

На правах рукописи

**Мешерин Игорь Викторович**

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩАЯ  
СИСТЕМА ГАЗОПРОВОДА  
"РОССИЯ – ТУРЦИЯ"**

**05.13.01 - системный анализ, управление и обработка информации  
(химическая технология)**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



**Москва 2002 г.**

Работа выполнена в Московской Государственной Академии тонкой химической технологии им. М.В.Ломоносова

Научный руководитель доктор технических наук, профессор  
Ярыгин Геннадий Андреевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Кузин Рудольф Евгеньевич

доктор технических наук, профессор  
Григорьев Леонид Иванович

Ведущая организация ДООАО "Гипроспецгаз"

Защита состоится "24" "сентября" 2002 года в 14.00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.120.08 в Московской Государственной Академии тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова по адресу: 117571, г. Москва, пр. Вернадского, 86.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИТХТ им. М. В. Ломоносова (г. Москва, ул. Малая Пироговская, 1).

Реферат разослан "30" "июля" 2002 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук



Бурлева Е.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы:**

Одним из важнейших проектов ОАО "Газпром" в настоящее время является проект строительства газотранспортной системы из России в Турцию через акваторию Черного моря - проект "Голубой поток". Проект осуществляется в рамках Межправительственного Соглашения от 15.12.97г с целью двойного увеличения объемов поставок российского природного газа на турецкий рынок при одновременной диверсификации потоков. Реализация проекта "Голубой поток" позволит в течение 25 лет поставить на турецкий рынок 365 млрд куб м газа, на общую сумму около 25 млрд долларов США. При этом открываются перспективы экспорта российского газа в страны Ближнего Востока, появляется возможность оперативного маневрирования потоками газа существующего западного и проектируемого морского направлений. Проект "Голубой поток" имеет высокую экономическую значимость, позволяет улучшить внешнеторговый баланс в российско-турецких отношениях и во многом определяет дальнейшее положение российского газа на европейском газовом рынке в целом, что ставит реализацию проекта в сферу основных геополитических интересов России. "Голубой поток" является уникальным проектом строительства газопровода, сочетающего значительную по протяженности сухопутную часть с глубоководной морской частью, что в значительной мере усложняет как само проектирование, так и эксплуатацию газопровода. Напряженные сроки реализации проекта, значительные объемы привлекаемых средств, сложные схемы инвестирования, участие большого количества инвесторов и подрядных фирм, сложные режимы эксплуатации газопровода и значительные объемы транспортируемого газа делают проект весьма критичным к эффективности организации работ и качеству управления, чего невозможно достичь без использования новейших информационных технологий и систем управления. Анализ мирового опыта сооружения газопроводов, вообще, и морских трубопроводов, в частности, показывает, что применение современных информационных технологий для управления потоками технической информации на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации газопроводов, обеспечивает преемственность решений, принимаемых на различных стадиях реализации инвестиционного проекта, позволяет существенно снизить технические риски и избежать серьезных эксплуатационных издержек, которые в морском трубопроводном транспорте часто непосредственно зависят от своевременности получения и правильности интерпретации исходной информации. Таким образом, создание интегрированной информационно-управляющей Системы (ИИУС), охватывающей все стадии проектирования, строительства и эксплуатации газопровода, и основанной на едином методологическом подходе и единой базе данных является актуальной научной задачей.

**Цель и основные задачи работы:** разработать принципы и методологию построения Интегрированной Информационной Управляющей Системы газопровода "Россия-Турция" на основе современных методов системного анализа и новейших информационных технологий.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. На основе информационно-структурной модели управления сложными системами и принципов декомпозиции выполнена структуризация комплекса задач, связанных с реализацией сложных проектов к которым относится проект "Голубой поток".
2. Разработана общая функциональная структура и архитектура интегрированной информационно-управляющей системы газопровода "Голубой поток".
3. В рамках системы поддержки принятия решений ИИУС разработана Универсальная Система Моделирования Процессов (УСМП), позволяющая достаточно просто и полно исследовать динамику поведения объектов управления или процессов сложной системы в условиях стохастической неопределенности, проанализировать полученную информацию и представить ее в удобном виде.

