

На правах рукописи

ТАНЕЕВ Артур Руфхатович

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ДОБЫЧИ НЕФТИ
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 05.13.01

«Системный анализ, управление и обработка информации»

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа 2004

Работа выполнена на кафедре технической кибернетики
в Уфимском государственном авиационном техническом университете

Научный консультант

д-р техн. наук, проф.

ИЛЬЯСОВ Барый Галеевич

Официальные оппоненты

д-р техн. наук, проф.

ЮСУПОВА Нафиса Исламовна

канд. техн. наук

ДЬЯЧУК Иван Алексеевич

Ведущая организация

Уфимский государственный
нефтяной технический университет

Защита диссертации состоится «28» декабря 2004 г.
в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.288.03
Уфимского государственного авиационного технического университета
по адресу: 450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12, УГАТУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан «___» ноября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.



Миронов В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Нефтяная и газовая промышленность Российской Федерации является одной из наиболее важных отраслей экономики, обеспечивающей значительную долю доходов бюджета страны. Из-за сложных климатических условий, в которых проживает большая часть населения, отрасль играет стратегическую роль в энергообеспечении страны. Нефтяная, газовая и нефтеперерабатывающая промышленность обеспечивает не только энергетические потребности производства и жилищно-эксплуатационного хозяйства, но также обеспечивает потребности автотранспорта в горюче-смазочных материалах. Этот факт, учитывая огромные пространства нашего государства, также играет стратегическую роль.

Несмотря на некоторый рост добычи нефти в последние годы, перед отечественными нефтедобывающими компаниями возникает перспектива постепенного истощения нефтяных месторождений. Основная доля добываемой, нефти неизбежно переместится от давно эксплуатируемых гигантских месторождений к небольшим и малым месторождениям, а обводненность продукции будет возрастать по мере истощения запасов нефти.

На старых месторождениях все большее количество скважин будет переходить в категорию малодобитных (производящих мало жидкости), в результате чего возрастает роль маломощного насосного оборудования - штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ)

При добыче нефти из малодобитных скважин чаще всего устанавливают ШСНУ определенной производительности, однако по мере истощения месторождения и снижения дебита скважины (количество компонента смеси, добываемого за определенный срок времени) производительность насоса оказывается завышенной. Это приводит к росту затрат энергии и дополнительному износу оборудования.

В данный момент не существует способа плавного регулирования производительности данного типа насосов. Для регулирования производительности используется так называемая периодическая откачка, когда ШСНУ запускается только периодически. Однако это все равно приводит к установке электроприводов повышенной мощности, так как пусковые нагрузки установки многократно превышают рабочие. Из вышесказанного следует, что в технологическом процессе добычи нефти требуется применить регулируемые по производительности маломощные насосные установки. На их основе возможно построение системы автоматического управления добычей нефти для отдельной скважины и системы автоматического управления группой скважин. Это позволит в перспективе снизить участие человека в процессе добычи нефти, произвести оптимизацию технологического процесса по необходимым критериям и параметрам, значительно повысить эффективность добычи нефти, понизить заявленную

мощность, износ оборудования,

БИБЛИОТЕКА

С. Петербург

09 300-7-1086

уменьшить количество простоев. Это значительно сократит себестоимость добываемой нефти.

Решение данной задачи в рамках самого распространенного режима добычи нефти - жесткого водонапорного режима - требует регулируемого в широких пределах насосного оборудования, как в системе добычи нефти (ДН), так и в системе поддержания пластового давления (ППД).

Построение системы автоматического управления группой скважин невозможно без создания адекватной математической модели технологического процесса добычи нефти. В 1856 Дарси предложено соотношение между скоростью фильтрации и градиентом давления в каждой фазе. В работах А.Н. Тихонова и А.А. Самарского рассмотрены методы решения уравнений в частных производных, в том числе и методом конечно-разностных аппроксимаций, которые могут быть приложены к физическим процессам, происходящим в нефтеносном пласте. Карслоу и Егер в 1959 году предложили «уравнение диффузии», являющееся комбинацией уравнения материального баланса и закона Дарси. Из отечественных ученых в наше время данными фильтрационными процессами успешно занимается В.А. Байков. Управление распределенными объектами рассмотрено в работах А.Г. Бутковского, Л.С. Понтрягина, Р. Белманна, Н.Н. Красовского, Т.К. Сиразетдинова в 60-70 годах XX века. М.В. Мееровым в 1965 году рассмотрена возможность организации системы автоматического управления добычей нефти, А.Г. Бутковским, кроме этого, в 1965 году ставилась задача оптимизации добычи нефти, но дальнейшего развития их работы не получили.

