

На правах рукописи



СМИРНОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ
МОНИТОРИНГА ВНУТРИПРОМЫСЛОВЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ
ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

Специальность 25.00.19 - Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тюмень - 2011

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Земсков Юрий Дмитриевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор,
заслуженный нефтяник РФ,
заслуженный строитель РФ,
Малюшин Николай Александрович

доктор технических наук,
Соколов Сергей Михайлович

Ведущая организация: ОАО «Гипротюменнефтегаз», г. Тюмень.

Защита состоится 22 апреля 2011 года в 14⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д212.273.02 при Тюменском государственном нефтегазовом университете по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского 38, зал имени А.Н. Косухина.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тюменского государственного нефтегазового университета по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте 72.

Авторсферат разослан «21» марта 2011 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Подорожников С.Ю.

2014А
6209

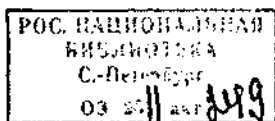
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На современном этапе развития экономическая стабильность и развитие России во многом обеспечиваются нефтяной отраслью ТЭК, поэтому одной из приоритетных задач страны является повышение ее доходности. В настоящее время доходы российского бюджета состоят более чем на треть из поступлений нефтедобывающего сектора, а его развитие подтверждается достижением задач в годовой добыче: 2008 г. – 488 млн т.; 2009 г. – 494 млн т.; 2010 г. – проектная величина в 490 млн т. В планах Минэкономразвития обозначено поддержание объемов добываемой нефти к 2015 г. на уровне 530 млн т. Стабилизация и рост объемов добычи нефти по сравнению с предыдущими годами были достигнуты благодаря росту отбора жидкости, сокращению простаивающего фонда скважин и рациональному применению методов увеличения нефтеотдачи. Однако в настоящее время отмечается сокращение объемов ввода месторождений в эксплуатацию: для Западной Сибири в 2009 году суммарные запасы этих объектов составили 50 млн т. нефти, в то время как добыча в этот же период равнялась 290 млн т.

С учетом приведенной динамики, а также увеличения доли месторождений на III-IV стадиях эксплуатации, приоритетными для ТЭК являются исследования, позволяющие повысить эффективность использования уже имеющегося оборудования и технологий.

Следует отметить, что для повышения эффективности эксплуатации как сети нефтесбора, так и оборудования необходимы инновационные методы контроля, оценки, прогноза и оптимизации (мониторинга) состояния внутрипромысловых трубопроводов, которые позволят учитывать динамику технических показателей труб в технологических расчетах. Таким образом, тема исследований актуальна для современного этапа развития ТЭК.

Цель исследования состоит в разработке эффективной системы мониторинга внутрипромысловых трубопроводов посредством интеграции



информационной системы контроля, методик оценки, прогноза и регулирования технических и технологических параметров нефтепромысловых сетей.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- выявить недостатки существующих методов и средств контроля внутрипромысловых трубопроводов, а также степень их влияния на величины объемных расходов отдельных участков при учете изменения технических параметров труб;

- установить зависимости между величинами объемного расхода жидкости и динамикой технического состояния трубопроводов с учетом параметров и объемов ремонтных работ на заданном прогнозном периоде;

- разработать методику прогноза технических параметров отдельных участков внутрипромысловых трубопроводов, интегрируемую в единый комплекс мониторинга технических и технологических параметров сетей нефтесбора;

- создать математическую модель, позволяющую вывести искомые аналитические зависимости для отдельных участков трубопроводов на прогнозном периоде, и уточнить методики расчетов системы нефтесбора при оптимизации ее параметров с помощью полученных функций.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использованы методы системного анализа, математической статистики, теории случайных функций, конечных элементов, экспертной оценки и статистического моделирования.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- создана методика оценки и прогноза технического состояния внутрипромысловых трубопроводов на основе разработанных алгоритмов сбора и обработки управляемых баз данных неразрушающего контроля;

- установлены аналитические зависимости потерь давления на преодоление гидродинамического сопротивления от объемного расхода и динамики параметров сети нефтесбора в результате проведенных и планируемых ремонтных работ, позволяющие усовершенствовать методики технологических расчетов внутрипромысловых трубопроводов;

- разработаны методики и алгоритмы оценки технического состояния участков трубопроводов на прогнозном периоде, оптимизации параметров и объемов ремонтно-восстановительных работ, технологических режимов эксплуатации, оценки энергозатрат в системе нефтесбора;

- создана комплексная система мониторинга сети нефтепроводов, обобщающая расчетно-информационную базу отдельных методик в единой математической модели с замкнутым циклом оборота данных, позволяющим устранить причины неадекватности расчетов в условиях динамики технических параметров трубопроводной сети.

Практическая значимость. Интегрированная система мониторинга внутрипромысловых трубопроводов позволяет научно-исследовательским и проектным институтам (НИПИ) реализовать операции контроля и оптимизации системы транспорта продукции при эксплуатации месторождения. Привлечение данных из области промышленной безопасности дает возможность повысить точность расчетов, используемых на промысле в настоящее время. Также решается ряд задач документооборота и государственного надзора. НИПИ получает корректные оценки граничных условий эффективных объемных расходов на этапе проектирования разработки месторождения. Вводятся механизмы трехстороннего (нефтегазодобывающие управления (НГДУ), НИПИ, экспертные предприятия (ЭП)) согласования прогнозных технологических показателей при рассмотрении эффективности интенсификации отбора и гидродинамических методов увеличения нефтеотдачи (МУН). Системный подход к оценке и прогнозу состояния внутрипромысловых трубопроводов позволяет

решать задачи повышения энергоэффективности при эксплуатации месторождения.

