

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ГАРИПОВ Кирилл Назифович

Руководитель направления по цифровому моделированию АО «ОЗНА», к.т.н.

+7 (917) 451-64-41 (моб.)
Email garipov.kn@ozna.ru

Применение методов математического моделирования при разработке и модернизации промышленного оборудования позволяеткратно повышать его эффективность и снижать затраты на разработку месторождений. Положительный экономический эффект достигается за счет сокращения эксплуатационных затрат, а также повышения эффективности работы.

В настоящей статье рассмотрен опыт применения различных методов математического моделирования при разработке инновационных решений в области нефтегазового оборудования, такого как горизонтальные и вертикальные факельные установки, оборудование для очистки воды, подаваемой в систему поддержания пластового давления (ППД), от мехпримесей и нефтепродуктов, а также для модернизации уже эксплуатируемого на месторождениях оборудования.

Рис. 1. Математическая модель распределения CO на выходе из вертикальной факельной установки

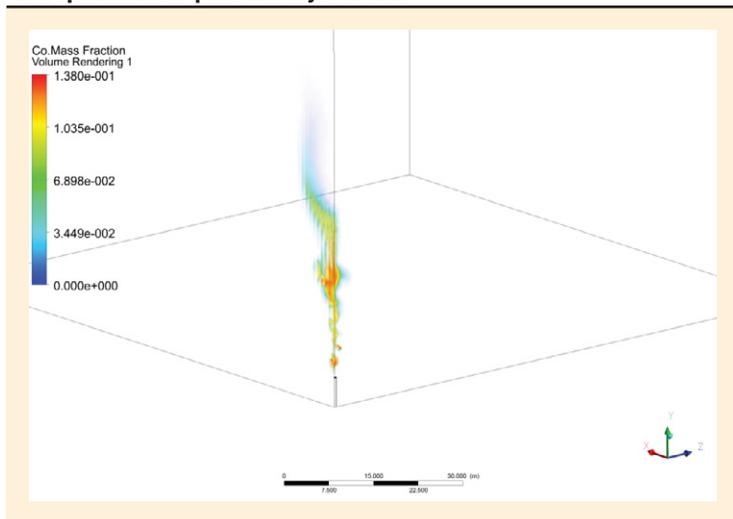
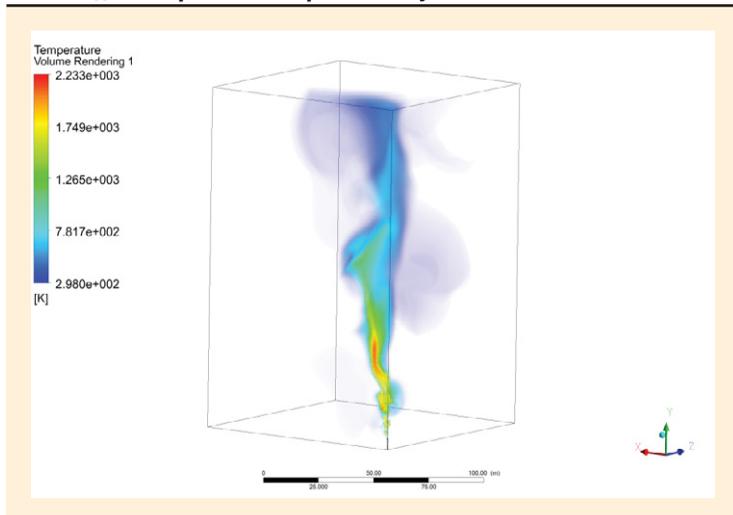


Рис. 2. Математическая модель распределения температуры на выходе из вертикальной факельной установки



ОБОРУДОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ПУНКТОВ СБОРА НЕФТИ

Проводя модернизацию вертикальных факельных установок (ФУ), специалисты АО «ОЗНА» создали математические модели распределения CO и температуры, которые использовались при разработке кинематических оголовков с подвижным клапаном (рис. 1, 2). Конструкция позволяет изменять проходное сечение клапана и скорость выходящего потока газа, за счет чего расширяется динамический диапазон работы ФУ (табл. 1).