Цель работы

Разработать основы построения систем автоматического управления добычей нефти, включая структуру, модели, алгоритмы и программное обеспечение на примере управления как отдельной скважиной, так и группой скважин, а также оценить эффективность предложенных систем методом математического моделирования.

Задачи исследования

Для достижения поставленных целей требуется решить следующие задачи:

1. Построить локальную систему автоматического управления (САУ) для отдельной добывающей скважины. Разработать модель и алгоритм управления станком-качалкой как исполнительным механизмом данной локальной САУ.
2. Разработать на основе существующей модели физических процессов в пласте упрощенную модель нефтеносного пласта как объекта управления.
3. Построить многосвязную систему автоматического управления (МСАУ) группой скважин.

4. Выбрать структуру регуляторов и алгоритмы многосвязного управления группой скважин из условия обеспечения устойчивости функционирования системы.

5. Провести моделирование работы данной МСАУ группой скважин. Оценить практическую ценность полученных результатов и перспективы развития предложенных систем управления.

Методы решения

Для решения поставленных в работе задач использовались методы системного анализа, теории управления, теории имитационного моделирования, теории аппроксимации. Использовались программные средства Matlab 6.5 и Simulink 5.0.

На защиту выносятся:

1. Математическая модель регулируемого станка-качалки штанговой скважинной насосной установки нового типа (патент RU № 2160852).

2. Упрощенная модель нефтеносного пласта как многосвязного объекта управления, основанная на аппроксимации физических процессов фильтрации, происходящих в пласте.

3. Структура САУ и алгоритмы управления для отдельной добывающей скважины.

4. Структура САУ и алгоритмы управления для группы добывающих и нагнетательных скважин при жестком водонапорном режиме добычи нефти.

5. Методика анализа устойчивости САУ группой скважин частотным методом.

Научная новизна результатов

1. Впервые для станка-качалки *нового* типа (патент RU № 2160852), который отличается пониженным потреблением энергии, разработана структура САУ и предложены алгоритмы управления.

2. Новизна предложенной упрощенной математической модели нефтеносного пласта заключается в том, что модель получена в результате аппроксимации нелинейной распределенной математической модели пласта (а также обработки экспериментальных данных) описываемой уравнениями в частных производных, линейной многосвязной моделью с элементами чистого запаздывания, которая в дальнейшем взята за основу математической модели нефтеносного пласта как объекта управления.

3. Новизна предложенной структуры МСАУ определяется новизной представления нефтеносного пласта как многосвязного объекта управления с чистым запаздыванием, а также формированием подсистем автоматического управления пластовыми давлениями в точках расположения нагнетательных и добывающих скважин.

4. Новизна методики анализа устойчивости МСАУ группой скважин заключается в том, что впервые применён частотный метод для оценки устойчивости совместно функционирующей группы нагнетательных и добывающих скважин.

Практическая ценность полученных результатов

1. Практическая ценность полученной упрощенной модели нефтеносного пласта заключается в том, что расчет распределения давления по ней возможен в реальном времени даже для контроллеров группы скважин, не обладающих значительной вычислительной мощностью. Это позволит внедрить данную модель в САУ добычи нефти без значительных капитальных вложений.

2. Предложенные методики анализа устойчивости позволяют аналитически оценить устойчивость МСАУ добычи нефти и выбрать из этого условия режимы совместного функционирования нагнетательных и добывающих скважин.

3. Результаты моделирования позволяют оценить работоспособность МСАУ группы скважин, подтверждают полученные результаты и могут быть использованы при проектировании МСАУ группы нагнетательных и добывающих скважин.

Апробация работы и публикации

Основные положения и результаты, полученные в работе, докладывались на следующих научно-технических конференциях:

- Молодежной научно-технической конференции «Управление в технических системах». Уфа, 2001.
- Научно-техническом совещании «Образовательные программы и технологии подготовки кадров в области информатики и вычислительной техники в технических университетах». Уфа, 2002.
- VI международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении». Санкт-Петербург, 2002.
- Международной молодежной конференции «XXIX Гагаринские чтения». Москва, 2003
- Международной научно-технической конференции «Computer Science and Information Technologies». Уфа, 2003.
- Первой всероссийской международной научно-технической конференции с международным участием «Мехатроника автоматизации управление». Москва, 2003.
- Международной научно-практической конференции «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MatLAB». Москва, 2004.

Основные результаты диссертационной работы отражены в 12 публикациях, в том числе в виде 4 научных статей, в 7 сборниках материалов конференций и одном патенте.

