



РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Научно-техническое сопровождение численного моделирования технологических процессов

**Конференция «Цифровая трансформация в нефтегазовой отрасли»,
Москва, журнал «Нефтяное хозяйство»,
27 ноября 2024 г.**

Авторы:

**Андреева Н.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
Айгунов Л.А., аспирант НГА-23-02 РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина**



Характеристики рынка ПО для численного моделирования технологических процессов

1 Несколько лет назад с российского рынка начали уходить иностранные вендоры. Еще 5 лет назад доля импортного программного обеспечения (ПО) в общем объеме составляла 92 %. Сейчас компании активно разрабатывают аналоги ушедшего ПО.

2 Согласно аналитике ПАО «Газпром нефть», уже создано 319 индустриальных ПО, 40 из них тиражируется, 57 использует технологию искусственного интеллекта. Для дальнейшего развития рынка отечественных решений надо сделать следующие шаги, заключающиеся с в создании стандартов и сервиса создаваемых продуктов.

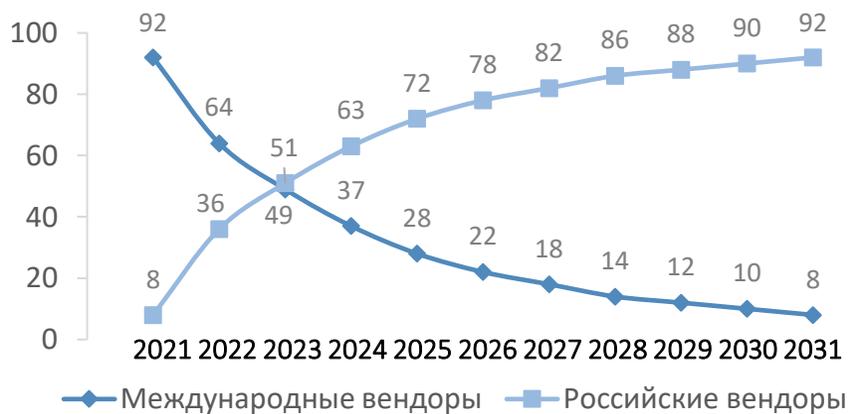
3 Российское инфраструктурное ПО к 2030 г. займет около 90% в годовом объеме продаж на внутреннем рынке. Темпы импортозамещения замедлятся после 2026 года, когда будут насыщены сегменты B2G и B2G + (Strategy Partners)



Рынок инфраструктурного ПО РФ 2020-2024 гг., млрд руб.



Оценка средней пропорции присутствия на российском рынке российских и иностранных продуктов (в годовом объеме продаж), %