Схожая задача была поставлена при работе с горизонтальными ФУ (ГФУ). Но помимо сокращения длины пламени за счет оптимизации проходного сечения клапана, также необходимо было уменьшить количество выбрасываемых недоокисленных продуктов горения. Выполненные математические расчеты позволили сократить длину пламени в полтора раза, а также снизить токсичность производства (рис. 3). При этом повысилась экономическая эффективность предприятия за счет сокращения затрат на подготовку площадки для ГФУ и отсыпку защитного земляного вала.

Наконец, необходимо отметить работы, направленные на модернизацию трехфазных сепараторов. В данном случае основная задача заключалась в трехкратном сокращении габаритов при сохранении производительности и эффективности. С помощью тщательно проработанных математических моделей инженеры АО «ОЗНА» разработали проект модернизированного сепаратора (табл. 2), который отличается не только меньшими габаритами, но и улучшенными эксплуатационными характеристиками. Так, удалость добиться снижения обводненности продукции за счет повышения эффективности коалесценции. Также увеличилась стабильность работы в условиях повышенного газового фактора.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ СИСТЕМ ППД

Качество очистки воды в системе ППД – одно из ключевых условий эффективности разработки месторождений. Практический опыт показывает, что если концентрация механических примесей и остаточ-

ной нефти в воде, закачиваемой в пласт, превышает 50 мг/л, то приемистость нагнетательной скважины за год падает в два раза. При этом на 100 тыс. кВт·ч в год увеличиваются энергозатраты на поддержание пластового давления на проектном уровне.

Специалисты АО «ОЗНА» разработали и реализовали инновационный гидроциклон. В поле центробежной силы от вращения жидкости, поступающей через тангенциальный вход, твердотельные взвешенные частицы (ТВЧ) отбрасываются к стенкам корпуса и оседают в дренажной полости.

Накопившийся шлам и ТВЧ выводятся через дренажную задвижку в постоянном режиме или по факту заполнения емкости, а очищенная вода скапливается в близосевой части гидроциклона и выводится через верхний выпускной канал.

При разработке гидроциклона инженеры АО «ОЗНА» использовали современные численные методы проектирования для составления математических моделей гидроциклонов (рис. 4).

Для проведения ОПИ на одном из объектов Западной Сибири была сооружена экспериментальная установка УФПГ 50.250.00.000 (рис. 5), предназначенная для двухступенчатой очистки воды от мехпримесей размером 10 мкм и более. Центральный элемент компоновки – фильтр-пескоотделитель высокого давления (рис. 6), представляющий собой вертикальный сосуд, работающий под давлением 25 МПа.

В ходе испытаний было установлено, что очищающая способность двух ступеней составляет 15,1 мг/л, а гидроциклона – 20,4 мг/л. Пробное использование 10-мкм сетки показало, что гидроциклон полностью отделяет частицы размером 10 мкм и выше.

На базе описанной установки специалисты Компании разработали проект системы гидроциклонной фильтрации нового поколения производительностью 60 м³/ч (рис. 7, табл. 2).

ЦИКЛОННЫЙ НЕФТЕОТДЕЛИТЕЛЬ «ГОЛЬФСТРИМ»

При закачке подтоварной воды в пласт возникает необходимость очистки ее не только от мехпримесей, но и от нефтепродуктов. Для этих целей был разработан циклонный нефтеотделитель «Гольфстрим» (рис. 8), который представляет собой полую трубу с тангенциальным входом. По мере прохождения трубы эмульсионный поток разделяется на две нити: воды и нефтепродуктов, которые затем выводятся в резервуары.

Нефтеотделитель применяется в составе очистных установок, которые представляют собой блок мультициклонов (до 100 штук) производительностью – до 1000 м³/ч. Допустимая концентрация нефтепродуктов на входе – до 2000 мг/л.

