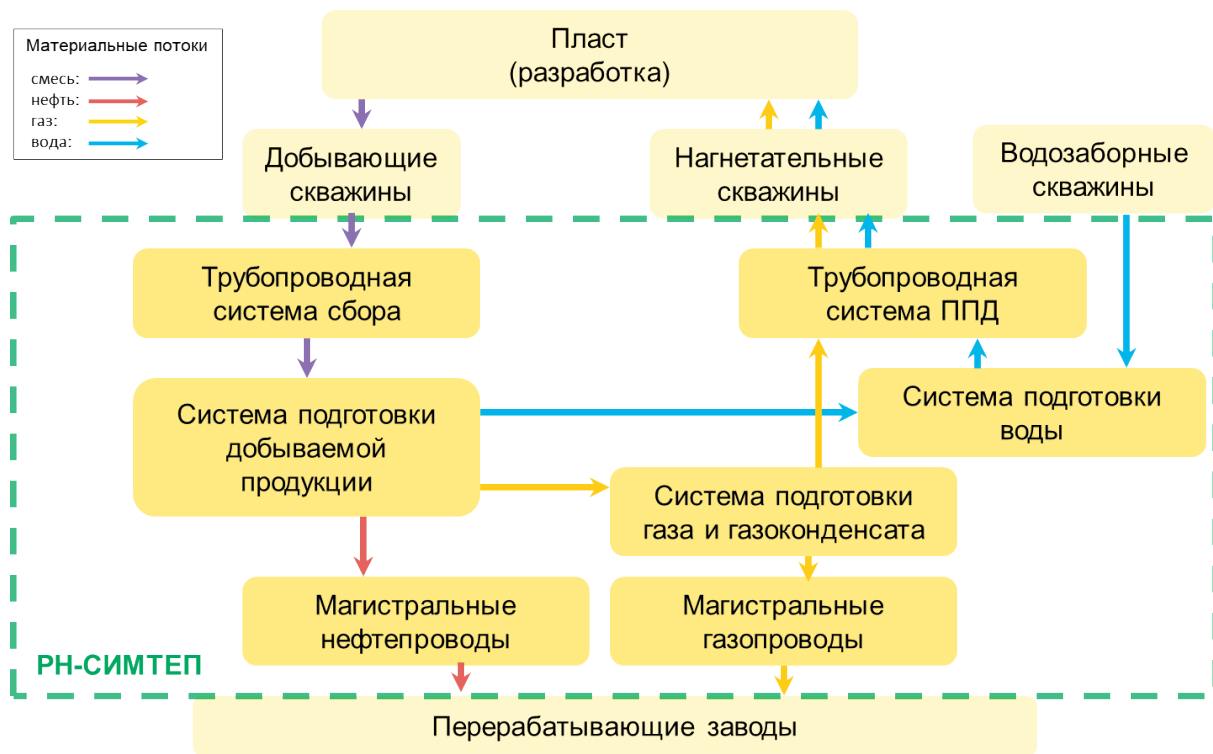
**Требования к ПО для моделирования технологических процессов**

Из анализа мирового опыта, а также по результатам обсуждения с потенциальными пользователями были определены следующие основные требования к разрабатываемому инструменту для моделирования:

*1. Моделирование процессов основных технологических блоков:*

- система нефтесбора (система сбора и транспортировки продукции, ССТП),
- система подготовки продукции,
- трубопроводная система ППД,
- внешний транспорт продукции.

Во-первых, в этих системах, за исключением объектов подготовки (СПП), основным рассматриваемым элементом является разветвленная сеть трубопроводов. При этом в СПП участки труб также присутствуют как соединительные элементы между площадными объектами подготовки. Во-вторых, основным процессом, протекающим в системах сбора и ППД, является движение однофазного и/или многофазного потока и связанное с этим изменение термобарических условий на элементах системы. В-третьих, ССТП, СПП и трубопроводная система ППД являются сопряженными системами — материальный поток движется последовательно по этим системам, и выходной поток из одной системы является



**Рисунок 2.** Соотнесение схемы материальных потоков на месторождении углеводородов и рабочей области РН-СИМТЕП



входным потоком в следующую по производственной цепочке (рисунок 2). Таким образом, логичным и рациональным является моделирование этих систем в одном симуляторе, а не в отдельных самостоятельных инструментах.