Апробация работы. Основные положения и выводы диссертации были доложены на отчетных и итоговых научно-технических конференциях всероссийского, регионального и внутривузовского уровня, в том числе на Международной конференции «Актуальные проблемы трубопроводного транспорта Западной Сибири» (ТюмГНГУ, Тюмень, 2008 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы строительства, экологии и энергоснабжения в условиях Западной Сибири» (Тюмень, 2009 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии для ТЭК Западной Сибири» (Тюмень, 2009 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Новые технологии для ТЭК Западной Сибири» (Тюмень, 2008 г.), научно-практических конференциях и семинарах кафедры «Проектирование и эксплуатация нефтегазопроводов и хранилищ» (ТюмГНГУ, Тюмень, 2008, 2009, 2010 гг.), научно-техническом совете ОАО «Институт «Нефтегазпроект» (Тюмень, 2010 г.), научно-техническом совете ОАО «Гипротюменнефтегаз» (Тюмень, 2010 г.).

Публикации. Полученные автором результаты достаточно полно изложены в 6 научных работах, три из которых опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК России, и 1 авторском свидетельстве.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка. Ее содержание изложено на 187 страницах, проиллюстрировано 66 рисунками и 4 таблицами. Библиографический справочник содержит 133 наименования отечественных и зарубежных изданий.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ВЫВОДЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задачи исследования, определена новизна и практическая значимость работы.

В первой главе проведена оценка влияния сети труб на процессы эксплуатации и проектирования разработки месторождения, обоснована проблематика выполнения работ в этой области. Приведен анализ существующих в настоящее время разработок в области диссертационного исследования. Исследуются существующие геоинформационные системы (ГИС) OIS Pipe, Pipesim, современные работы по применению данных инструментального контроля для оценки состояния технических устройств нефтедобывающего промысла.

Показаны современные тенденции развития и использования ГИС. Основным недостатком является узкая направленность для решения определенных производственных или проектных задач. Таким образом, единой информационной среды, содержащей данные о внутрипромысловых трубопроводах, не существует.

Приводится анализ сбора и подготовки данных при оценке состояния внутрипромысловых трубопроводов при эксплуатации нефтяного месторождения. Из практики проведения экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ) следует, что фактическое исполнение отдельных участков труб отличается от значений, обозначенных в паспортной и отчетной документации. Анализ архива заключений экспертизы ЭПБ показал, что отклонения от проектного исполнения трубопроводов встречаются в большинстве случаев (до 95%). В зависимости от величины конструктивных изменений влияние на эффективную пропускную способность будет различным.

В результате анализа данных о техническом состоянии внутрипромысловых трубопроводов (инструментального контроля и паспортно-

отчетной документации) установлено, что негативный эффект характеризуется следующими чертами: нарушения носят системный характер; полученные данные не передаются в дальнейшем в НИПИ; величина выявленного расхождения значительно влияет на корректные значения эффективных технологических режимов, выбор вариантов обустройства, проведения ремонтно-восстановительных работ (РВР).

Впервые показано, что для устранения описанного негативного эффекта целесообразно использовать данные технического контроля экспертных предприятий ПБ, которые обладают высокой точностью, учитывают конечный эффект на заданный участок трубопровода всех физико-химических и технологических факторов, строго регламентированы и периодичны. Разработаны и обоснована эффективность внедрения методов сбора и подготовки полученных данных, а также решение ряда задач ЭП, не приспособленных для эффективной передачи пакетов данных необходимого формата и объема. Для этого создана прецедентная методика проведения работ экспертным предприятием. Ее апробация показала повышение эффективности работ в 1,5 – 2 раза. Впервые обоснована возможность эффективного формирования управляемой базы данных (УБД) инструментального контроля экспертных предприятий промышленной безопасности (ЭП ПБ).

Предложенные в диссертации методы получения информации о состоянии внутрипромысловых трубопроводов ранее не использовались для оптимизации процессов транспорта продукции нефтяного промысла. Их применение позволяет дополнить существующие методы подготовки аналитических данных, достичь качественно новых результатов в реализации ресурсо- и энергосберегающих технологий.

Во второй главе диссертационной работы описано создание межведомственного мониторинга внутрипромысловых трубопроводов в рамках отечественной системы недропользования, который позволил организовать

сбор, подготовку и обработку данных и их преобразование до вида аналитических зависимостей, востребованных при решении задач эксплуатации нефтяного промысла.

Проведенный анализ существующих ГИС, аналогичных по ряду функциональных возможностей, позволил выявить их недостатки. Наиболее близкой по проводимым видам исследований следует признать отечественный продукт OIS Pipe. Однако рассмотренные авторами методики сбора данных предполагают принципиальное разделение этапов инструментального контроля и технического надзора. Анализ в рамках диссертации показывает, что подобный подход неэффективен.

Для реализации этапа сбора данных использованы уже существующие работы ЭП ПБ в нефтедобывающей отрасли. Необходимые для ЭП методики разработаны в первой главе. В работе отмечено, что успешное формирование УБД не может быть осуществлено без взаимодействия с недропользователем, НИПИ, в отсутствие связи с органами государственного надзора. Для решения описанной проблемы в диссертации разрабатывается и обосновывается эффективность создания межведомственного мониторинга, который сможет обеспечить решение этой задачи.