Таблица 1

Сравнение рабочих характеристик стандартной и модернизированной факельных установок

Параметр	Типовая ФУ	ФУ АО «ОЗНА»
Минимальный рабочий расход газа, м³/ч	10 000	2 000
Максимальный рабочий расход газа, м³/ч	18 000	18 000

Рис. 3. Примеры математических моделей выходного потока горизонтальной факельной установки

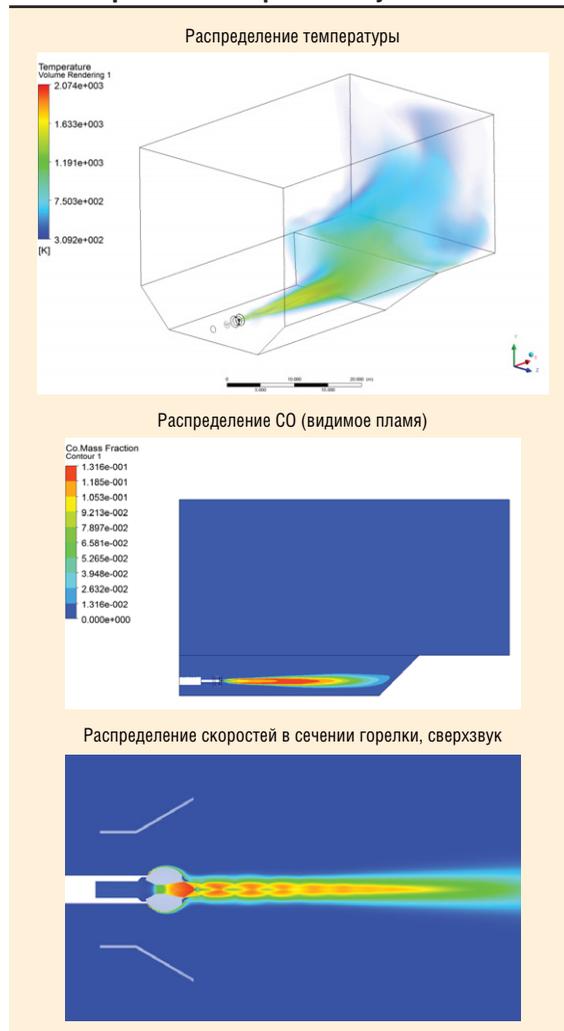


Рис. 4. Кривая эффективности сепарации гидроциклонов

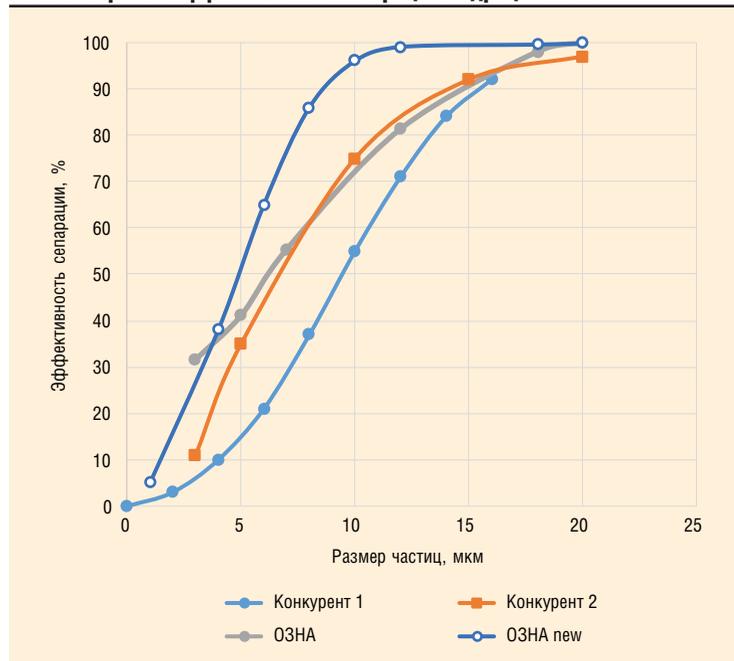


Рис. 5. Установка УФПГ50.250.00.000 для проведения ОПИ



Таблица 2

Характеристики система гидроциклонной фильтрации нового поколения

Параметры	Значение
Производительность, м³/ч	15-60
Степень очистки, мкм	10
Масштабируемость, м³/ч	1000
Гидравлическое сопротивление, атм	2,5

ВЫДЕРЖКИ ИЗ ОБСУЖДЕНИЯ

Вопрос: Кирилл Назифович, скажите, а за счет чего достигается переменное сечение на факельных установках. С помощью приводов?