- 4 В рамках ИИУС разработаны принципы создания и использования Системы Оперативного Управления (СОУ) эксплуатацией морской частью газопровода на основе геонформационных технологий, обеспечивающих интеграцию всей совокупности данных по трубопроводу и формирование единой среды для эффективного доступа к информации, ее анализу и принятию эффективных решений
- 5 Разработана архитектура и обоснован выбор основных программных модулей системы оперативного управления ИИУС газопровода, обеспечивающих интерактивный, визуальный интерфейс при решении комплексов задач управления эксплуатацией подводного газопровода
- 6 Разработаны метод анализа, алгоритмы и произведена параметризация программных модулей подсистемы гидравлических и температурных расчетов обеспечивающих оптимизацию режимов транспортировки газа на морском участке газопровода для различных сценариев

#### **Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1 Информационно-управляющую систему газопровода "Голубой поток" целесообразно строить в виде интегрированной системы, включающей в себя Систему Стратегического Управления (ССУ), Систему Управления Финансовыми Операциями (СУФО), Систему Поддержки Принятия Решений (СППР), Систему Оперативного Управления (СОУ) строительством и эксплуатацией морской частью газопровода на основе ГИС- технологий, что обеспечивает преемственность решений, принимаемых на различных стадиях реализации проекта газопровода, позволяет существенно снизить технические риски и избежать нерациональных эксплуатационных издержек

2 Реализация функций системы поддержки принятия решений в ИИУС газопровода "Голубой поток", требует решения целого ряда задач динамического распределения ресурсов в условиях стохастической неопределенности, для решения которых целесообразна разработка универсальной системы моделирования процессов (УСМП), позволяющей исследовать процесс функционирования любого объекта или процесса проектирования на основе имитации поведения объекта

3 Применение ГИС-технологий для построения системы оперативного управления строительством и эксплуатацией морской частью газопровода обеспечивает единую информационную среду для эффективной интеграции всей совокупности данных по трубопроводу и программных модулей решения задач анализа и принятия решений

4 Программные модули блока гидравлических расчетов системы оперативного управления при расчете квазистационарных и переходных режимов газопровода, целесообразно разрабатывать на основе нескольких апробированных гидравлических моделей, близких по составу газа и давлениям, что снижает риск ошибок типа "промах" и обеспечивает оптимизацию проектных параметров газопровода, давлений и температурных режимов для различных сценариев транспортировки газа

#### **Научная значимость и новизна результатов**

Научное значение имеют следующие результаты

1 Системная модель управления сложными, дорогостоящими проектами газопроводов, основанная на процессо-ориентированных фазах жизненного цикла проекта, включающих в себя действующую социально-техническую систему, систему деятельности, систему целей и систему управления на уровнях стратегического, оперативного и инструментального управления

2 Универсальная система моделирования процессов (УСМП), обеспечивающая средства имитационного моделирования динамики объектов и процессов, составляющих сложную систему, позволяющую проанализировать полученные результаты и представить их в удобном виде

3 Функциональная структура системы оперативного управления строительством и эксплуатацией подводным газопроводом на основе ГИС-технологий, обеспечивающей единую среду для интеграции всей совокупности данных, интерактивный доступ к информации, анализ и принятие эффективных решений

4 Алгоритмы и программные модули анализа гидравлических расчетов режимов подводного транспорта газа при расчете стационарных и переходных режимов газопровода, обеспечивающие расчет профилей давлений и температур для различных сценариев на морском участке

#### **Методы исследований**

Методы исследований базируются на концепциях современного системного подхода к анализу проблем управления сложными социально-техническими системами, на основы структурно- функционального анализа и декомпозиции сложных систем, методов имитационного моделирования и объектно-ориентированного программирования

#### **Практическое значение имеют:**

1 Общая функциональная, организационная и техническая структуры и архитектура ИИУС газопровода "Голубой поток",

2 Результаты исследований с помощью УСМП динамики и чувствительности процесса движения денежных средств с учетом начисления налогов и пошлин и капитальных вложений в морской участок газопровода,

3 Выполненные в подсистеме гидравлических расчетов исследования по обоснованию режимов транспортировки газа, позволившие выбрать для морской части газопровода трубы Дуб00 с толщиной стенки 318 мм, что значительно сократило капиталовложения без снижения надежности трубопровода