Структурная модель оборота данных в разработанной системе мониторинга представлена на рис. 1.

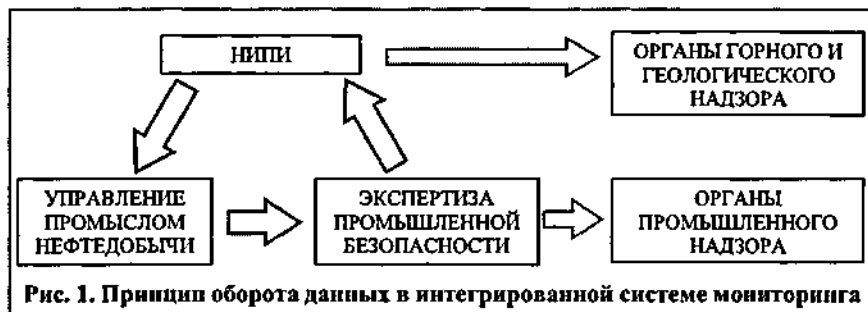


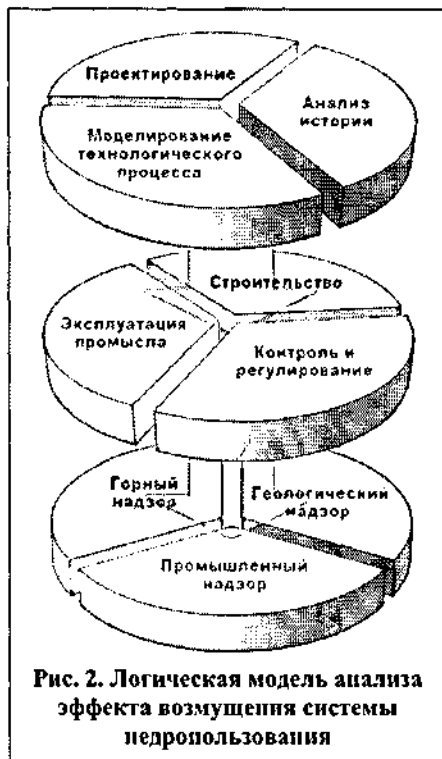
Рис. 1. Принцип оборота данных в интегрированной системе мониторинга

Участвующие стороны (рис. 1) и их взаимосвязь составляют систему недропользования в целом (и ее частных производственных направле-

ний, таких как ПБ). В созданном методе мониторинга впервые установлен циклический оборот данных. Передача данных от этапа ЭП ПБ к НИПИ и далее к НГДУ осуществляется в виде аналитических зависимостей, характеризующих свойства участков труб на прогнозном периоде. Создание, обновление и использование аналитических зависимостей становится новой задачей для системы в целом, а внедрение разработанных методик оптимизации параметров – ее возмущением.

Для обоснования эффекта на отечественную систему недропользования, оказываемого возмущением, использованы методы системного анализа. Разработана логическая модель (рис. 2), которая позволяет описать выполнение существующих в настоящее время задач при эксплуатации нефтедобывающих промыслов. Модель создана с применением логических, теоретико-множественных и лингвистических методов формализованного представления систем. По принятой классификации она представляет собой смешанную иерархическую структуру; обладает тремя слоями организации, на каждом из которых является многоэшелонной системой.

Решение частной задачи осуществляется собственным для нее последовательным прохождением трех из девяти областей (по одной в каждом слое), которые можно определить как (сверху вниз) «проектирование», «испол-



нение», «контроль». В каждом из этих слоев действует собственная много-
эшелонная структура.

Использованные методы формализации сложных систем были изучены и применены (в том числе при изучении производственных процессов) в исследованиях Ивахненко А.Г., Месаровича М., Налимова В.В., Ньюэлла А., Цыпкина Я.З. и др.

В основу созданной в диссертации логической модели были положены исследования отечественных норм недропользования Карасева В.И., Крюкова В.А., Шафраника Ю.К., Шпильмана В.И. Предложенная формализация системы подтверждает частные выводы перечисленных авторов. Логическая модель позволяет провести качественную оценку влияния возмущения системы, что в случае анализа изменения сложных самоорганизующихся систем является достаточным результатом для обоснования его эффективности или неэффективности.

Созданная модель обладает характерными признаками самоорганизующейся системы (подкласс адаптивных и самовосстанавливающихся в зависимости от исследуемого периода времени с 1990 до 2010 гг.). По аналогии с ранее изученными свойствами этих моделей доказывается, что создание и внедрение системы интегрированного мониторинга будут оказывать негэнтропийный эффект.

Таким образом, методами системного анализа рассмотрено развитие системы отечественного недропользования, которое определяется количеством и полнотой решения частных задач в соответствии с предложенной схемой. С помощью принятых методов изучения сложноорганизованных структур автором обосновывается, что разработка нового инструмента в рамках действующих норм дает возможность развития всей системы, а для отдельных участвующих структур полученный эффект превзойдет трудоемкость интеграционных процессов при внедрении.

В третьей главе диссертации разработана специализированная математическая модель, которая позволяет преобразовать собранные данные о техническом состоянии трубопроводов в ряд аналитических функций, актуальных для этапов проектирования разработки и планирования работ эксплуатации месторождения. Полученные зависимости охватывают заданный пользователем временной период прогноза, поэтому большая часть параметров является функциями от времени, приведенными к дискретному виду.