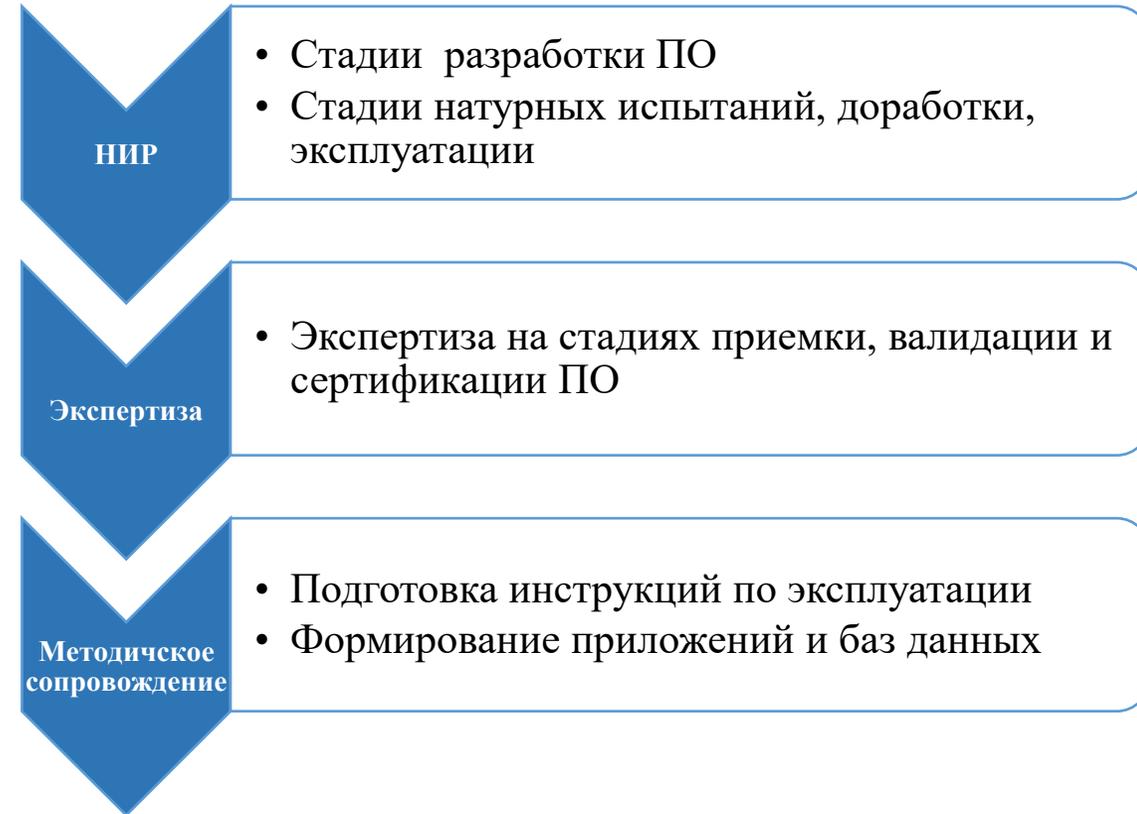
В 2022 г. рынок по всем сегментам инфраструктурного ПОкратно сократил потребление иностранных решений, заменив их доступными российскими аналогами

Выход на российский рынок иностранных продуктов из «дружественных» стран и достижение ими существенной доли маловероятно по причине регуляторных барьеров, риска вторичных санкций для иностранных компаний, сохранения тенденции к импортозамещению (Strategy Partners)



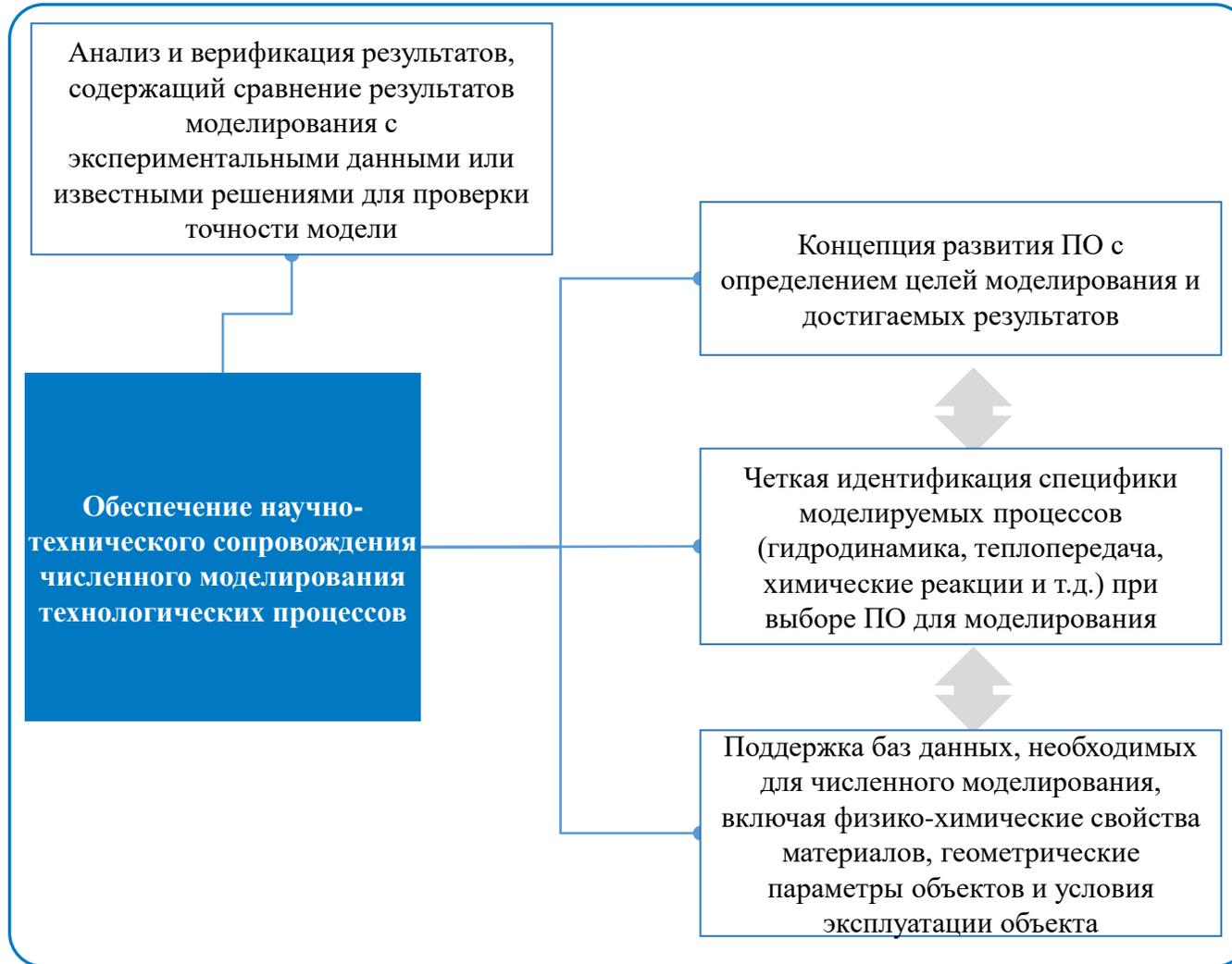
Научно-техническая поддержка численного моделирования технологических процессов