Кирилл Гарипов: Нет, там нет никаких приводов. Просто увеличивается расход газа, увеличивается давление над клапаном факельным, над факельным оголовком.

Вопрос: А давление регулируется весом?

К.Г.: Да, весом клапана.

Вопрос: А какое тогда должно быть минимальное давление на оголовке?

К.Г.: Минимально 2000 Па.

Рис. 6. Фильтр-пескоотделитель высокого давления

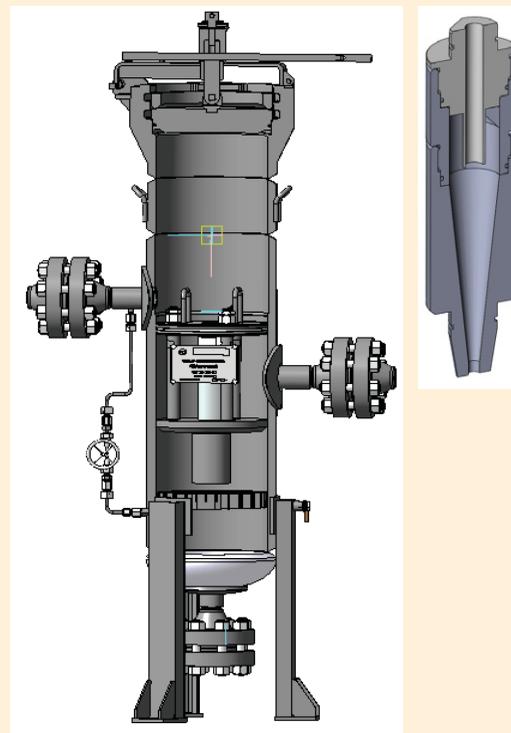
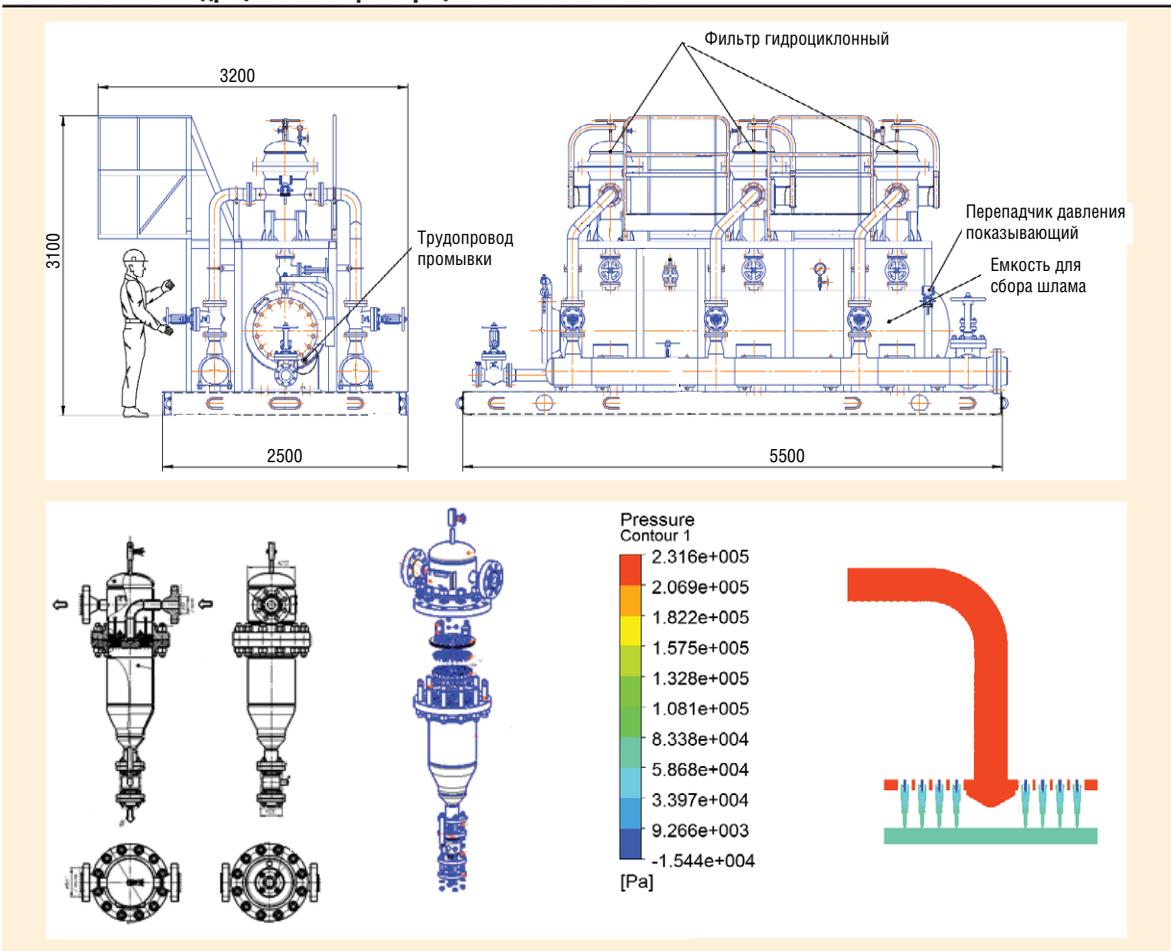