### *2. Построение моделируемых технологических схем при помощи графического интерфейса*

Несмотря на критическую важность характеристик расчетного ядра (точность, скорость, устойчивость и т.д.), для эффективного взаимодействия специалиста и программы необходимо разработать понятный и краткий графический интерфейс. Для создания модели поверхностного обустройства требуются наглядный и удобный функционал по заданию/определению входных данных, по построению моделируемых технологических схем, а также функционал, позволяющий анализировать результаты моделирования и выгружать необходимые отчеты. При этом создание схемы объектов необходимо проводить путем интерактивного объектного моделирования — технологические элементы в схеме задаются в виде определенных объектов, и связи между ними настраиваются путем их соединения через материальные и энергетические потоки.

### *3. Ограничение по времени проведения расчетов*

На этапе оперативного мониторинга и управления эксплуатацией месторождения время от возникновения ситуации, потребовавшей проведения расчетов и анализа, до принятия и реализации управленческого решения ограничено и связано с характерными временами в технологических процессах. Таким образом, время на проведение расчетов должно быть на порядок меньше времени, необходимого для принятия решения.

### *4. Гибкая архитектура, позволяющая расширять линейку методов по расчету отдельных элементов поверхностного обустройства.*

Существующие технологии по расчету тех или иных объектов отражают текущее положение в развитии методик и алгоритмов, используемых при моделировании объектов обустройства. Но каждый год разрабатываются и появляются новые подходы и новые технологии моделирования элементов обустройства.

Таким образом, разрабатываемый инструмент должен позволять осуществлять расширение методов расчетов / моделирования без существенных изменений во внутренней ар-

хитектуре ИТ-решения. Иными словами, линейка методов расчета объектов обустройства, заложенных в ПО, должна быть гибкой, модифицируемой и расширяемой в соответствии с требованиями пользователей.

### *5. Связь разрабатываемого комплекса с другими корпоративными инструментами и БД*

Данное требование связано, в первую очередь, с необходимостью задания входных данных как для описания модели, так и непосредственно для проведения расчетов с использованием инструмента моделирования. Автоматизация этого процесса позволит избежать возможных ошибок, связанных с ручным вводом информации для моделирования. Во-вторых, необходимо предусмотреть в симуляторе возможность двухстороннего обмена данными (загрузка и выгрузка данных) со смежными корпоративными системами. Таким образом, будет устранена необходимость в переносе данных между корпоративными инструментами.

### *6. Возможность использования разработанных расчетных модулей в смежных системах*

Отдельные расчетные элементы или технологии инструмента должны разрабатываться с учетом того, что они в последующем могут быть использованы в других ИТ-инструментах. Таким образом, при реализации новых проектов (к примеру проектов по созданию тренажеров) или модификации существующих корпоративных ИТ-продуктов время и затраты на реализацию этих элементов будут сокращены до минимума с учетом созданных в рамках текущего проекта расчетных сервисов (модулей).

С учетом вышеуказанных требований по разработке симулятора была выбрана к реализации типовая архитектура программного комплекса «front-end — back-end», при которой действует принцип разделения внешнего представления (графического интерфейса) и внутренней реализации (рисунок 3):

1) на уровне front-end — простой и интуитивно понятный графический интерфейс.

Пользователь взаимодействует с программой при помощи графического интерфейса. На этом уровне специалист создает расчетную модель обустройства, вводит необходимые данные для проведения расчетов и осуществляет вызов расчетных модулей. После про-

ведения расчетов на стороне интерфейса осуществляется визуализация результатов расчета в необходимых формах и форматах, производится формирование отчетных документов на основе проведенного расчета. Также через интерфейс специалист осуществляет запрос к корпоративным информационным системам для получения необходимой информации — например, «подтягиваются» готовые модели технологических объектов из базы моделей или необходимые входные данные для проведения расчета (к примеру, добыча по скважинам, устьевые условия и т.д.). Создание, сохранение и открытие моделей (проектов) объектов поверхностного обустройства осуществляется специалистом тоже на этом уровне.