Характеристика поддержки	Содержание поддержки	Исполнитель
Выполнение профильных научно-исследовательских работ (НИР)	Идентификация и изучение технологических процессов, анализ функционала блоков разрабатываемого ПО	Инжиниринговые компании, ВУЗы, разработчики ПО
Экспертная	Определение требований процесса, анализ риска отказа процессов и ПО, анализ на предмет влияния на существующие риски и/или появление новых	Инжиниринговые компании, ВУЗы, разработчики ПО, органы экспертизы и надзора
Методическая	Разработка инструкций и методических материалов по использованию ПО, формирование сопроводительной информации в виде приложений и баз данных	Разработчики ПО, пользователи ПО





Связь численного моделирования технологических процессов и норм технологического проектирования





Содержание

Характеристика
рынка ПО

Научно-
техническая
поддержка

Функциональное
назначение ПО

Выявленные
уязвимости

Зарубежный
опыт

Полигоны

Выводы

Требования к ПО для технологических расчетов

Стандарт ГОСТ Р 58367-2019 ОБУСТРОЙСТВО МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ НА СУШЕ

Технологическое проектирование

Единственный стандарт, содержащий
требования к специализированному ПО.

«П.5.2 использование специализированного программного обеспечения при разработке технологического процесса сбора нефтегазоводяной смеси, заводнения пласта, подготовки нефти, газа и пластовой воды для получения заданных проектной документацией параметров и транспортирования добытых нефти и газа до сооружений внешнего транспорта».