#### **Обоснованность и достоверность полученных результатов:**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы

- корректным использованием идей и методов системного анализа при структуризации процессов организации и управления сложными проектами газопроводов,
- результатами комплексного тестирования и исследования работоспособности УСМП при решении задач дисконтирования прибыли предприятия,
- сопоставимостью результатов теоретических расчетов режимов транспорта газа, включая расчеты оптимальных давлений и температурных режимов для различных сценариев транспортировки газа на морском участке, с экспериментальными данными

#### **Апробация работы:**

Основные результаты работы докладывались на

- конференции "НЕФТЕГАЗЭКСПО СНГ", г Санкт-Петербург, 2000 г ,
- на Форуме "ТЭК России", г Санкт-Петербург, 2000 г ,
- на совещании по вопросам новых технических решений при проектировании объектов транспортировки газа, гт Минск - Несвиж, 2001 г ,
- научно-техническом совете Инженерно-технического центра экологической безопасности газовой промышленности "Оргэкогаз", г Москва, 2001 г ,
- научном семинаре Санкт-Петербургского Горного института в рамках форума "ТЭК России" в 2000 г ,
- на заседаниях секции автоматизации НТС ОАО "Газпром" в 2000-2001 гг ,
- научном семинаре Высшей школы корпоративного управления АНХ при Правительстве РФ в 2002 г

#### **Публикации:**

По теме диссертации опубликовано 7 работ

#### **Структура и объем диссертации:**

Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 118 страницах, включая библиографию из 49 источников, 23 рисунка и 24 таблицы

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Развитие равноправного взаимовыгодного сотрудничества между Российской Федерацией и Турецкой Республикой в области торгово-экономических отношений имеет большое значение для укрепления политических связей между двумя странами. Ключевым

этапом дальнейшего развития сотрудничества в газовой области может стать реализация проекта "Голубой поток". Проект "Голубой поток" имеет высокую экономическую значимость, позволяет улучшить внешнеторговый баланс в российско-турецких отношениях и во многом определяет дальнейшее положение российского газа на европейском газовом рынке в целом, что ставит реализацию проекта в сферу основных геополитических интересов России.

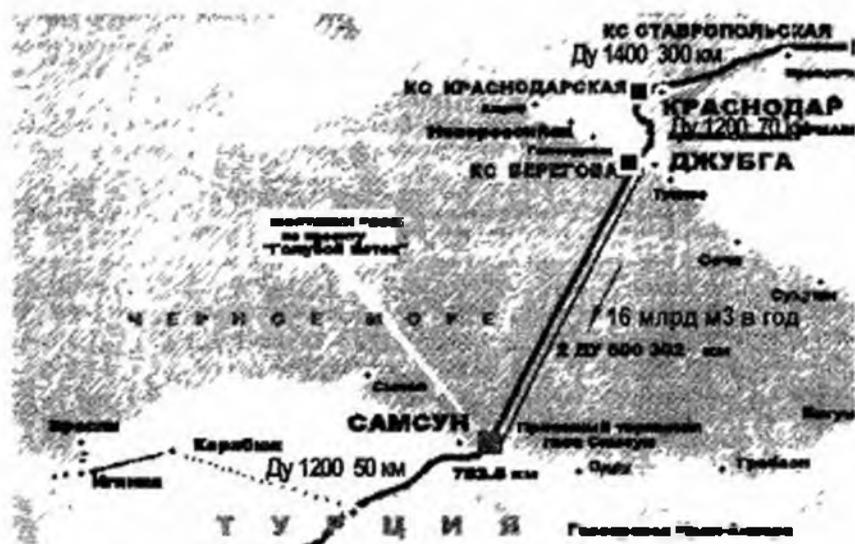


Рис. 1. План трассы газопровода "Голубой поток"

Трасса газопровода "Голубой поток" имеет протяженность 762,5 км, из которых 392,5 км составляет двухниточный переход через Черное море. Всего на трассе по территории России предусмотрено строительство 3 компрессорных станций (КС) Ставропольская, Краснодарская и Береговая. Установленная мощность КС составляет 270 МВт. На КС Береговая, расположенной на берегу Черного моря между поселками КС Береговая и Архипо-Осиповка, непосредственно на площадке КС размещаются узел приема и запуска, очистных устройств и средства диагностики сухопутного участка и узлы контроля состояния трубопроводов перехода через Черное море. На участке трассы км 0,0 - км 307,8 (Итобильный - КС Краснодарская) принято рабочее давление 7,36 МПа и одниточный газопровод из труб Ду 1400, на участке км 307,8 - км 370,0 (КС Краснодарская - КС Береговая) - 9,81 МПа и одниточный газопровод из труб Ду 1200, на участке км 370,0 - км 762,5 (КС Береговая - Самсун) - 25,0 МПа и двухниточный газопровод из труб Ду 600 с толщиной стенки 31,8 мм.