2) на уровне back-end находится расчетное ядро, целью которого является выполнение расчетов по запросу со стороны интерфейса (пользователя). Через интерфейс готовятся необходимые данные и описание запроса на расчет. Далее все это передается в расчетный слой, где осуществляется вызов необходимых расчетных модулей в зависимости от сформированного запроса. После проведения расчета производится формирование файлов с результатами расчета, которые передаются со стороны ядра в адрес интерфейса (на верхний уровень) совместно со статусом по обработке запроса.

Указанная архитектура позволяет производить параллельную разработку графического интерфейса и расчетного ядра. Также одним из преимуществ разделения интерфейса и расчетного ядра является возможность проведения расчетов в многопоточном режиме с нагрузкой всех имеющихся мощностей, как персонального компьютера, так и кластерной системы. Также следует отметить, что данная архитектура симулятора позволяет использовать разработанное расчетное ядро (или его отдельные элементы) в других проектах в качестве расчетных сервисов.

Основные модули расчетного ядра симулятора РН-СИМТЕП указаны на рисунке 3:

- модуль расчета PVT свойств флюидов;
- модуль расчета сети трубопроводов;
- модуль расчета объектов поверхностного обустройства;
- модуль расчета осложнений;
- модуль расчета экономических показателей;
- модуль многовариантных расчетов.

Далее будет приведено краткое описание этих расчетных модулей. Описание методических решений, на которых базируются данные модули, невозможно привести в рамках одной публикации, поэтому будут приведены только некоторые ссылки на отдельные первоисточники. Детализация математических моделей,



Рисунок 3. Модульная архитектура симулятора РН-СИМТЕП

используемых в каждом расчетном модуле РН-СИМТЕП, не является целью данной статьи. С отдельными особенностями использованных моделей можно будет ознакомиться в других соответствующих статьях, например, в работах [5, 6].

В PVT-модуле должен производиться расчет таких свойств флюидов (нефти, воды и газа), как плотность, вязкость, энтальпия, теплосъемность и др. PVT-модуль является основой как для модуля расчета сети трубопроводов, так и для модуля расчета объектов подготовки, так как для каждого расчетного элемента требуются значения PVT-свойств, соответствующих условиям в этом элементе.

В настоящее время существуют два основных наиболее широко используемых подхода при создании и использовании модели флюида. Первый подход (композиционная модель) основан на использовании уравнения состояний и параметров компонентов нефтегазовой смеси [7, 8]. При втором подходе (модель «черной нефти») PVT-свойства рассчитываются на основе корреляционных зависимостей [9] или сформированных различными способами специализированных таблиц. При этом свойства определяются по отношению к фазам (нефть, газ, вода).

В модуле расчета сети трубопроводов на основе эмпирических или механистических методик [10, 11] (Beggs and Brill, Ansari, Xiao, Mukherjee и т.д.) производится расчет профиля давления и температур на всех участках сети трубопроводов. Входными данными данного модуля являются условия на граничных элементах сети, параметры участков трубопроводов (диаметры, длины, высотные отметки и т.д.), а также параметры окружающей среды. Одна граница соответствует устьям скважин (или выходу с кустовых площадок), другая — входной гребенке на площадной объект. Возможны два варианта расчета сети трубопроводов: прямой и равновесный. При прямом расчете сети все входные параметры (и термобарические условия, и расходы) задаются на входах в сеть трубопроводов, к примеру, на устьях добывающих скважин, и расчет далее производится последовательно по всем остальным участкам сети. При равновесном расчете сети давления задаются на одних границах, в то же время на других границах сети должны определяться расходы. В данном случае расчет производится на основе метода контурных расходов.

В модуле расчета объектов подготовки осуществляется совместный расчет объектов поверхностного обустройства [12, 13], включающий следующие элементы:

- сепаратор;
- буферная емкость;
- резервуар;
- компрессор;
- детандер;
- насос;
- нагреватель;
- холодильник;
- аппарат воздушного охлаждения (АВО);
- теплообменник;
- трубчатая печь;
- штуцер;
- узел ветвления.