Структура работы

Диссертационная работа изложена на 154 страницах машинописного текста и включает в себя введение, четыре главы основного материала, заключение; рисунки на 34 страницах, библиографический список из 106 наименований на 10 страницах и приложение на 6 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследований, формулируется цель работы и задачи исследования, обсуждается новизна и практическая значимость выносимых на защиту результатов работы.

В первой главе показана актуальность разработки локальной системы автоматического управления (ЛСАУ) отдельной нефтедобывающей скважиной и многосвязной системы автоматического управления (МСАУ) группой нефтедобывающих скважин.

Ожидаемое уменьшение добычи нефти на больших месторождениях будет, в основном, происходить из-за падения пластового давления и резкого обводнения. Все большую роль будет играть добыча нефти не на старых гигантских залежах, а на больших, средних и малых месторождениях. Поэтому будет возрастать роль малодебитных (производящих небольшое количество нефти) скважин.

Выявлена тенденция автоматизации нефтедобычи, которая направлена на повышение уровня автоматизации и информатизации всего процесса добычи, начиная с нижнего, технологического, и кончая верхним, управляющим, уровнями иерархии производства. Этот процесс продолжается и в наше время, переходя на качественно новый этап - полной информатизации и широкого внедрения цифровых устройств.

В результате анализа существующих систем автоматизации показано, что существующие автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) нефтедобычи не располагают возможностью воздействовать на объект управления (нефтеносный пласт) с целью достижения желаемых технологических параметров и поэтому их нельзя причислить к системам автоматического управления (САУ).

Основной причиной невыполнения функций управления технологическими процессами нефтедобычи является отсутствие технических средств, которые могли бы играть роль исполнительного механизма, влияющего на режим нефтедобычи.

Выполнение функций регулирования технологических режимов работы глубинно-насосной установки в соответствии с текущими параметрами сква-

жины возможно при условии применения наземного привода станка-качалки, обладающего высокой степенью управляемости.

Для построения САУ нефтедобычей для группы нагнетательных и добывающих скважин при жестком водонапорном режиме требуется создание удобной в практическом отношении математической модели объекта управления и исполнительного механизма (регулируемого станка-качалки нового типа), которая позволила бы осуществить построение и проектирование САУ, а также могла бы быть использована при создании современных интеллектуальных САУ с использованием оптимальных и адаптивных алгоритмов управления.

Во второй главе производится системный анализ потребностей нефтедобывающей промышленности и обосновывается необходимость создания удобных математических моделей специального регулируемого по производительности станка-качалки и нефтеносного пласта как источника нефтепродукта.

В результате системного анализа выявлено, что задача оперативного управления работой нефтедобывающего месторождения на основе собранных данных решается путем использования двухпозиционных устройств в режиме «включено - выключено». Из-за отсутствия системы бесступенчатого регулирования производительности глубинных насосов и системы поддержания пластового давления невозможно согласовать технологический режим откачки жидкости с дебитом скважины, а также организовать сложные стратегии добычи нефтеносной жидкости при искусственном водонапорном режиме.

Согласно принципу управляемости система автоматического управления должна быть построена таким образом, чтобы она давала возможность целенаправленного воздействия на любую из переменных состояния. Эта задача достижима только при наличии плавного регулирования производительности насосного оборудования.

Анализ материалов по существующим системам автоматизации нефтедобычи показывает, что элементы системы управления в общепринятом в теории автоматического управления смысле присутствуют лишь на верхних уровнях иерархии предприятия (нефтегазодобывающее управление, объединение), образуя информационную систему управления, и отсутствуют на нижнем, технологическом уровне.

При существующем подходе к созданию систем управления процессом нефтедобычи не выполняются системные принципы: управляемости (в настоящее время скважина и насосное оборудование являются неуправляемыми или не полностью управляемыми, кроме включения-выключения при периодической откачке/закачке); контролируемости (состояние и режимы работы технологического оборудования и нефтеносного пласта не могут контролироваться в реальном масштабе времени); реализуемости (не внедрены технические средства, позволяющие регулировать производительность насосно-

го оборудования); обратной связи (принятие решений осуществляется по накопленной истории разработки, а не по текущему состоянию).

При организации оптимального и адаптивного управления процессом добычи нефти и проектировании систем управления добычей нефти требуется создание удобной математической модели нефтеносного пласта, которая позволила бы производить расчеты давления на существующих маломощных (в вычислительном плане) контроллерах нефтедобывающего оборудования.

Существующие математические модели пласта (например, модель «черной нефти» (black oil model)) требуют значительных вычислительных затрат и предназначены, в основном, для анализа схемы разработки месторождения, а не для оперативного управления в реальном времени.