Для реализации функций системы мониторинга с помощью созданной математической модели производятся расчеты, которые можно разбить на три группы:

1. Блок гидравлического расчета выполняется в соответствии с общепринятыми моделями, в основе которых лежат формулы Бернулли, Дарси-Вейсбаха, Лейбензона, Рейнольдса и др. То есть

$$\Delta p = f(D_{\text{внут}}, Q, \rho, \lambda, \xi, \mu), \quad (1)$$

где Δp – перепад давления, Па; $D_{\text{внут}}$ – внутренний диаметр трубопровода, м; Q – объемный расход жидкости, м³/с; ρ – плотность жидкости, кг/м³; λ – коэффициент гидравлического трения; ξ – коэффициент потерь местных гидравлических сопротивлений; μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с.

Особенностями расчета является приведение входящих параметров к набору данных, собираемых специалистами при проведении экспертизы ПБ:

а) внутренний диаметр трубопровода выражается через величины, получаемые в ходе работ ультразвуковой толщинометрии (УЗТ) и визуально-измерительного контроля (ВИК). Учитывая, что данные УЗТ описывают проходное сечение трубопровода как сложную фигуру, отличную от

идеальной окружности, и то, что она будет меняться во времени, $D_{\text{внут}}$ можно считать равным

$$D_{\text{внут}} = D_{\text{внеш}} - 2 \cdot \frac{\sum_{z=1}^n \delta_z(\tau)}{n}, \quad (2)$$

где z – номер замера УЗТ в данном сечении; n – общее количество замеров в данном сечении; $\delta_z(\tau)$ – значение замера в точке УЗТ одного сечения при инструментальном контроле в t -временной период, мм; τ – временной период инструментального контроля, год;

б) коэффициент гидравлического трения λ приводится к виду функции от времени $f(\tau)$. Для этого он определяется по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11(\bar{\Delta} + 0,68/\text{Re})^{0,25}. \quad (3)$$

$\bar{\Delta}$ – относительная шероховатость, определяется как

$$\bar{\Delta} = \frac{k_\tau}{D_{\text{внут}}}, \quad (4)$$

где k_τ – коэффициент шероховатости на τ -й год исследования, м:

$$k_\tau = k_0 + \alpha \cdot \tau_{\text{эксп.лр}} \quad (5)$$

k_0 – коэффициент шероховатости для новых труб;

α – среднегодовой прирост коэффициента шероховатости, мм/год.

В условиях проведения полевых работ при инструментальном контроле ПБ λ может быть найдена экспериментальным путем.

в) учитывая неоднородность перекачиваемой среды, ее плотность $\rho_{\text{см}}$ и динамическую вязкость $\mu_{\text{см}}$ эти параметры приводятся к функциям, зависящим от плотности и динамической вязкости отдельных фаз, а также от их доли в потоке. В случае двухфазного течения это, соответственно,

$$\rho_{\text{см}} = f(\rho_{\text{н}}, \rho_{\text{в}}, \mu_{\text{н}}, \mu_{\text{в}}, V) \quad (6)$$

$$\text{и } \mu_{\text{см}} = f(\rho_{\text{н}}, \rho_{\text{в}}, \mu_{\text{н}}, \mu_{\text{в}}, V), \quad (7)$$

где $\rho_{\text{н}}$, $\rho_{\text{в}}$ – плотность, соответственно, нефти и воды, кг/м³; $\mu_{\text{н}}$, $\mu_{\text{в}}$ – динамическая вязкость, соответственно, нефти и воды, Па·с; V – обводненность продукции, д.ед.

2. Блок расчета отбраковочной величины толщины стенки трубопровода. Задачей этого раздела вычислений является оценка соответствия участка трубы требованиям ПБ. Методика расчета широко используется на предприятиях, деятельность которых связана с эксплуатацией стальных трубопроводов, и утверждена рядом регламентирующих документов государственного и внутреннего контроля. Сопоставление текущей или прогнозной величины с $\delta_{отб}$ производится для всех точек, которыми описывается модель участка. Значение $\delta_{отб}$ определяется функцией от параметров исполнения трубопровода в данном сечении, рабочего давления и коэффициента перегрузки:

$$\delta_{отб} = f(D_{внеш}, P_{раб}, n, R_m), \quad (8)$$

где $\delta_{отб}$ - отбраковочная величина элемента, м; n - коэффициент перегрузки; под R_m обозначены свойства металла.

Особенностью расчета, входящего в созданную математическую модель, является использование не констант, а дискретного ряда значений, которым описывается вариативность $D_{внеш}$ и $P_{раб}$. Таким образом модель позволяет оперировать результатами прогноза технического состояния, производить изменения технологического режима во времени, свойств перекачиваемой среды и т.д. Аналогичным образом в модели могут быть заданы свойства металла.

Определение $\delta_{отб}$ необходимо для сопоставления текущих и прогнозных значений δ , что является неотъемлемой частью прогноза состояния объекта. Для реализации прогноза значения толщин стенок трубопровода в исследуемых точках $\delta_{1..12}$ (с декомпозицией по сечениям) в диссертации разработан метод экстраполяционного прогноза, осуществляется проверка достоверности, дальнейшая интеграция решения участка.