При этом данный модуль может использоваться в качестве входных данных результаты расчета гидравлической сети (модуль расчета сети трубопроводов) или данные граничные условия могут быть заданы явно. Благодаря реализации в рамках одного симулятора возможности расчета как ССТП, так и СПП, можно осуществлять согласованный интегрированный расчет ССТП и СПП (интегрированное моделирование).

В модуль расчета осложнений передаются определенные в других модулях термобарические условия на участках трубопроводов или на объектах подготовки нефти, газа и воды. На основе этих данных осуществляется расчет параметров осложнений [14], таких как, например, скорости углекислотной и сероводородной коррозии, расчет скорости отложений парафинов, расчет скорости солеотложений, температуры гидратообразования, расчет вязкости водонефтяной эмульсии и т.д. Используя результаты расчета этих параметров, можно оценить риски возникновения осложнений на каждом объекте поверхностного обустройства.

Модуль расчета экономических показателей предназначен для определения капитальных вложений, операционных затрат и NPV (чистого дисконтированного дохода, ЧДД) согласно смоделированному проекту обустройства месторождения. При этом учитываются созданная пользователем технологическая схема и рассчитанные показатели по объектам системы сбора, подготовки и ППД. Благодаря этому появляется возможность проведения экономического анализа, анализа чувствительности, оптимизации с экономической точки зрения с формированием рекомендуе-



мого варианта по поверхностному обустройству и эксплуатации объектов месторождения.

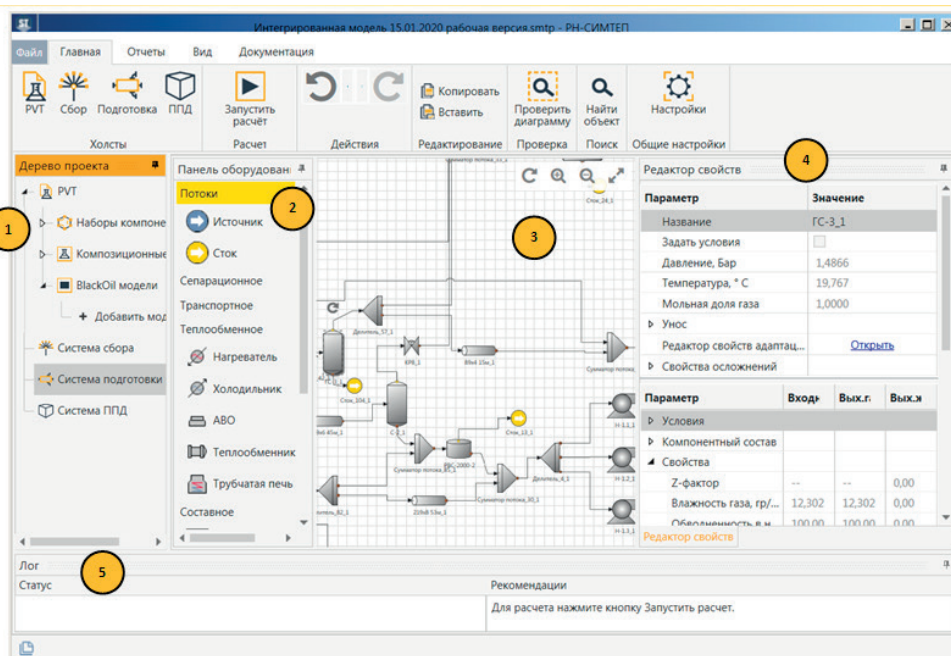
В модуле проведения многовариантных расчетов производится многократный запуск разработанной расчетной модели с вариацией по входным параметрам. Таким образом, возможно проанализировать степень влияния входных параметров расчетной модели на рассчитанные показатели работы объектов поверхностного обустройства, выполнить анализ чувствительности, устойчивости, анализ рисков, оптимизации и т.д.