Поэтому, исходя из так называемого уравнения диффузии или пьезопроводности, в результате аппроксимации была разработана упрощенная модель нефтеносного пласта, описывающая только влияние между отдельными нагнетательными и добывающими скважинами. Влияние какой-либо скважины на другую по давлению пропорционально ее текущему расходу жидкости q , (положительно для нагнетательных скважин, отрицательно для добывающих скважин) и постоянной D , которая, в свою очередь, зависит от расстояния между скважинами, проницаемости межскважинной среды, геометрии призабойной зоны и прочих параметров.

Соответствующая математическая модель имеет вид:

$$\begin{cases} \Delta P_1 = D_{12}\Delta q_2 + D_{13}\Delta q_3 + \dots + D_{1k}\Delta q_k, \\ \Delta P_2 = D_{21}\Delta q_1 + D_{23}\Delta q_3 + \dots + D_{2k}\Delta q_k, \\ \dots \\ \Delta P_k = D_{k1}\Delta q_1 + D_{k2}\Delta q_2 + \dots + D_{k,k-1}\Delta q_{k-1} \end{cases}$$

или

$$\Delta P_i = \sum_{j=1, j \neq i}^k D_{ij}\Delta q_j.$$

Эта формула описывает только конечные распределения давлений в пласте. В результате рассмотрения переходных процессов при скачкообразном изменении расхода жидкости выявлено (по экспериментальным данным и в результате моделирования процессов фильтрации), что переходный процесс хорошо аппроксимируется функцией следующего вида:

$$\Delta P_i(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^k D_{ij} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_i}}\right) \Delta q_j.$$

Это выражение можно записать в дифференциальной форме:

$$T_i \frac{d\Delta P_i}{dt} + \Delta P_i = \sum_{j=1, j \neq i}^k D_{ij}\Delta q_j.$$

Пользуясь этим уравнением, можно создать математическую модель нефтеносного пласта как многосвязного объекта управления (рис. 1) при жестком водонапорном режиме эксплуатации месторождения.

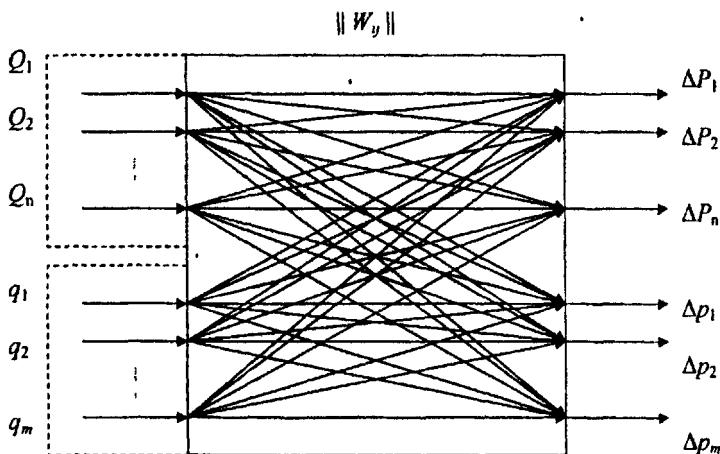


Рис.1

Заглавными латинскими буквами Q_i обозначена производительность насосного оборудования добывающих скважин и ΔP_i - изменение давления на добывающих скважинах, q_j и Δp_j - производительность насосного оборудования нагнетательных скважин и изменение давления на них, соответственно.

Каждая внутренняя связь ij представляет собой инерционное звено с чистым запаздыванием с передаточной функцией вида: $W_{ij}(s) = e^{-\tau} \frac{D}{Ts+1}$. Параметры D и T определяются из модельных или натуральных экспериментов. Нефтеносный пласт описывается матричной передаточной функцией с чистым запаздыванием. Запаздывание вводится эмпирически на основании того факта, что перераспределение давления в пласте занимает значительное время.

В качестве управляющего воздействия на объект управления при жестком водонапорном режиме добычи нефти может быть принята как производительность насосов нагнетательных скважин, так и производительность насосов добывающих скважин.

На основе такого представления объекта управления предлагается структура многосвязной системы автоматического управления добычей нефти из группы скважин (рис. 2).