Выбор трассы газопровода и расположение площадок компрессорных станций производились с учетом экологических требований России. Учитывалась экологическая ситуация в районе размещения. Для этих целей было выполнено специальное исследование и подготовлена комплексная характеристика состояния окружающей природной среды до и после строительства по следующим факторам: атмосфера, водная среда, земля, растительность, животный мир, социальная среда.

Потребность в инвестициях для строительства газопровода на сухопутном участке (газопровод Итобильный - КС Береговая) составляет без налогов и пошлин 726 млн долл США. Потребность в инвестициях для строительства морского участка составляет по оценке ОАО "Газпром" - 1464 млн долл США.

Анализ бизнес-плана проекта "Голубой поток" и сравнение его с другими проектами строительства газопроводов, выполненный в первой главе показывает, что эффективная

организация и управление работами по проектированию, строительству и эксплуатации газопровода "Голубой поток", соответствующие мировому уровню проектирования и строительства особо сложных объектов, невозможны без создания и использования современной интегрированной информационно –управляющей системы газопровода

Во второй главе диссертационной работы выполнен системный анализ проблем управления процессами проектирования, строительства и эксплуатации сложных социально-технических систем, к числу которых относится и газопровод "Россия-Турция"

Концептуальными основами анализа проблемы выбраны современные методы формализации задач, развитые в последние годы для управления сложными проектами, суть которых заключается в том, что проект рассматривается как компонент сложной системы, характеризующийся полным жизненным циклом и находящийся под влиянием таких воздействий внешней среды, как: изменение конъюнктуры рынка, политические воздействия, финансовые проблемы, изменение нормативных положений и других факторов

Проблеме системного анализа и управления сложными проектами посвящены труды многих ученых, среди которых отечественные ученые - В Н Бурков, В И Воропаев, В В Позняков, В Д Шапиро, М В Штейнберг, Ю Л Эткинд и многие другие. Из зарубежных ученых большой вклад в развитие проблематики внесли - R W Gutsc, Garold Patzak, Ivars Avots, Russel D Archibald, Riccardo Albonetti, Wolfgang Schallehn

В основу системного анализа проекта "Голубой поток" выбрана модель внешней системной среды, предложенная Авотсом, в которой среда проекта рассматривается как одна из многих сущностей, погружаемой во внешние среды, отражающие сложность реального мира, природа которых может быть физической, политической, социальной, экономической и даже философской. Для эффективного управления проектом необходимо поместить проектную среду в реальные условия, выделяя различные системные единства на соответствующих уровнях, оценивая их потенциальные воздействия и взаимодействия между ними. Системная среда проекта "Голубой поток", отражающая этот принцип, лежащий в основе декомпозиции сложной системы показана на рис. 2



Рис. 2. Системная среда проекта "Голубой поток"

Процесс решения проблемы – "выполнение проекта" - имеет свой жизненный цикл в котором можно выделить следующие основные фазы

- 1 Определение и обоснование целей и требований (Что должно быть выполнено?)
- 2 Определение системы проектирования (как выполнять)
- 3 Производство, реализация (выполнение, создание в натуре)

- 4 Ввод в действие, внедрение, запуск
- 5 Эксплуатация, функционирование, поддержание
- 6 Изменение, переделка, реконструкция (реинжиниринг)
- 7 Остановка, вывод из эксплуатации

Эта концепция жизненного цикла проблемы – *"выполнение проекта"* является достаточно адекватной моделью для структуризации полного процесса выполнения проекта. Однако, всегда надо иметь в виду, что каждая фаза жизненного цикла объектной системы оказывает влияние на все последующие и, следовательно, мы должны всегда иметь в виду полный жизненный цикл объекта, если хотим действовать системно и всесторонне.