**Расчеты в специализированном ПО
необходимы для обоснования показателей
технологического процесса и выбора
оборудования для достижения требуемого
уровня промышленной безопасности.**

Функции расчетного ПО для любого объекта ТЭК:

- Обоснование технологических схем, расчеты и описание технологических процессов по установкам и объекту;
- материальный и тепловой балансы по установкам и всего технологического процесса;
- гидравлические расчеты технологических систем;
- категории и классы трубопроводов, расчетные давления и давления испытаний;
- материальное исполнение оборудования и трубопроводов;
- прочностной расчет трубопроводов;
- скорость коррозии, расчет ингибирования;
- расчеты гидратообразования и ингибирования;
- расчеты иных осложнений
- расходные показатели потребления энергоресурсов (расход электроэнергии, потребность в холодной воде и воде для технологического процесса, топливном газе, водяном паре или горячей воде);
- расходные показатели масел, теплоносителя, реагентов;
- опросные листы на оборудование и запорно-регулирующую арматуру и технические требования на изготовление блочно-комплектных устройств и отдельных установок



Этапы проектирования технологических процессов

Выполнение предварительных технологических расчетов, формирование принципиальной схемы технологического процесса (PFD)



Разработка первой редакции ОТР на аналогах оборудования. Уточнение расчетной модели, выбор оборудования для реализации технологического процесса



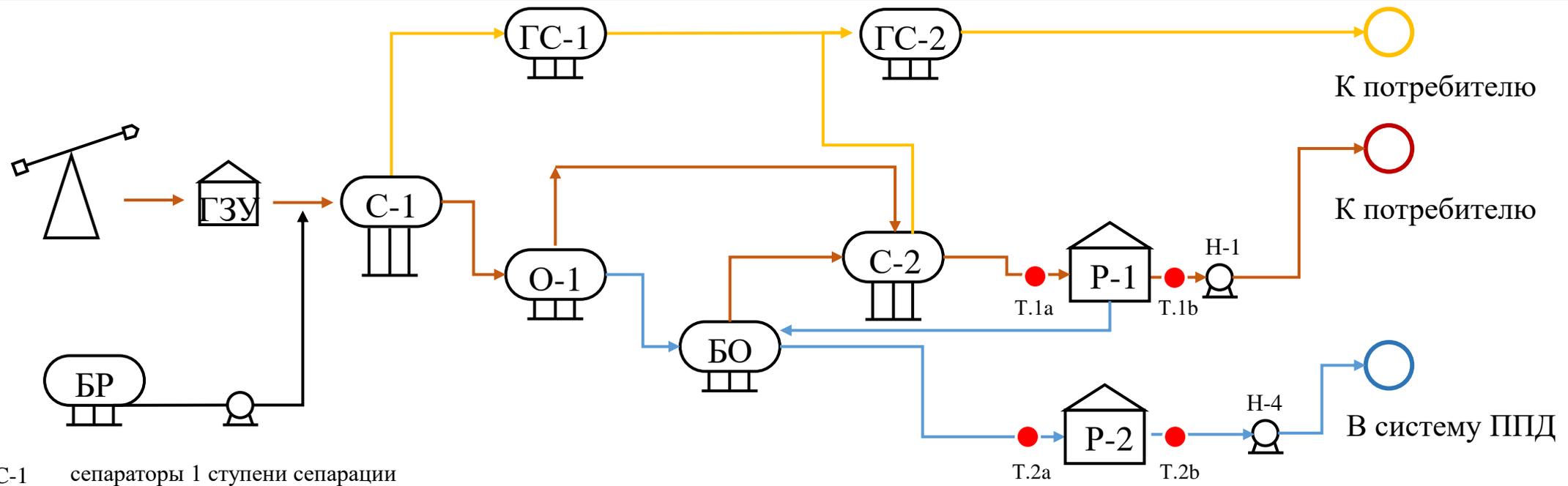
Формирование схемы P&ID, ИМ готовности 30 %, предварительный генплан, определение контуров регулирования и безопасности. Проведение процедур HAZOP и HAZID



Наполнение и поддержка научно-технической основы проекта, управление изменениями показателей ТП средствами информационного моделирования



Принципиальная схема сбора, подготовки и транспортировки нефти, газа и воды



- С-1 сепараторы 1 степени сепарации
- С-2 сепараторы 2 степени сепарации
- О-1 отстойник предварительного обезвоживания
- БО блок-отстойник для очистки воды
- Р-1 резервуар для приема нефти
- Р-2 резервуар для приема воды
- БР блок реагентного хозяйства
- Н-1 насос подачи сырой нефти
- Н-4 насос подачи воды в систему ППД
- ГС-1 газовый сепаратор 1 степени
- ГС-2 газовый сепаратор 2 степени