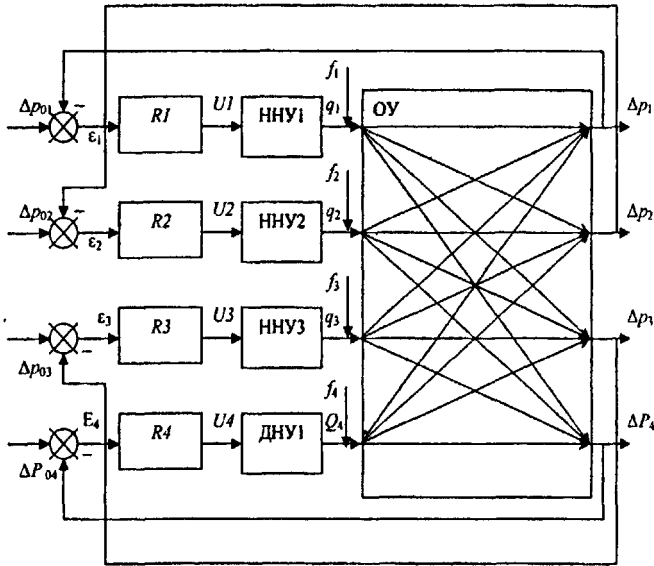


Рис.2

Здесь $R1 - R4$ - регуляторы, ДНУ - нефтедобывающая установка, ННУ - нагнетательная насосная установка, ОУ - объект управления - нефтеносный пласт, f - возмущения, воздействующие на параметры пласта. На входе системы задано необходимое распределение давлений в пласте.

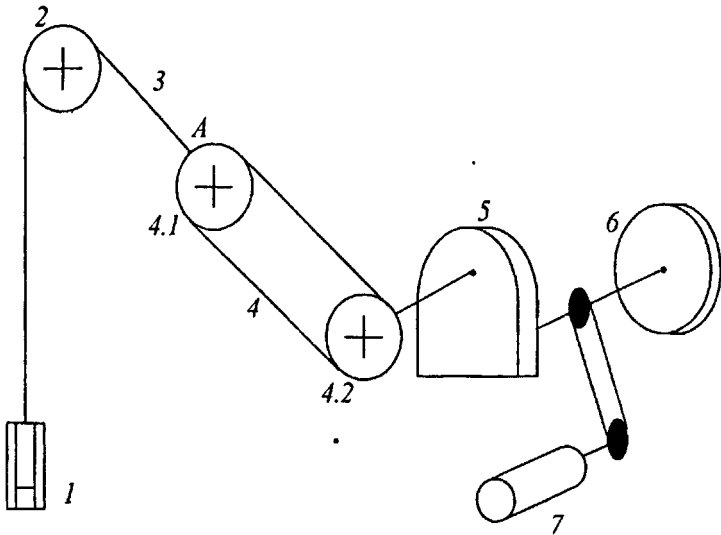
Также в данной главе разработана математическая модель специального регулируемого экспериментального станка-качалки (рис. 3).

В начале рабочего цикла (колонна штанг опущена) электропривод 7 через редуктор 5 вращает маховик 6 и барабаны 4.1 и 4.2, соединенные цепью 4, и с помощью троса 3, соединенного с цепью 4 в точке А, поднимает колонну штанг в верхнее положение. В точке А происходит перемена направления движения штанг насоса.

Рабочий процесс начинается с опускания колонны штанг под действием гравитационных сил. Потенциальная энергия штанг при опускании преобразуется в кинетическую энергию вращения маховика 6.

Кинетическая энергия вращения маховика, запасённая в период опускания колонны штанг, используется для поднятия груза в период хода вверх.

Потери, неизбежные при движении всех элементов глубинно-насосной установки, не позволяют поднять штанги на исходную высоту только за счёт энергии маховика.



1 - насос, 2 - блок, 3 - трос, 4 - цепь, 4.1 и 4.2 - барабаны,
5 - редуктор, 6 - маховик, 7 - электропривод

Рис. 3

Когда кинетическая энергия маховика иссякает, электропривод 7 продолжает подъём штанг до достижения ими первоначального положения, тем самым происходит компенсация потерь в колебательной системе.

В результате математического моделирования данного станка-качалки предложен наиболее выгодный в энергетическом плане алгоритм управления электродвигателем и определены пределы регулирования частоты качаний насоса:

$$f = \frac{1}{T_c + t_n},$$

где T_c — константа для каждого отдельно взятого станка-качалки и насосного оборудования, t_n — время подъема электроприводом штанг и насоса с жидкостью. Изменяя t_n , можно производить регулирование частоты качаний f в пределах от $1/T_c$ до полного останова.

Далее предлагается структура локальной системы автоматического управления добычей нефти из одной скважины (рис. 4) (следающая система, позволяющая согласовать скорость откачки пластовой жидкости с реальным дебитом скважины). $H_{до}$ — заданный (расчетный) динамический уровень жидкости в скважине, ε — ошибка управления, U — управляющее воздейст-

вие регулятора (контроллера), f - частота качаний насоса, Q — производительность насоса, H_0 — текущий динамический уровень жидкости в скважине, D - датчик динамического уровня (например звукометрический).