С точки зрения управления проблемой – *"выполнение проекта"* в каждой фазе существуют управленческие функции, образующие в совокупности процесс-ориентированные фазы управления проектом, которые не идентичны различным состояниям жизненного цикла систем, начинающегося с *"еще не существует"* и кончающегося *"уже не существует"*. Процесс выполнения проекта – это целенаправленный и рациональный процесс, состоящий в трансформации начальной ситуации в желаемую ситуацию, определяемую стратегическим проектным управлением. Для обеспечения оптимальности и целенаправленности процесса должны быть обеспечены функции управления этим процессом, которые можно разбить на следующие уровни:

- стратегическое управление проектом – управление системой целей (потребности, результаты),
- оперативное управление проектом – управление системой деятельности (процесс),
- инструментальное управление проектом – управление действующей системой (организация)

В основу разработанной системной модели управления проектом *"Голубой поток"*, была положена информационно-структурная модель предложенная Г. Патцаком (рис 2)

Во второй главе диссертации на основе модели Г. Патцака сформулированы основные требования к системам управления проектами, с использованием современных информационных технологий, вообще, и системы управления проектом *"Голубой поток"*, в частности. Обоснованы цели разработки и общая функциональная, организационная и техническая структуры и архитектура интегрированной информационно-управляющей системы (ИИУС) газопровода *"Голубой поток"*. Анализ проблем, связанных с управлением проектом *"Голубой поток"*, с использованием современных информационных технологий, выполненный на основе информационно-структурной модели управления Г. Патцака показывает, что всю совокупность задач управления, связанных с управлением проектом целесообразно представить в виде интегрированной информационно-управляющей системы (рис 3)

В диссертации показано, что в процесс-ориентированной модели управления проектом, применительно к газопроводу *"Голубой поток"*, целесообразно выделить следующие основные уровни, образующие отдельные подсистемы ИИУС:

- система стратегического управления проектом,
- система управления финансовыми операциями,
- система оперативного управления эксплуатацией газопровода на основе ГИС-технологий,
- система поддержки принятия решений

В третьей главе диссертации рассматривается универсальная система моделирования процессов (УСМП), являющаяся основным элементом системы поддержки принятия решений. Реализация функций управления проектом, сформулированных во второй главе диссертации требует решения целого ряда задач оптимального распределения ресурсов, являющихся задачами исследования операций. Известна ограниченность классических методов исследования операций в задачах сетевого планирования, распределения ресурсов и других задачах управления проектами, в условиях стохастической неопределенности, например в задачах дисконтирования прибыли при реализации проектов, где как правило, приходится иметь дело со случайными затратами при выполнении финансовых операций. Помочь в

данном случае способен универсальный метод анализа динамических процессов - имитационное моделирование. Для реализации данного метода исследования была создана универсальная система моделирования процессов (УСМО), позволяющая с помощью ее средств просто и быстро построить модель практически любого объекта или процесса, выполнить исследование поведения объекта в условиях воздействия случайных факторов, проанализировать полученную информацию и представить ее в удобном графическом виде.