- направление потока газовой фазы
- направление потока нефтяной фазы
- направление потока водной фазы
- подача реагента
- точки отбора проб

Точка	Измеряемые параметры
T.1a, T.1b	1. Содержание газа в нефти 2. Компонентный состав газа
T.2a	1. Исходное содержание газа в воде 2. Компонентный состав газа 3. Минерализация подтоварной воды
T.2b	1. Конечное содержание газа в воде 2. Компонентный состав газа



Содержание

Характеристика
рынка ПО

Научно-
техническая
поддержка

Функциональное
назначение ПО

Выявленные
уязвимости

Зарубежный
опыт

Полигоны

Выводы

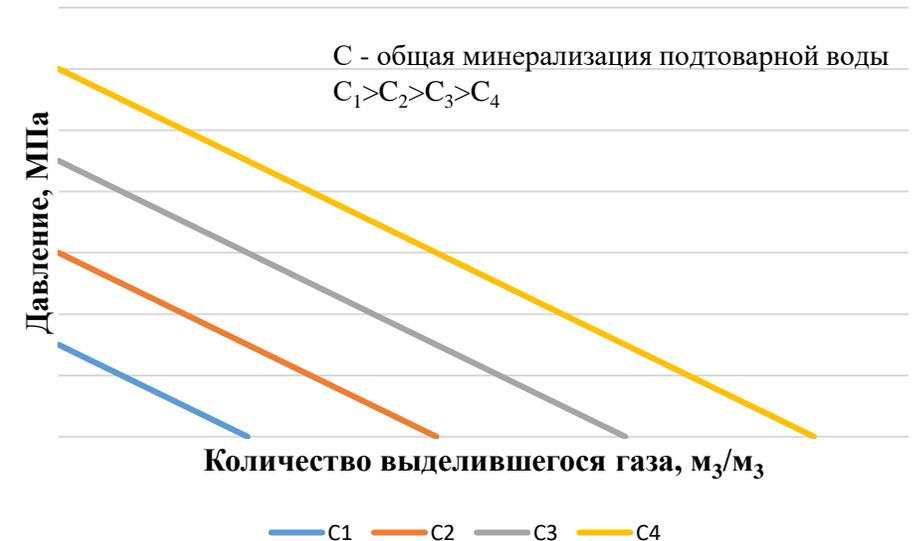
Применение ПО Aspen Hysys для численного моделирования подготовки нефти и газа

Заявленный функционал ПО	Выявление уязвимостей
<p>Программный пакет, предназначенный для моделирования в стационарном режиме, проектирования химико-технологических производств, контроля производительности оборудования, оптимизации и бизнес-планирования в области добычи и переработки углеводородов и нефтехимии.</p> <p>HYSYS позволяет рассчитать физические свойства, транспортные свойства, фазовое равновесие с гарантированно высокой точностью. Использует физические модели, основанные на давно открытых и многократно подтвержденных на практике законы природы: поведения газов, сохранения энергии, импульса, материи и т.</p> <p>Программа сдана в эксплуатацию в 1996 году</p>	<p>Существуют «узкие места», где созданием физических моделей и развитием математического аппарата заказчики и разработчики ПО пренебрегают в силу «малой значимости» (по их мнению) элемента процесса.</p> <p>Высокое доверие проектировщиков и эксплуатирующих организаций к результатам расчетов позволило создать схемы регулирования процессов, разработать на их основе АСУ ТП, передавать сигналы на пульта управления, сократить промысловый персонал. При этом число инцидентов/аварий не уменьшилось.</p> <p>Оказалось, что ПО работает идеально с чисто нефтегазовыми флюидами, но имеет уязвимости в трехфазной среде.</p>

Оценка соответствия ПО реальному миру

Российский нефтегазовый комплекс аналогично столкнулся с проблемой достоверности численного моделирования технологических процессов вновь разработанным программным обеспечением (ПО).