Рис. 7. Система гидроциклонной фильтрации нового поколения



На момент подготовки статьи установки прошли заводские испытания, в ходе которых подтверждена эф-

фективность разделения водонефтяных эмульсий и определены оптимальные режимы эксплуатации.

Рис. 8. Циклонный нефтеотделитель «Гольфстрим»

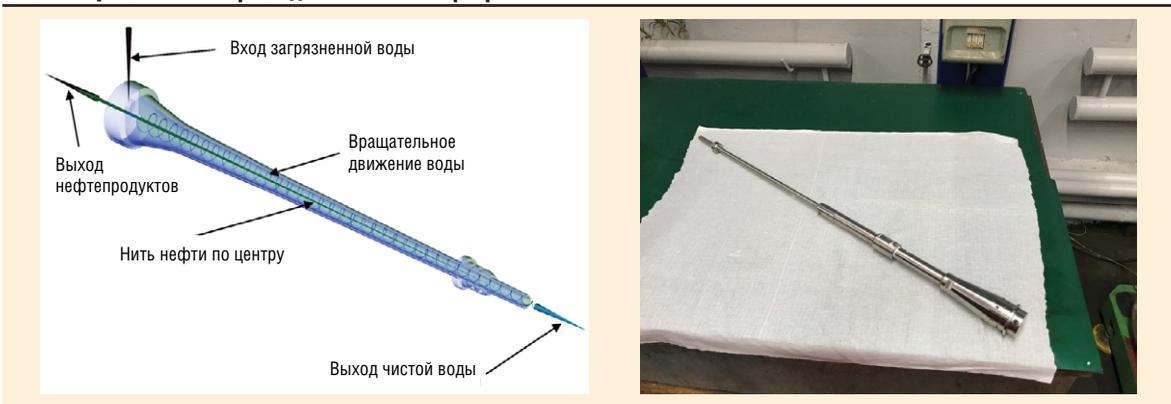


Рис. 9. Мобильный комплекс водоподготовки ОПИ в ПАО «АНК Башнефть»