Описанные выше модули, в свою очередь, также могут быть декомпозированы до подмодулей — например, подмодуль по расчету участка трубы с использованием модели Beggs and Brill. Реализация таких подмодулей позволяет соблюдать идеологию расчетных сервисов — отдельных исполняемых файлов, которые могут использоваться отдельно от всех других модулей системы. Такие расчетные сервисы могут быть интегрированы в другое корпоративное ПО или использованы при выполнении каких-либо исследовательских проектов. Такой подход позволяет оптимизировать создание и развитие методической и расчетной базы, минимизировать риски при программной реализации, обеспечить комплексное управление развитием корпоратив-

ной линейки ПО, элементы которой развиваются отдельными проектными командами.

Графический интерфейс симулятора РН-СИМТЕП (рисунок 4) состоит из пяти основных разделов:

1. Дерево проекта, включающее:
  - раздел для создания PVT модели;
  - раздел для моделирования процессов в системе сбора;
  - раздел для моделирования процессов в системе подготовки;
  - раздел для моделирования процессов системы ППД.
2. Панель оборудования, используя которую пользователь собирает технологическую схему — выбирает объекты, соединяет их материальными потоками, задает параметры этих объектов.
3. Рабочая область непосредственно для создания технологической схемы технологических процессов.
4. Панель для задания входных параметров конкретного объекта, а также для просмотра результатов расчета.
5. Область логирования работы программы — ведение аудита действий пользователя, работы симулятора, процесса расчета, ошибок и предупреждений.



**1 – Дерево проектов:**

- PVT раздел
- Система сбора (расчет сети трубопроводов)
- Система подготовки (расчет объектов поверхностного обустройства)

**2 – Панель оборудования**

**3 – Технологическая схема**

**4 – Панель параметров технологического оборудования**

**5 – Окно логирования**

Рисунок 4. Графический интерфейс симулятора РН-СИМТЕП



### Текущие результаты и потенциальные направления развития

По итогам выполнения проекта в 2020 году была разработана первая промышленная версия программного комплекса для моделирования технологических процессов в области транспортировки, подготовки и первичной переработки скважинной продукции «РН-СИМТЕП 1.0».

Симулятор предназначен для решения актуальных производственных задач Компании на этапах проектирования и эксплуатации месторождения. Текущие функциональные возможности инструмента:

- создание композиционной модели флюида и / или модели черной нефти;
- расчет PVT-свойств флюидов (плотность, вязкость, теплоемкость, теплопроводность, энтальпия и др.) в любой точке технологической схемы;
- расчет сети нефте- (газо-) сбора / трубопроводной системы ППД, позволяющий определить термобарические условия на всех участках сети трубопроводов;
- расчет сепарации газа и жидкости (или двух несмешивающихся жидкостей);
- расчет объемов капельной жидкости (унос капельной жидкости);
- расчет дросселирования;
- теплообмен потоков;
- нагрев или охлаждение потоков;
- ветвление или смешение потоков;
- расчет рисков осложнений;
- возможность совместного расчета систем сбора, подготовки и ППД.

Совместно с разработкой первой промышленной версии «РН-СИМТЕП» была проведена работа по тестированию и апробации симулятора. Для этих целей была создана рабочая группа по тестированию симулятора, в которую вошли эксперты из 11 научно-исследовательских и проектных институтов Компании (КНИПИ), специализирующиеся в области моделирования технологических процессов на объектах наземного обустройства месторождений. Общее число пользователей составило более 100 сотрудников. Ежемесячно участникам рабочей группы направляются установочные файлы обновленных сборок «РН-СИМТЕП» для верификации корректности работы программных модулей по расчету технологических процессов. Эксперты, в свою очередь, направляют группе разработчиков предложения по дальнейшему развитию

функционала и вопросы по работе программы, возникшие в ходе тестирования. Таким образом, разработка симулятора ведется не только по согласованному техническому заданию, в процессе его создания учитываются мнения будущих пользователей в лице профильных специалистов КНИПИ.