3. Блок расчета объема строительно-монтажных (СМР) и ремонтно-восстановительных работ (РВР). Разработанный в исследовании расчет по выявленным отбракованным элементам определяет объем необходимого

переоборудования (в том числе восстановления, ремонта, замены или укладки нового участка трубопровода). Этот раздел является неотъемлемой частью созданной методики, поскольку позволяет перевести обозначенные объемы работ в одинаковые единицы измерения, которые могут быть использованы для сопоставления различных вариантов РВР. Этими единицами выступают металлоемкость и километраж при СМР или РВР в единицу времени (год). В целях проведения сравнения они могут быть пересчитаны в денежном эквиваленте в соответствии с практикой снабжения конкретного недропользователя.

$$L_{\text{зам}} = \sum l_{\text{сеч}}^{\text{зам}}, \quad (9)$$

где $L_{\text{зам}}$ – сумма километража элементов, подлежащих замене в данном временном интервале (м); $l_{\text{сеч}}^{\text{зам}}$ – длина элементов, подлежащих замене (м). При этом $l_{\text{сеч}}$ – протяженность элемента, определяемая одним сечением.

$$m_{\text{зам}} = L_{\text{зам}} \cdot S_{\text{эле}} \cdot k_{\text{пл}}, \quad (10)$$

где $m_{\text{зам}}$ – тоннаж труб, необходимых для проведения работ, т; $S_{\text{эле}}$ – площадь сечения выбранного элемента при замене, м²:

$$S_{\text{эле}} = \frac{\pi \cdot (D_{\text{внеш}}^2 - (D_{\text{внеш}} - 2 \cdot \delta)^2)}{4}, \quad (11)$$

$k_{\text{пл}}$ – пересчетный коэффициент, выражающий среднюю металлоемкость элемента трубопровода по существующей спецификации, равный 0,0154 (т/м²).

Для перевода единиц металлоемкости и километража при СМР или РВР в денежный эквивалент реализуются дополнительные экономико-плановые расчеты. С этой целью вводится параметр $c_l = \sum_{j=1}^N (D_{\text{внеш}}^j \cdot \delta_{\text{замены}}^j \cdot a, b)$, где c – значение необходимых затрат на реализацию прогнозируемого варианта работ НГДУ, j – номер отдельного отрезка на исследуемом участке трубы, N – общее количество отрезков, по которым задана вариативность $D_{\text{внеш}}$ и $\delta_{\text{замены}}$, $D_{\text{внеш}}$ – внешний диаметр

элемента при проведении РВР (мм), $\delta_{замены}$ – толщина стенки элемента при проведении РВР (мм), a и b – плано-экономические параметры оценки стоимости РВР и СМР (тыс.руб./тн и тыс.руб./км соответственно).

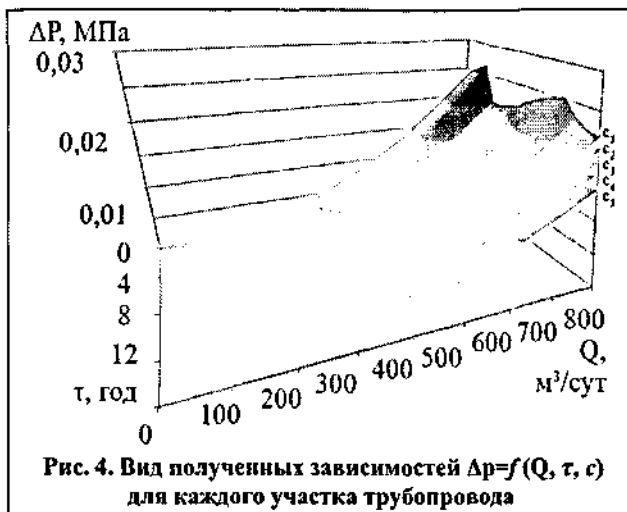
Созданная математическая модель выполняется в нелинейно структурированных блоках расчетов (рис. 3), которые в виде схемы изложены в диссертационной работе. Разработанный комплекс расчетно-аналитических методов реализован в специализированном комплексе программного обеспечения (ПО).

Результатом применения созданной математической модели являются аналитические зависимости, которые имеют вид $\Delta p = f(Q, \tau, c)$ для каждого исследуемого участка трубопровода. Таким образом, впервые созданы функции, которые интегрируют в себе прогноз технического состояния, зависимость потерь давления на преодоление гидродинамического



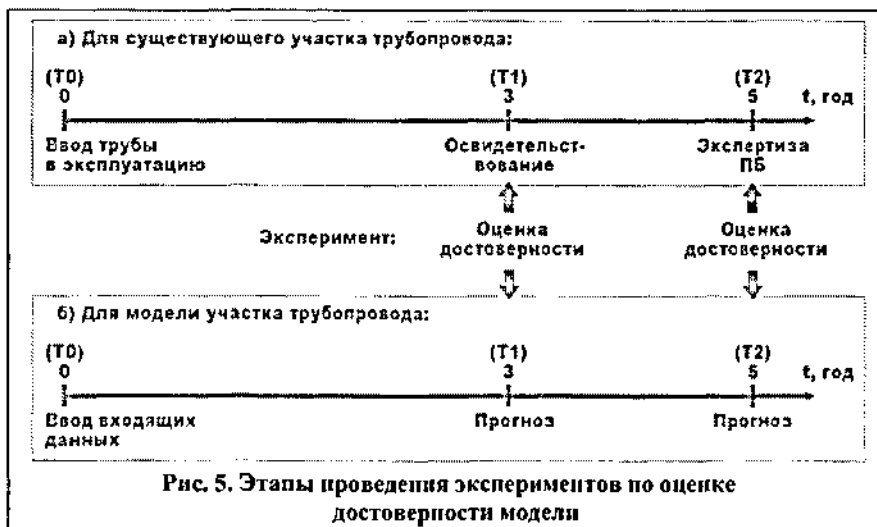
Рис. 3. Структурное представление созданной математической модели

сопротивления от него и технологического режима, а также учет и планирование РВР на заданный период. Зависимость имеет вид «пучка» плоскостей, каждая из которых характеризует эти пара-



метры для различных вариантов технического исполнения или параметров РВР отбракованного участка (рис. 4).