Разгазирование подтоварной воды в зависимости от минерализации и давления





Содержание

Характеристика
рынка ПО

Научно-
техническая
поддержка

Функциональное
назначение ПО

Выявленные
уязвимости

**Зарубежный
опыт**

Полигоны

Выводы

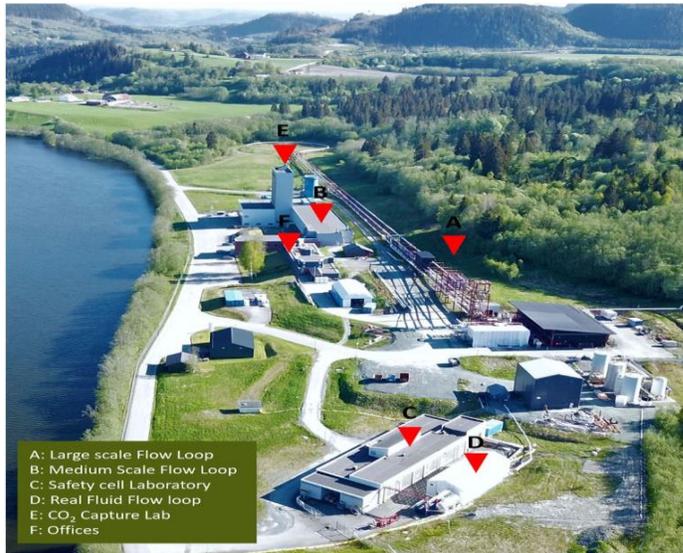
Зарубежный опыт

Валидация на соответствие лабораторным и полевым данным

Тестирование включало сравнение с экспериментальными данными (более 12 000 экспериментальных точек) и промышленными данными (трубопроводы и скважины, от влажного газа до нефти), а также сравнение с другим коммерчески доступным программным обеспечением.

Другая часть тестирования была сосредоточена на типичных пользовательских примерах flow assurance

Разработка инструмента была основана как на уже существующих, так и на новых крупномасштабных экспериментальных данных, полученных с помощью контуров испытательной лаборатории Sintef. Партнеры LedaFlow установили более 90 решений по всему миру, и в настоящее время это проверенная альтернатива.



Лаборатория натуральных испытаний Sintef

Крупномасштабный контур представляет собой лабораторию трехфазного потока промышленного размера. Возможности охватывают широкий спектр промышленных условий, позволяя изучать все основные проблемы с потоками в процессе производства.

Эта испытательная установка, крупнейшая в своем роде, стала основой для разработок в области подводной добычи нефти и газа в холодных условиях и на большие расстояния транспортировки. Технологическое оборудование предприятия позволяет гибко использовать индивидуальные геометрические параметры испытаний, которые отличаются от стандартной конфигурации труб.



Испытательная инфраструктура для определения соответствия расчётов реальному миру

ПРОБЛЕМА

Подтверждение достоверности результатов численного моделирования технологических процессов вновь разработанным программным обеспечением (ПО)

> 300 ед. ПО

Создано отечественных образцов
индустриального ПО

> 40 ед. ПО

На данный момент
тиражируется

4 этапа реализации процедуры

- 1 Рассмотрение требований нормативного документа к точности и полноте расчетов
- 2 Раскрытие математического аппарата, применяемого для численного моделирования
- 3 Проверка функционала ПО на натуральных испытаниях, примерах и тестах
- 4 Принятие либо доработка тестируемого ПО