Рис.4

В третьей главе производится выбор регуляторов и алгоритмов управления для локальной системы автоматического управления добычей нефти из одной скважины и для многосвязной системы автоматического управления добычей нефти из группы скважин.

Предложены линейные и нелинейные регуляторы и алгоритмы, а также показана роль полученной математической модели нефтяного пласта в организации оптимального и адаптивного управления технологическим процессом добычи нефти.

Кроме того, предложен программный алгоритм управления локальной системой автоматического управления добычей нефти, который позволяет произвести управление добычей нефти без создания математического описания системы скважина-насос.

В результате математического моделирования определены пределы регулирования производительности станка-качалки нового типа, раскрыта зависимость производительности насоса от частоты качаний, проведена оценка энергосбережения нового станка-качалки по сравнению с обычным устройством. Предложена упрощенная модель станка-качалки как исполнительного механизма системы управления в виде апериодического звена первого порядка.

Предлагается два варианта структуры САУ одиночной скважины: для скважины, находящейся на раннем этапе эксплуатации и не отличающейся высокой обводненностью; для скважины на позднем этапе эксплуатации и отличающейся высокой степенью обводненности. Для второго варианта предложена новая модель нефтеизвлечения, которая позволяет наиболее полно использовать запасы нефти и при этом исключить оборот воды.

В результате анализа потребностей управления при добыче нефти из группы скважин в качестве регулятора в линейной многосвязной системе автоматического управления был выбран издромный регулятор.

При более детальном учете возможностей добывающего оборудования и состояния призабойной зоны скважин было выявлено, что максимальная

производительность насосов и скважин ограничивается нелинейностями типа «насыщение». Для экономии энергии целесообразно отключать насос при достижении нижнего предела производительности, так как из-за протекания жидкости из клапанов насоса при слишком низкой скорости качаний подача насоса будет равна нулю. Для реализации данного отключения предложен дополнительный релейный регулятор.

В четвертой главе производится математическое моделирование предложенных линейных и нелинейных алгоритмов и исследование зависимости устойчивости полученных систем автоматического управления от параметров системы и объекта управления посредством модельных экспериментов, рассматриваются функции и структура созданного в MatLAB Simulink программного продукта для оценки устойчивости МСАУ.

В результате моделирования произведена оценка влияния параметров объекта и регуляторов на устойчивость МСАУ. С помощью специального средства MatLAB NCD Toolbox (Nonlinear Control Design - создание нелинейных систем управления) была произведена подстройка параметров регулятора методом градиентного спуска по переходному процессу.

Проведено графоаналитическое исследование зависимости устойчивости переходного процесса для линейной двухканальной МСАУ добычей нефти от параметров объекта управления и регулятора частотным методом, предложенным Б. Г. Ильясовым.

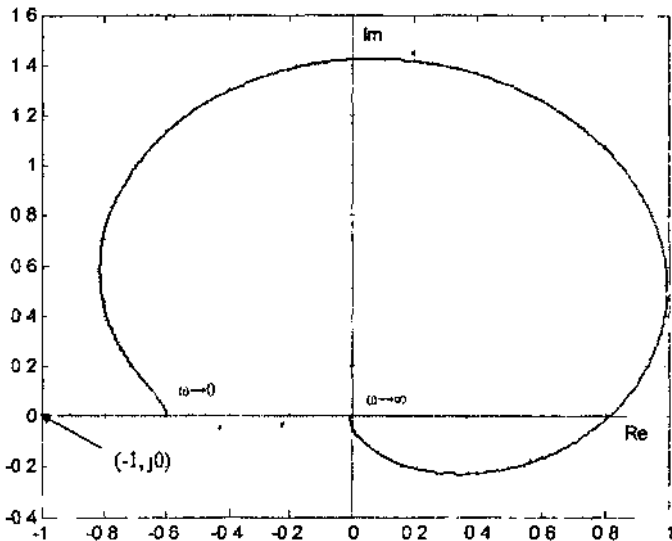


Рис.5

Для этого использовался следующий критерий устойчивости: если годограф передаточной функции системы $W(j\omega) = \Phi_1(j\omega)\Phi_2(j\omega)H_{12}(j\omega)$ не охватывает критическую точку $(-1, j0)$ где $H_{12}(j\omega) = \frac{-[W_{12}W_{21}]}{W_{11}W_{22}}$, то система устойчива в замкнутом состоянии (рис. 5).