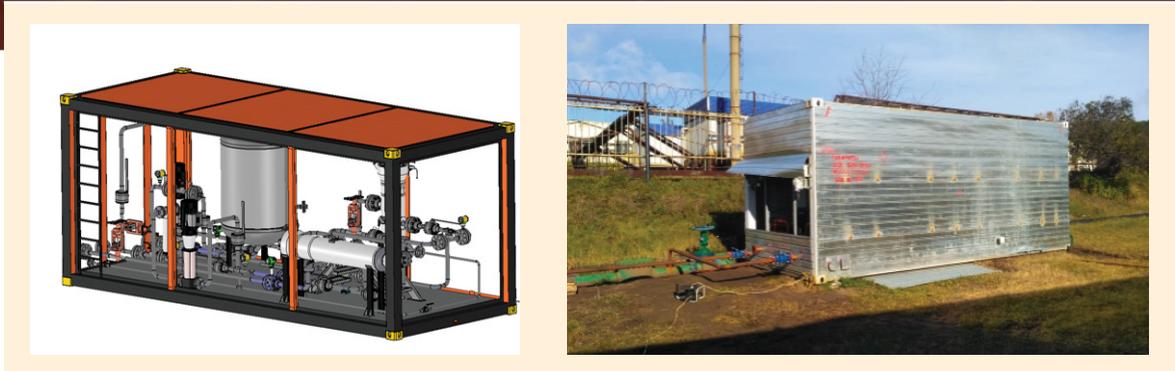


Таблица 3

Технические характеристики мобильного комплекса водоподготовки	
Параметры	Значение
Производительность, м³/ч	6-8
Содержание нефтепродуктов на входе, мг/л	1000
Содержание ТВЧ на входе, мг/л	500
Эффективность очистки, мг/л	5-10
Тонкость фильтрации, мкм	10 и выше
Гидравлическое сопротивление, атм	2-5

Наконец, в одной из нефтяных компаний уральского региона проходит ОПИ мобильный комплекс водоподготовки на основе гидроциклонных технологий с пропускной способностью до 8 м³/ч (рис. 9, табл. 3).

Рис. 11. Скорость фильтрации различных технологий



Рис. 10. Эффективность очистки различных технологий

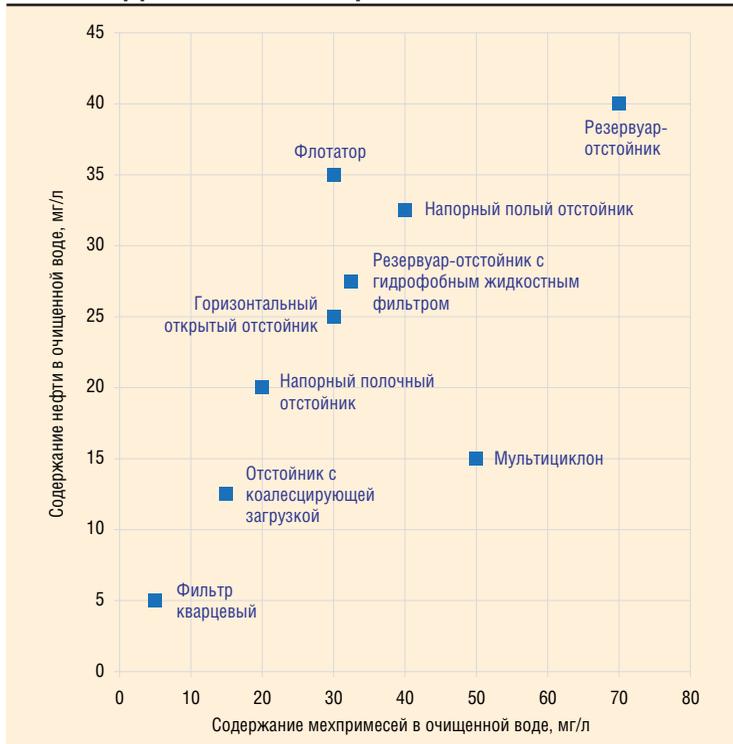


Таблица 4

Исходные данные для сравнения экономической эффективности традиционных и циклонных технологий		
Параметр	Исходная вода	Очищенная вода
Производительность м³/сут	5000	
Содержание нефти, мг/л	2000	25
Содержание механических примесей, мг/л	150	15...20

Таблица 6

Параметры модернизируемого месторождения	
Параметры	Значение
Добыча нефти, тыс. т	4 201
Добыча жидкости, тыс. т	16 412
Закачка воды, тыс. м ³	12 382
Обводненность действ. фонда скважин, %	63,3
Фонд добывающих скважин, шт.	796
Фонд нагнетательных скважин, шт.	458