Параллельно с апробацией симулятора в КНИПИ, программный комплекс «РН-СИМТЕП» применяется в ходе выполнения реальных проектов в ООО «РН-БашНИПИнефть». Одним из таких проектов является научная работа по созданию цифрового двойника системы поверхностного обустройства Илишевского месторождения в рамках стратегии Компании «Цифровое месторождение». Модель обустройства для Илишевского месторождения, включая систему сбора от добывающих скважин, систему подготовки и систему ППД до нагнетательных скважин, была создана в симуляторе «РН-СИМТЕП». Интегрированная модель была адаптирована на фактические данные работы наземного оборудования и в дальнейшем используется для оптимизации процессов подготовки.

Также модуль «РН-СИМТЕП» по расчету осложнений был использован в качестве основы прототипа инструмента для оценки и прогнозирования рисков осложнений в режиме реального времени при эксплуатации Цифрового месторождения. Одним из этапов данной научной работы была апробация расчетного модуля по оценке рисков осложнений. На основе данных физико-химических свойств нефти, газа и воды, а также термобарических условий в прототипе с заданной периодичностью производился расчет по оценке рисков образования солей, асфальтосмолопарафиновых отложений, гидратов, высоковязких эмульсий и возникновения коррозии на объектах поверхностного обустройства Цифрового месторождения.

Сейчас ведется подготовка к передаче первой версии «РН-СИМТЕП 1.0» в КНИПИ уже для опытно-промышленной эксплуатации. Но, как и другие подобные актуальные и востребованные инструменты, РН-СИМТЕП развивается. На текущее время основная область применения РН-СИМТЕП — это нефтяные месторождения. Планируется обеспечить возможность расчета инфраструктуры газовых, газоконденсатных, нефтегазовых месторождений, расчета региональных проектов, проектирования автоматизации систем управления технологическими процессами, а также воз-

возможность решения оптимизационных задач и т.д. Все это потребует расширения функциональных возможностей симулятора. Например, потребуется реализация расчетных моделей объектов подготовки газа, воды, средств КИПиА, объектов факельной системы и т.д.

Для усиления интеграции РН-СИМТЕП в производственную деятельность Компании предполагаются создание базы моделей поверхностного обустройства по месторождениям, разработка программы и проведение обучения как специалистов производственных подразделений, так и специалистов КНИПИ.

### Вывод

В условиях активной цифровизации экономики внедрение в производственную деятельность и использование цифровых технологий — необходимость для компаний, являющихся технологическими лидерами в своей отрасли. Нефтегазовая отрасль в этом отношении не исключение. Так, Компания ПАО «НК «Роснефть» планомерно технологически развивается. Одним из важных элементов этого является создание и развитие

собственных корпоративных наукоемких ИТ-решений.

Реализация проекта по созданию программного комплекса для моделирования технологических процессов в области транспортировки, подготовки и первичной переработки скважинной продукции «РН-СИМТЕП» позволила устранить одно из «белых пятен» в части обеспечения производственных процессов корпоративной линейкой ПО. В настоящее время разработана первая промышленная версия программного комплекса «РН-СИМТЕП», производится тестирование функциональности и пользовательских качеств инструмента специалистами научно-исследовательских и проектных институтов Компании. На 2021 год запланировано внедрение симулятора в проектную и производственную деятельность Компании. Разработка собственного корпоративного инструмента позволяет внедрять имеющиеся методические и технологические решения в единое программное обеспечение, а также сформировать платформу для развития новых инновационных и наукоемких технологий.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Новая стратегия «Роснефть-2022» // НК «Роснефть». URL: <https://rosneft.ru/docs/report/2017/ru/strategy.html> (дата обращения: 09.06.2021).

2. Ахтямов А.А., Makeev G.A., Baidyukov K.N., Muslimov U.S., Matveev S.N., Pestrikov A.V., Rezaev S.N. Корпоративный симулятор гидроразрыва пласта «РН-ГРИД»: от программной реализации к промышленному внедрению // Нефтяное хозяйство. 2018. № 5. С. 94-97. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-5-94-97.

3. Костригин И.В., Загуренко Т.Г., Хатмуллин И.Ф. Программный комплекс «РН-КИН»: история создания, развития и внедрения // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». 2014. № 2 (35). С. 4-7.