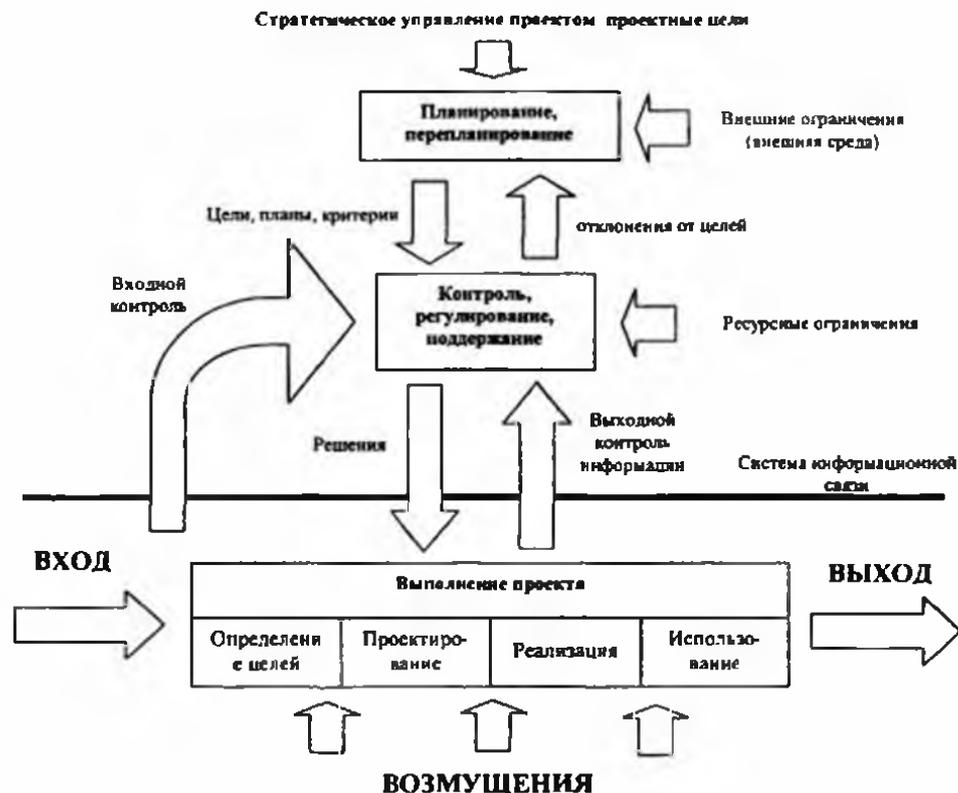


Рис. 3. Системная модель оперативного управления проектом Г. Патцака



Рис 4 Структура интегрированной информационной управляющей системы

Универсальная система моделирования процессов (УСМП) обеспечивает

- обеспечивает проектирование имитационной модели объектов и процессов проектирования на основе специального языка моделирования (USL),
- включает средства моделирования случайных событий и процессов,
- осуществляет моделирование в течение нужного периода реализации проекта любой сложности;
- предоставляет удобные средства подготовки отчетов и информационной графики

На рисунке 5 показана архитектура системы УСМП



Рис. 5. Архитектура универсальной системы имитационного моделирования УСМП

В основе системы USMP лежит язык моделирования USL (Универсальный язык моделирования), разработанный профессором Бахваловым Л А и адаптированный к решению рассматриваемой проблемы. Язык является объектно-ориентированным и содержит минимально необходимый набор команд и функций, что облегчает его изучение и использование.

Компонентами языка моделирования USL являются

- объекты,
- свойства,
- обработчики,
- выражения,
- встроенные функции;
- операторы.

Объекты являются основными функциональными единицами в USL. Именно объекты взаимодействуют друг с другом. У каждого объекта есть свое имя - уникальный идентификатор, а также ряд свойств и обработчик.

Свойства - это присущие объектам атрибуты, совокупность которых описывает характер и назначение объекта. Свойства могут быть внутренними и внешними. Внутренние свойства - атрибуты присущие только данному объекту. Внешние свойства - это атрибуты данного объекта, которые он воспринимает у других объектов, таким образом в УСМП осуществляется взаимодействие между объектами. У каждого свойства, как и у объекта, есть имя - уникальный, в рамках данного объекта, идентификатор, также есть начальное значение - значение свойства в начальный момент времени.

Обработчик - это присущий каждому объекту набор команд, который описывает его (объекта) поведение. Именно обработчики содержат исполняемый код USL-программы, состоящий из операторов, выражений и функций.

Выражения в USL-программе практически ни чем не отличаются от выражений любого другого языка высокого уровня, то есть являются математическими формулами, содержащими переменные (свойства), операции ("\*", "/", "+", "-", "=") и скобки.

С целью облегчить читаемость исходного кода программы была принята древовидная схема ее построения, что ускорило процесс создания приложений и уменьшило вероятность внесения ошибок, так принятая схема сама предлагает список допустимых команд на каждом конкретном уровне иерархии и, таким образом, процесс построения модели превратился в процесс сборки готового изделия из предлагаемого системой набора заготовок.