Стоит отметить, что циклонные технологии отличаются повышенной эффективностью по сравнению с традиционным отстаиванием в вертикальных резервуарах (РВС) (табл. 4, 5). Экономический эффект

Рис. 12. Традиционная схема ППД

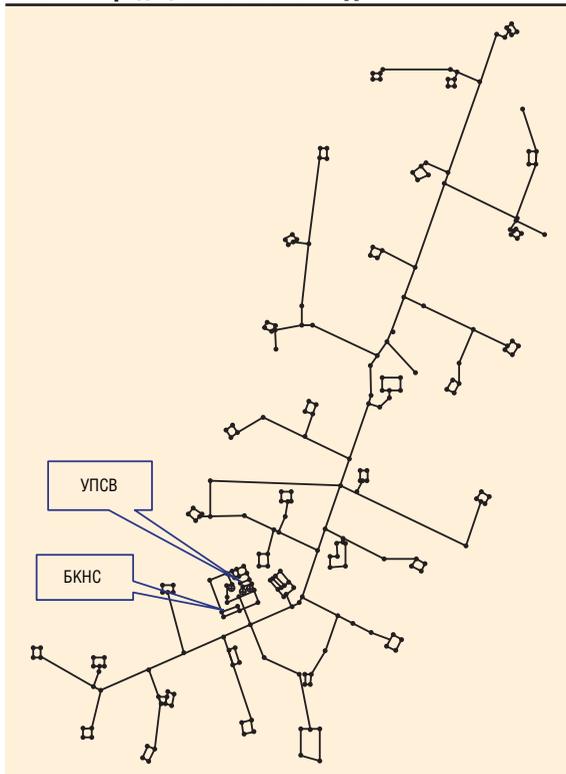


Рис. 13. Распределенная схема ППД с ГНУ и кустовыми УПСВ

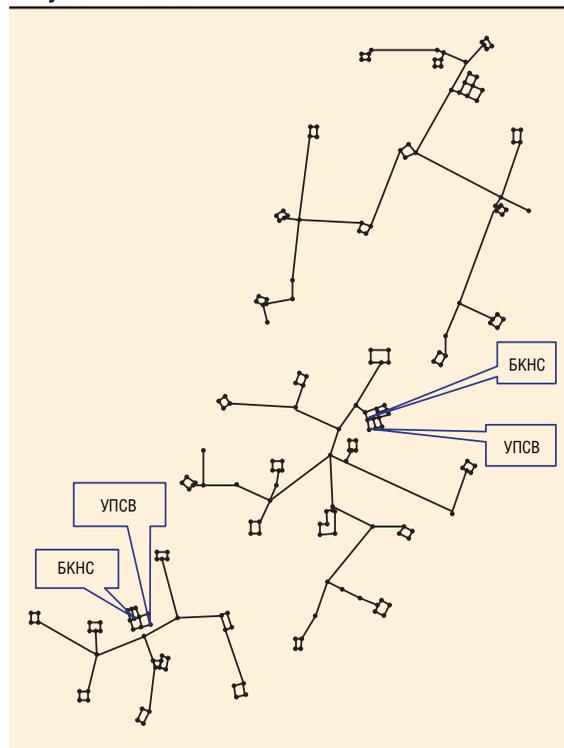
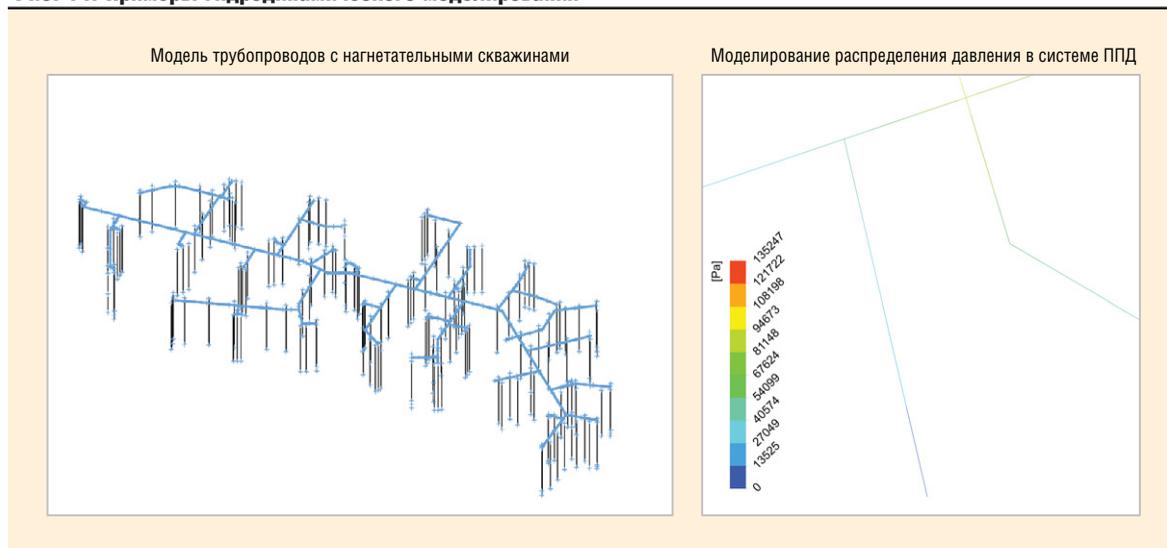