Полученные аналитические зависимости далее используются в комплексной математической модели внутрипромысловых трубопроводов месторождения, которая реализуется по принципу метода конечных эле-



ментов. Они выступают свойствами конечных элементов – участков трубопроводов. В узлах задаются параметры технологического режима (Q, P). Формируется система уравнений, решение которой позволяет выявить оптимальные значения технических и технологических параметров системы.

Оценка степени достоверности созданной информационно-расчетной базы определена методами корреляционно-регрессивного анализа. Был проведен ряд экспериментов, воспроизводящих применение разработанных методик для сравнения с данными инструментального контроля. Их проведение можно формализовать в виде схемы (рис. 5).

Отобранные участки трубопроводов дважды замерялись УЗТ на стадиях освидетельствования и экспертизы ПБ (т. Т1 и Т2). Периоды времени между Т0, Т1, Т2 составляют 2-3 года, поэтому оценка достоверности производилась (с помощью расчета критерия Фишера) в несколько шагов: 1) на отрезке Т0-Т1; 2) на отрезке Т0-Т2; 3) с итерационным приближением модели по полученным данным инструментального контроля в точке Т1 на отрезке Т0-Т2. В результате проведенного анализа обосновано, что созданные математическая модель и методики ее использования с достоверной вероятностью 95% описывают изучаемые процессы.

Таким образом, в третьей главе диссертационной работы создана математическая модель, которая позволяет получить искомую аналитическую функцию $\Delta p = f(Q, \tau, c)$ для каждого исследуемого участка трубопровода. При этом полностью реализуются функции по сбору и подготовке технической информации ЭП ПБ. Зависимости позволяют осуществить задачи технической и технологической оптимизации. Достоверность математической модели обоснована методами корреляционно-регрессивного анализа.

В четвертой главе разработана расчетно-информационная база системы интегрированного мониторинга внутрипромысловых трубопроводов нефтяного месторождения.

Задача оптимизации гидравлических систем выходит за рамки задач диссертационной работы. Среди отечественных исследователей она полноценно освещена в работах Стрекалова А.В. Также существует и профильное ПО для решения этой задачи при имеющихся базах данных.

В рамках адаптации созданной системы мониторинга к выполнению производственных задач разработаны следующие методики:

I. Оптимизация толщины стенки участка трубопровода при РВР. При создании аналитических зависимостей каждого участка трубопроводов техническая вариативность задается параметром $\delta_{\text{замены}}$. Оценивается совокупность затрат на РВР исследуемого участка:

$$c_j(\delta_{\text{замены}}) = \sum_{i=1}^T (m_i(\delta_{\text{замены}}) \cdot a + L_i(\delta_{\text{замены}}) \cdot b), \quad (12)$$

где c_j – суммированные затраты на РВР j -го участка линии при значении $\delta_{\text{замены}}$, руб.; $\delta_{\text{замены}}$ – толщина стенки труб при замене участка, мм; m_i – металлоемкость необходимых закупок оборудования в i

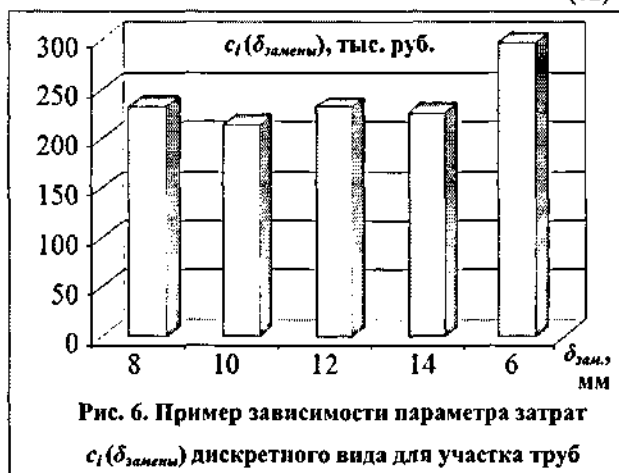


Рис. 6. Пример зависимости параметра затрат $c_j(\delta_{\text{замены}})$ дискретного вида для участка труб

год прогноза, т; L_i – длина участков замены линии в i год прогноза, м; a и b – коэффициенты (или функции), определенные нормами планово-экономических расчетов НГДУ. Параметр $\delta_{\text{замены}}$ принимает вид ряда дискретных значений в соответствии со спецификацией труб, из которого выбирается вариант с минимальными затратами ($c_j \rightarrow \min$, рис. 6).