Для упрощения анализа многосвязной системы управления с запаздыванием выдвинута гипотеза, что в однородной пластовой среде все запаздывания e_j^{-s} одинаковы. С учетом этой гипотезы $\Phi_1(j\omega)$, $\Phi_2(j\omega)$ и $H_{12}(j\omega)$:

$$\Phi_1(j\omega) = \frac{W_1(j\omega)}{1+W_1(j\omega)}, \text{ где } W_1(j\omega) = R_1(j\omega)W_{\text{инв1}}(j\omega)W_{11}(j\omega),$$

$$\Phi_2(j\omega) = \frac{W_2(j\omega)}{1+W_2(j\omega)}, \text{ где } W_2(j\omega) = R_2(j\omega)W_{\text{инв1}}(j\omega)W_{22}(j\omega),$$

$$H_{12}(j\omega) = \frac{-[W_{12}W_{21}]}{W_{11}W_{22}}.$$

Система слабо зависит от изменения параметров объекта управления и обладает достаточными запасами устойчивости по модулю и по фазе.

Произведено исследование зависимости устойчивости МСЛУ от параметров объекта с использованием частотного критерия устойчивости, предложенного проф. Б.Г. Ильясовым для гомогенных (когда все подсистемы описываются одной передаточной функцией $\Phi(j\omega)$) многосвязных систем. Этот частотный метод является аналогом метода Найквиста для многосвязных систем управления.

Характеристика связи между подсистемами описывается следующим образом:

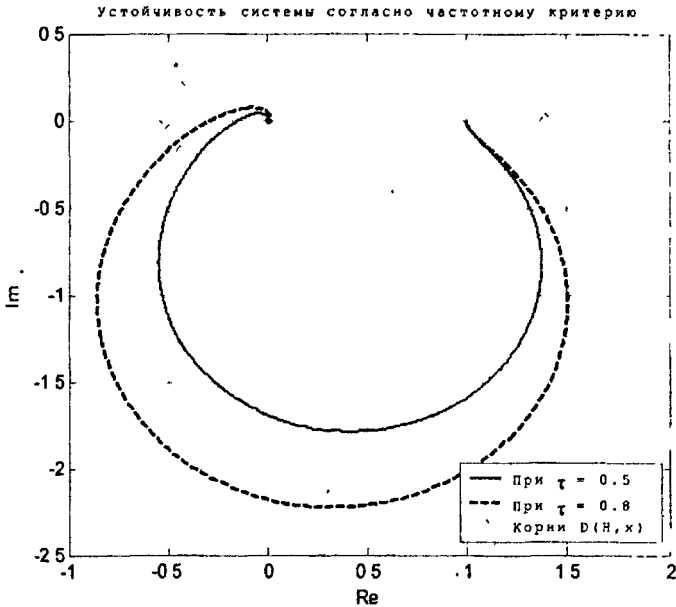
$$h_{i,2} \cdot x(s) = \frac{\det \|W_y(s)\gamma_y\|_{i,nk}}{\det \|W_y(s)\delta_y\|_{i,nk}}, k = \overline{2, n}, \text{ где } \gamma_y = \begin{cases} 0, & i = j, \\ 1, & i \neq j, \end{cases} \delta_y = \begin{cases} 1, & i = j, \\ 0, & i \neq j, \end{cases} k = \overline{2, n}.$$

Характеристическое уравнение системы:

$$D(\Phi, H) = 1 + H_2\Phi^2(s) + H_3\Phi^3(s) + H_4\Phi^4(s) = 0.$$

Подставив вместо $\Phi(s)$ численную переменную x , решим полученное уравнение $D(x, H) = 1 + H_2x^2 + H_3x^3 + H_4x^4 = 0$.

Расположив корни полученного уравнения и годограф $\Phi(j\omega)$ на комплексной плоскости, можно сделать вывод об устойчивости гомогенной МСАУ. Если годограф замкнутой передаточной функции $\Phi(j\omega)$ не охватывает корни характеристического уравнения $D(H, x)$, то многомерная система оказывается устойчивой (рис. 7).



ОСНОВНЫЕ ВЫВООДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана локальная система автоматического управления (ЛСАУ) для отдельной добывающей скважины. Для станка-качалки нового типа создана математическая модель и предложены алгоритмы управления. Определены алгоритмы управления двигателем станка-качалки и пределы регулирования частоты качаний.

2. Разработана математическая модель нефтеносного пласта как многосвязного объекта управления, которая получена в результате аппроксимации нелинейной распределенной модели пласта, описываемой уравнениями в частных производных, линейной многосвязной моделью с элементами чистого запаздывания. Это представление пласта и воздействий на него в дальнейшем взято за основу математической модели объекта управления.