РЕШЕНИЕ



Отсутствие в РФ открытых площадок для проведения натуральных испытаний ПО



На данный момент **валидация** ~ настройка испытуемого ПО на «живые» проекты



Достоверность результата составляет +/- 30 %



Содержание

Характеристика
рынка ПО

Научно-
техническая
поддержка

Функциональное
назначение ПО

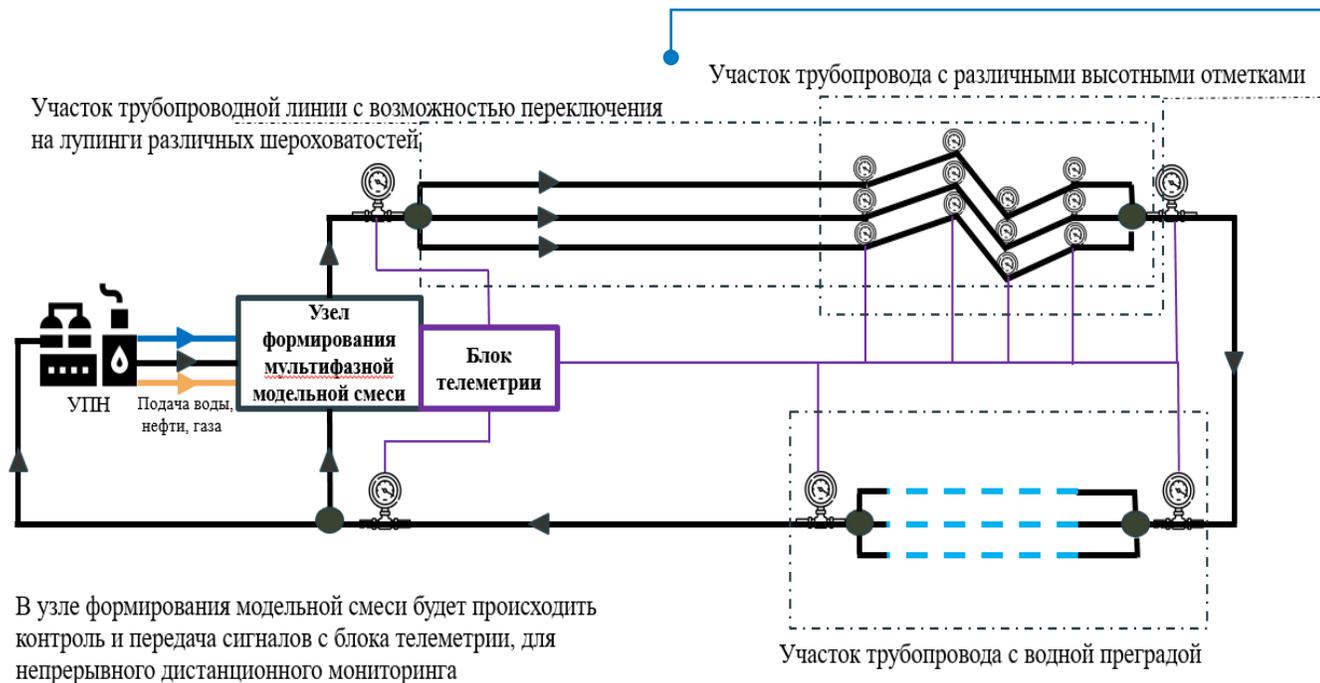
Выявленные
уязвимости

Зарубежный
опыт

Полигоны

Выводы

Натурные площадки как решение проблемы достоверности результатов численного моделирования программным обеспечением



Прообраз полигона натуральных испытаний ПО для численного моделирования технологических процессов на выработанном месторождении

- Замкнутый контур, состоящий из участков, наиболее принципиальных при численном моделировании
- С установки подготовки нефти обеспечивается подход фаз для формирования модельной смеси на узле формирования для дальнейших замеров
- Участки обеспечены средствами контроля и автоматизации для получения результатов в реальном времени при удаленном доступе



Содержание

Характеристика
рынка ПО

Научно-
техническая
поддержка

Функциональное
назначение ПО

Выявленные
уязвимости

Зарубежный
опыт

Полигоны

Выводы

Предложения РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина по научно-технической поддержке ПО

1

Основные требования к ПО, применяемому для численного моделирования технологических процессов, должны содержаться в нормах технологического проектирования объектов ТЭК

2

Приоритетами научно-технического сопровождения численного моделирования технологических процессов являются поддержка баз данных и четкая идентификация специфики моделируемых процессов (гидродинамика, теплопередача, химические реакции и т.д.).

3

Высшим элементом научно-технического сопровождения является подтверждение достоверности расчетов путем проведения натурных испытаний на специализированных площадках.