Таблица 5

Сравнение циклонной технологии с РВС			
Техника	Капитальные вложения, млн руб.	Операционные затраты, млн руб.	Параметры на выходе
Резервуар-отстойник типа РВС капстрой	3 РВС-5000 (2 основных, один резервный) 10,3 млн руб. x 3 Строительство основания и фундаментов 3,1 млн руб. x 3 40,2 млн руб.	Услуги очистки дна РВС 3,5 млн руб. в год Утилизация нефтешламов 3 млн руб. в год Амортизация (срок службы – 15 лет) 2,7 млн руб. в год 9,2 млн руб. в год	Механические примеси 30...50 мг/л Нефть в воде 50...90 мг/л Не обеспечивается
Мультициклон компании «АО «ОЗНА» на скиде	2 обечайки гидроциклонов (52 ед. всего) 3 млн руб. x 2 3 обечайки нефтееделителей (156 ед. всего) 8 млн руб. x 3 30 млн руб.	Электроэнергия на гидравлическое сопротивление в 8 атм 1,9 млн руб. в год Утилизация нефтешламов 3 млн руб. в год Срок службы фильтр элементов – 5 лет 1,5 млн руб. в год 6,4 млн руб. в год	Механические примеси 15 мг/л Нефть в воде 50 мг/л Обеспечивается

Рис. 14. Примеры гидродинамического моделирования



достигается за счет сокращения затрат на монтаж и обслуживание оборудования, а также благодаря значительно более высокой скорости фильтрации (рис. 10, 11).

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ЗАКАЧКИ ВОДЫ В ПЛАСТ

Численные методы математического моделирования успешно применяются не только при разработке оборудования, но и при оптимизации системы разработки существующих месторождений.

Так, при модернизации системы ППД на одном из месторождений Восточной Сибири специалисты АО «ОЗНА» успешно разработали математическую модель гидродинамики объекта (табл. 6). Полученная информация стала основанием для смены традиционной схемы ППД с централизованной УПСВ и БКНС на распределенную, что позволило сократить длину трубопроводов с 62 до 50 км и диаметр – с 700 до 426 мм (рис. 12-14).

Экономическая эффективность проведенных мероприятий составила 830 млн руб. (табл. 7). ♦

Таблица 7

Оценка эффекта по капитальным затратам		
Параметры	Традиционная схема ППД	Распределенная схема ППД
Инфраструктура	1 УПСВ + 1 БКНС 62 км труб	3 БКНС с ГНУ + 3 УПСВ 50 км труб
Максимальный объем закачиваемой воды, тыс. м ³ /год	12 000	
Максимальное давление закачки, атм	200	
CAPEX на водоводы высокого давления, млн руб.	750	350
CAPEX на БКНС, млн руб.	200	240
CAPEX на УПСВ, млн руб.	700	300
Логистика, млн руб.	115	45
Итого, млн руб.	1765	935
Экономия CAPEX, млн руб.	-	830 млн руб.