3. Построена многосвязная система управления (МСУ) группой скважин, основанная на представлении нефтеносного пласта как многосвязного объекта управления с чистым запаздыванием, а также формировании подсистем автоматического управления пластовыми давлениями в точках расположения нагнетательных и добывающих скважин.

4. Выбраны регуляторы и алгоритмы управления МСУ группой скважин из условия обеспечения устойчивости функционирования системы. Кроме

этого, предложен нелинейный релейный регулятор, позволяющий отключать оборудование при достижении нижнего предела подачи насоса.

5. Проведено моделирование работы данной МСУ группой скважин с предложенными регуляторами и алгоритмами управления. Кроме того, предложена методика анализа устойчивости МСУ группой скважин графо-аналитическим методом, который заключается в применении частотного критерия оценки устойчивости для систем с запаздыванием. Произведена оценка практической ценности полученных результатов и рассмотрены дальнейшие перспективы развития предложенных СЛУ.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Танеев А.Р., Михеев П.С.** Система автоматического регулирования производительности штанговой глубинно-насосной установки // Управление в технических системах: Матер, молодежи, науч.-техн. конф. Уфа: Уфимск. госуд. технич. ун-т, 2001 с. 24-25.

2. **Ильясов Б.Г., Шаньгин Е.С., Тагирова К.Ф., Танеев А.Р.** Интеллектуальная система автоматического управления производительностью штангового глубинного насоса // Вопросы управления и проектирования в информационных и кибернетических системах: Межвуз. науч. сб. Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2002. с 27-33.

3. **Шаньгин Е.С., Тагирова К.Ф., Танеев А.Р.** Система оперативного управления режимами добычи нефти // Системный анализ в проектировании и управлении: Тр. VI междунар. науч.-практ. конф. СПб: изд-во СПбГПУ, 2002. с 390-391.

4. **Шаньгин Е.С., Танеев А.Р.** Система автоматического управления маятниковым станком-качалкой биротативного типа // Образовательные программы и технологии подготовки кадров в области информатики и вычислительной техники в технических университетах: Тр. науч.-техн. совещ. Уфа, 2002. с 142-143.

5. **Шаньгин Е.С., Тагирова К.Ф., Танеев А.Р.** Опыт имитационного моделирования работы нефтедобывающего оборудования в среде MatLAB Simulink // Вопросы управления и проектирования в информационных и кибернетических системах: Межвуз. науч. сб. Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2003. с 20-26.

6. **Ильясов Б.Г., Тагирова К.Ф., Шаньгин Е.С., Танеев А.Р.** Система автоматического управления добычей нефти на поздней стадии эксплуатации скважины // Тр. пятой междунар. конф. CSIT'2003. Уфа, 2003. Т. 2. с. 173-178 (Статья на англ. яз.)

7. **Танеев А.Р.** Моделирование работы нефтедобывающего оборудования в среде Matlab Simulink // XXIX Гагаринские чтения: Тр. междунар. молодежи, конф. Владимир, 2003. с. 232.

8. Танеев А.Р., Шаньгин Е.С. Имитационное моделирование работы нефтедобывающего оборудования в среде Simulink // Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB: Тр. II междунар. науч. конф. М.: 2004. с. 1427-1442.

9. Ильясов Б.Г., Шаньгин Е.С., Тагирова К.Ф., Танеев А.Р. Применение математического моделирования пластовых систем при создании динамического автоматического управления процессом добычи нефти // Мехатроника автоматизация управление: Тр. междунар. первой всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. М., 2004. с. 325.

10. Ильясов Б.Г., Шаньгин Е.С., Тагирова К.Ф., Танеев А.Р. Система автоматического управления добычей нефти из малодобитных скважин // Нефтепромысловое дело. М: ВНИИОЭНГ, 2004, № 8. с. 28-32.

11. Ильясов Б.Г., Шаньгин Е.С., Тагирова К.Ф., Танеев А.Р. Математическая модель изменения пластового давления как объекта управления // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. М.: ВНИИОЭНГ, 2004. № 8. с. 42-49.

12. Патент RU 2236563. Способ добычи нефти на заключительной стадии эксплуатации скважин / **Ильясов Б.Г., Шаньгин Е.С., Тагирова К.Ф., Танеев А.Р.** Оpubл. Б.И. 20.09.2004 № 26.

ТАНЕЕВ Артур Руфхатович

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ДОБЫЧИ НЕФТИ
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 05.13.01 - Системный анализ,
управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 22.11.2004. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 655.

Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

24632