4. Давлетова А.Р., Киреев В.В., Кнутова С.Р., Пестриков А.В., Федоров А.И. Разработка корпоративного геомеханического симулятора для моделирования устойчивости ствола скважины // Нефтяное хозяйство. 2018. № 6. С. 88-92. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-6-88-92.

5. Ильясов У.Р., Лутфурахманов А.Г., Ефимов Д.В., Пашали А.А. Сравнительный анализ свойств компонентов и фракций при PVT-моделировании // Нефтяное хозяйство. 2020. № 5. С. 64-67. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-5-64-67.

6. Бостонов О., Землянов А., Лутфурахманов А. Наблюдения за «погодными условиями» в проекте с C++/CLI // Хабр. 01.02.2021. URL: <https://habr.com/ru/company/bashnipineft/blog/540244/> (дата обращения: 09.06.2021).

7. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газ. М.: Грааль, 2002. 574 с.

8. Ahmed T. Equation of State and PVT Analysis. Applications for Improved Reservoir Modeling / 2nd Ed. San Diego: Elsevier Science, 2016. 626 p.

9. Banzer C.S. Correlaciones Numericas P.V.T. Maracaibo: Universidad del Zulia, 1996. 150 p.

10. Брилл Дж.П., Мукерджи Х. Многофазный поток в скважинах / пер. с англ. Ю.В. Русских. Ижевск: Ин-т компьютерных исслед., 2006. 384 с.

11. Ansari A.M., Sylvester N.D., Sarica C., Shoham O., Brill J.P. A Comprehensive Mechanistic Model for Upward Two-Phase Flow in Wellbores // SPE Production and Facilities. 1994. Vol. 9. Issue 2. P. 143-152. DOI: 10.2118/20630-PA.

12. Умергалин Т.Г., Галиаскаров Ф.М. Методы расчетов основного оборудования нефтепереработки и нефтехимии. Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2007. 236 с.

13. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи). СПб.: ХИМИЗДАТ, 2009. 544 с.

14. Персиянцев М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях. М.: Недра, 2000. 652 с.

### REFERENCES

1. *Novaya strategiya «Rosneft'-2022»* [«Rosneft-2022» New Strategy]. НК «Rosneft». Available at: <https://rosneft.ru/docs/report/2017/ru/strategy.html> (accessed 09.06.2021). [in Russian].

2. Akhtyamov A.A., Makeev G.A., Baidyukov K.N., Muslimov U.S., Matveev S.N., Pestrikov A.V., Rezaev S.N.

Korporativnyi simulyator gidrorazryva plasta «RN-GRID»: ot programmnoi realizatsii k promyshlennomu vnedreniyu [Corporate Fracturing Simulator RN-GRID: from Software Development to in Field Implementation]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2018, No. 5, pp. 94-97. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-5-94-97. [in Russian].

3. Kostrigin I.V., Zagurenko T.G., Khatmullin I.F. Programmnyi kompleks «RN-KIN»: istoriya sozdaniya, razvitiya i vnedreniya [History of the Creation and Deploying of Software Package RN-KIN]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik OAO «NK «Rosneft» — Scientific and Technical Bulletin of «Rosneft»*, 2014, No. 2 (35), pp. 4-7. [in Russian].

4. Davletova A.R., Kireev V.V., Knutova S.R., Pestrikov A.V., Fedorov A.I. Razrabotka korporativnogo geomekhanicheskogo simulyatora dlya modelirovaniya ustoichivosti stvola skvazhiny [Development of Corporate Geomechanics Simulator for Wellbore Stability Modeling]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2018, No. 6, pp. 88-92. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-6-88-92. [in Russian].

5. Ilyasov U.R., Lutfurakhmanov A.G., Efimov D.V., Pashali A.A. Sravnitel'nyi analiz svoystv komponentov i fraktsii pri PVT-modelirovani [Comparative Analysis of the Properties of Hydrocarbon Components and Fractions in PVT Modeling]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2020, No. 5, pp. 64-67. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-5-64-67. [in Russian].