При апробации на Варьеганском месторождении (при исследованиях внутрипромысловых трубопроводов ЦДНГ-2, ЦДНГ-6, ЦДНГ-9) плани-

руемая экономия на прогнозный период (15 лет) составила 2000 тыс.руб./км (осредненный параметр). При протяженности линий нефтепромысловых трубопроводов около 300 км это значение будет 600 млн руб.

II. Применение детерминированного мониторинга внутрипромысловых трубопроводов впервые дало возможность произвести техническую оптимизацию процесса переоборудования сетей труб при переводе скважин из нагнетательного в добывающий фонд. Это достигается обратным решением задачи в пункте I: необходимо подобрать такое исполнение участка труб, чтобы их износ на период переоборудования был максимален. Учитывая это, получим уравнение

$$c_i(\delta_{\text{замены}}) = \sum_{i=1}^T (m_i(\delta_{\text{замены}}) \cdot a + L_i(\delta_{\text{замены}}) \cdot b) - \sum_{i=1}^T \Delta\tau_i (\Delta g; k_{\text{дисконт}}) \quad (13)$$

где параметр Δg определяет разницу в стоимости эксплуатации линии, руб; уложенной несколько ранее технологической необходимости $\Delta\tau_i$, год; а также потери от более раннего привлечения капитальных средств, выраженных через коэффициент дисконтирования ($k_{\text{дисконт}}$).

Также вводится вариативность прогноза объемного расхода (через временное согласование повышения $P_{\text{раб}}$ или снижения $Q_{\text{проект}}$ в рамках созданной интеграции деятельности ЭП и НИПИ). Тогда выполнение задачи сведется к уравнению $c_i(\delta_{\text{замены}}; Q_{\text{прогноз}}) \rightarrow \min$.

Исследования на примере Варьеганского месторождения показали экономию в 5-10 млн руб. для одной операции.

III. С вводом постоянно действующего мониторинга внутрипромысловых трубопроводов появилась возможность оценивать изменение границ их эффективных технологических режимов во времени. Учитывая специфику эксплуатации насосного оборудования, целесообразным становится корректировать режимы его работы (и в т.ч. выбор модели).

Оценка эффективности энергосбережения в диссертационной работе проведена путем анализа необходимых затрат на электроэнергию. В созданной математической модели для существующих участков трубопроводов были получены два вида аналитических зависимостей: без учета изменения технического состояния (индекс $\delta=const$) и с учетом этой динамики (индекс $\delta \neq const$). Сравнительная функция будет

$$\sum_{j=1}^N |\Delta p_{\text{тр}}^{\delta=const} - \Delta p_{\text{тр}}^{\delta \neq const}| = \sum_{j=1}^N f(A)(f(\delta_{\delta=const}) - f(\delta_{\delta \neq const})), \quad (14)$$

где j и N – номер и общее количество обследованных участков. Потери электроэнергии будут равны сумме дополнительных сопротивлений, выраженных через напор столба жидкости $\sum_{j=1}^N |\Delta h_{\text{тр}}^{\delta=const} - \Delta h_{\text{тр}}^{\delta \neq const}|$, умноженной на затраты электроэнергии ЭЦН. При проведении исследований на Варьганском месторождении результат оценки показал потерю электроэнергии на 45 млн.руб. в денежном эквиваленте на прогнозный период.

IV. В диссертации разработаны методики технологической оптимизации параметров добычи нефти с учетом влияния текущего и прогнозного состояния системы внутрипромысловых трубопроводов. Задача технологической и комплексной оптимизации в диссертационной работе формализована методом конечных элементов.

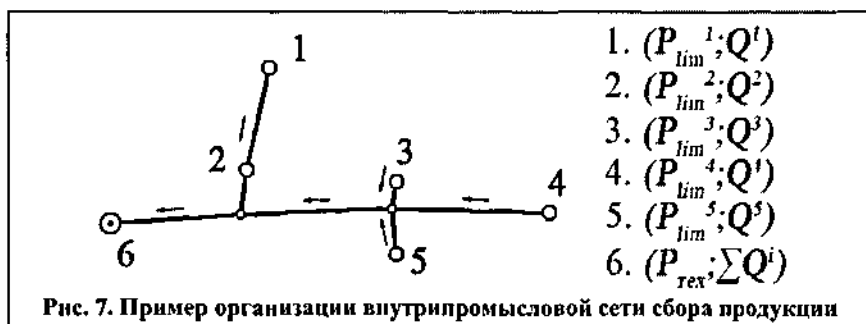


Рис. 7. Пример организации внутрипромысловой сети сбора продукции

Каждый элемент комплексной модели (рис. 7) представляет собой исследованный участок внутрипромысловых трубопроводов, для которого получены зависимости вида $\Delta p = f(Q, \tau, c)$ (рис. 4).

Узловыми значениями являются параметры удельного расхода и давления в этой точке ($P; Q$). Тогда решение задачи комплексной оптимизации, описанной в диссертационной работе, сведется к решению системы уравнений

$$\begin{cases} Q^n \rightarrow Q_{\text{проект}}^n \\ P_{\text{min}} \rightarrow \text{min}; P_{\text{min}} \geq P_{\text{технол}}, \\ P_{\text{lim}}^n \rightarrow \text{max}; P_{\text{lim}}^n \leq P_{\text{раб}} \end{cases} \quad (15)$$

где $Q_{\text{проект}}^n$ - проектная величина дебитов скважин, рациональная с точки зрения отбора жидкости из пласта, м³/с; P_{min} - давление в точке сбора продукции, Па; $P_{\text{технол}}$ - технологический минимум давления в точке приема продукции, Па; P_{lim}^n - давление в узлах подачи жидкости в сеть сбора продукции, Па; $P_{\text{раб}}$ - максимальное рабочее давление линий, Па.