6. Bostonov O., Zemlyanov A., Lutfurakhmanov A. Nablyudeniya za «pogodnymi usloviyami» v proekte s C++/CLI [Observing «Weather Conditions» in a C++/CLI Project]. *Khabr*. 01.02.2021. Available at: <https://habr.com/ru/company/bashnipineft/blog/540244/> (accessed 09.06.2021). [in Russian].

7. Brusilovskii A.I. *Fazovye prevrashcheniya pri razrabotke mestorozhdenii nefiti i gaz* [Phase Transformations in the Development of Oil and Gas Fields]. Moscow, Graal' Publ., 2002. 574 p. [in Russian].

8. Ahmed T. *Equation of State and PVT Analysis. Applications for Improved Reservoir Modeling*. 2nd Ed. San Diego, Elsevier Science, 2016. 626 p.

9. Banzer C.S. *Correlaciones Numericas P.V.T.* Maracaibo, Universidad del Zulia, 1996. 150 p.

10. Brill Dzh.P., Mukerdzhi Kh. *Mnogofaznyi potok v skvazhinakh* [Multiphase Flow in Wells Richardson]. Translation from English by Yu.V. Russkikh. Izhevsk, In-t komp'yuternykh issled. Publ., 2006. 384 p. [in Russian].

11. Ansari A.M., Sylvester N.D., Sarica C., Shoham O., Brill J.P. A Comprehensive Mechanistic Model for Upward Two-Phase Flow in Wellbores. *SPE Production and Facilities*, 1994, Vol. 9, Issue 2, pp. 143-152. DOI: 10.2118/20630-PA.

12. Umergalin T.G., Galiaskarov F.M. *Metody raschetov osnovnogo oborudovaniya neftepererabotki i neftekhimii* [Calculation Methods for the Main Equipment of Oil Refining and Petrochemistry]. Ufa, «Neftegazovoe delo» Publ., 2007. 236 p. [in Russian].

13. Romankov P.G., Frolov V.F., Flisyuk O.M. *Metody rascheta protsessov i apparatov khimicheskoi tekhnologii (primery i zadachi)* [Methods for Calculating Processes and Devices of Chemical Technology (Examples and Tasks)]. St. Petersburg, KhIMIZDAT Publ., 2009. 544 p. [in Russian].

14. Persiyantsev M.N. *Dobycha nefiti v oslozhnennykh usloviyakh* [Extraction of Oil under Complicated Conditions]. Moscow, Nedra Publ., 2000. 652 p. [in Russian].

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

### ABOUT THE AUTHORS

**Лutfurakhmanov Артур Галимзянович**, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела разработки технологических проектов, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация

**Artur G. Lutfurakhmanov**, Candidate of Engineering Sciences, Deputy Head of Technological Projects Development Department, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: [LutfurakhmanovAG@bnipi.rosneft.ru](mailto:LutfurakhmanovAG@bnipi.rosneft.ru)

**Ефимов Дмитрий Витальевич**, эксперт управления цифровой трансформации производственных процессов, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация

**Dmitriy V. Efimov**, Expert of Directorate of Digital Transformation of Technological Processes, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: [EfimovDV@bnipi.rosneft.ru](mailto:EfimovDV@bnipi.rosneft.ru)

**Павлов Владимир Анатольевич**, канд. техн. наук, заместитель директора Департамента технического регулирования и развития КНПК, ПАО «НК «Роснефть», г. Москва, Российская Федерация

**Vladimir A. Pavlov**, Candidate of Engineering Sciences, Deputy Director of Directorate of Technical Regulation and Development of CSPC, Rosneft Oil Company PJSC, Moscow, Russian Federation

e-mail: [va\\_pavlov@rosneft.ru](mailto:va_pavlov@rosneft.ru)

**Литвиненко Максим Анатольевич**, руководитель проекта, ПАО «НК «Роснефть», г. Москва, Российская Федерация

**Maksim A. Litvinenko**, Head of the Project, Rosneft Oil Company PJSC, Moscow, Russian Federation

e-mail: [m\\_litvinenko@rosneft.ru](mailto:m_litvinenko@rosneft.ru)