В случае оценки максимальной пропускной способности на стадии работ проектирования разработки месторождения система примет вид

$$\begin{cases} Q^n \rightarrow \text{max} \\ P_{\text{min}} \rightarrow \text{min}; P_{\text{min}} \geq P_{\text{технол.}} \\ P_{\text{lim}}^n \rightarrow \text{max}; P_{\text{lim}}^n \leq P_{\text{раб}} \end{cases} \quad (16)$$

Включение условия

$$\sum_{t=1}^r m_{\text{зам}}(P_{\text{раб}}, \delta_{\text{зам}}) \rightarrow \text{min}, \quad (17)$$

где $m_{\text{зам}}$ - металлоемкость укладываемых участков линий, т (при ремонте или монтаже), в системы уравнений (15, 16) позволит произвести комплексную оптимизацию.

В четвертой главе разработаны методики и алгоритмы, которые адаптируют созданную систему мониторинга к выполнению частных производственных задач технической и технологической оптимизации. Таким образом сформирована расчетно-информационная база, обеспечивающая ее эффективное использование и развитие на основе работ НИПИ и НГДУ.

В заключении подведены итоги диссертационного исследования, сформулированы общие выводы, предложены перспективные направления работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Создана методика оценки и прогноза технического состояния внутрипромысловых трубопроводов, учитывающая изменение параметров трубопроводов посредством экстраполяции динамики данных неразрушающего контроля с учетом граничных условий эксплуатации труб.

2. Усовершенствованы существующие методики расчета технологических режимов эксплуатации и параметров ремонтных работ внутрипромысловых трубопроводов: с помощью созданной математической модели учтено изменение технического состояния трубопроводов во времени и пространстве посредством установления аналитической зависимости $\Delta p = f(Q, \tau, l, D_{\text{внеш}}, \delta, \zeta, \lambda, B, c)$ каждого участка труб.

3. Разработаны методики и алгоритмы оценки технического состояния участков труб на прогнозном периоде, оптимизации параметров и объемов ремонтно-восстановительных работ, технологических режимов эксплуатации, оценки энергозатрат системы трубопроводов.

4. Создана комплексная система мониторинга сети промысловых нефтепроводов, обобщающая расчетно-информационную базу отдельных методик в единый замкнутый цикл оборота данных. При этом корректность расчета при прогнозе потерь напора на трение в наиболее распространенном случае (до 95 % замеров объекта) повышена в среднем в 4 раза, а в отдельных случаях в 20-25 раз (2-3 % участков трубопроводов).

5. Полученные результаты оценки границ эффективных объемных расходов жидкости адаптированы для использования при обосновании рациональности увеличения отборов на Варьеганском месторождении, что позволило планировать дополнительную добычу до 40 – 55 тыс. т нефти в год (при обводненности продукции более 90%). С учетом специфики данного промысла, комплексе разработанных методик технической оптимизации даст возможность сэкономить до 600 млн. руб. и повысить экономию электроэнергии на 45 млн руб. за прогнозный период.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах, рекомендованных ВАК:

3-3209

2011А
6209

1. Мониторинг надежности производственных и технологических процессов сбора и подготовки продукции нефтяных промыслов / А. Н. Смирнов и [др.] // Известия вузов. Нефть и газ. – 2010. – № 3. – С. 74-77.
2. Смирнов А. Н. Мониторинг сети нефтесбора при проектировании разработки месторождения / А. Н. Смирнов, Ю. Д. Земенков, А. Н. Шиловалов // Известия вузов. Нефть и газ. – 2010. – № 1. – С. 41-48.
3. Смирнов А. Н. Оценка системы сбора продукции при проектировании разработки нефтяных месторождений / А. Н. Смирнов // Вестник ЦКР Роснедра. – 2009. – № 5. – С. 54-57.

В других издательствах:

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010611236 Российская Федерация. Комплекс мониторинга состояния трубопроводов «PromEx. Tubing» / Смирнов А. Н.; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТюмГНГУ. - №2009617122; заявл. 15.12.2009; зарегестр. 11.02.2010; опубл. 20.06.2010, Бюл. Пр. ЭВМ БД ТИМС № 2 (71 часть II). – С. 294.
5. Смирнов А. Н. Метод расчета оптимальной толщины труб промысловых коллекторов с использованием данных экспертизы промышленной безопасности / А. Н. Смирнов // Современные технологии для ТЭК Западной Сибири: сб. научн. тр. – Тюмень, 2009. – С. 123-127.
6. Смирнов А. Н. Прецедентная система проведения экспертизы в нефтегазодобывающей отрасли / А. Н. Смирнов // Новые технологии для ТЭК Западной Сибири: сб. научн. тр. – Вып. 3. – Тюмень, 2008. – С. 302-307.
7. Смирнов А. Н. Рационализация баз данных / А. Н. Смирнов, Н. Д. Александров // Технадзор. – 2010. – № 4. – С. 26.

Подписано в печать 17.03.2011. Формат 60x90 1/16. Усл. печ. л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ № 58.

Типография библиотечно-издательского комплекса ТюмГНГУ
625039, Тюмень. ул. Киевская, 52.