Структура USL описывается следующей схемой:

- o Проект <Имя файла проекта>
  - o Установки
    - o Описание <Цитировать комментарий к проекту>
  - o Содержимое
    - o Объект <Имя объекта I>
      - o Экранимые атрибуты
        - o X <Значение>
        - o Y <Значение>
        - o Ширина <Значение>
        - o Высота <Значение>
        - o Текст <Строка текста (Обычно, имя объекта)>
      - o Свойства
        - o Внутренние
          - o Свойство <Имя свойства I>
            - o Начальное значение <Значение>
          - o Свойство <Имя свойства I>
            - o Начальное значение <Значение>
          - o Свойство <Имя свойства N>
            - o Начальное значение <Значение>
        - o Внешние
          - o Свойство <Имя свойства N-1>
            - o Связанный объект <Имя объекта>
              - o Связанное свойство <Имя свойства>
          - o Свойство <Имя свойства N+1>
            - o Связанный объект <Имя объекта>
              - o Связанное свойство <Имя свойства>
          - o Свойство <Имя свойства N-M>
            - o Связанный объект <Имя объекта>
              - o Связанное свойство <Имя свойства>
  - o Обработчик
    - o Блок кода
  - o Объект <Имя объекта J>
    - o
  - o Объект <Имя объекта K>
    - o

Корнем дерева является пункт Проект, в нем записывается имя рабочего файла. Данный пункт имеет две ветви: Установки и Содержимое.

В Установках дается комментарий к проекту.

Ветвь Содержимое оправдывает свое название, так вся информация об объекте, смоделировать поведение которого призвана программа, находится в нем. В данном пункте происходит описание всех взаимодействующих частей модели, их свойств и поведения.

Для разработки универсального средства имитационного моделирования УСМП была выбрана операционная система Microsoft Windows. В качестве языка программирования был выбран компилятор - Borland Delphi, фирмы Borland International. Система состоит из исполняемого модуля USMP.EXE, файла истории открывавшихся проектов и файла инициализации программы. Главное окно программы показано на рис. 6.

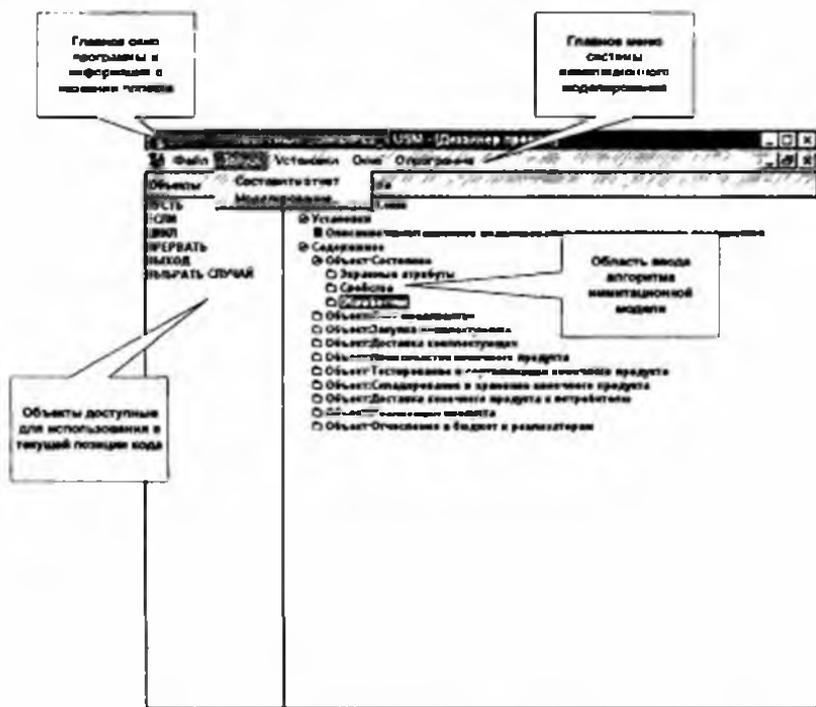


Рис.6. Главное окно программы

Работоспособность УСМП была проверена при решении задачи дисконтирования прибыли, отражающей динамику изменения различных денежных потоков некоторого абстрактного предприятия. Использование УСМП показало, что анализ и прогнозирование развития процессов легко и эффективно реализуется средствами имитационного моделирования. Универсальная система имитационного моделирования была использована так же для анализа динамики движения денежных средств проекта "Голубой поток". Результаты исследований приведены в главе 3 диссертационной работы.

В четвертой главе диссертации рассмотрена структура системы оперативного управления проектированием и эксплуатацией подводной части газопровода на основе ГИС-технологий. Анализ мирового опыта проектирования и эксплуатации морских трубопроводов показывает, что управление потоками технической информации, на основе современных информационных технологий и технических средств, приемственность решений, принимаемых на различных стадиях реализации инвестиционного проекта, позволяет существенно снизить

технические риски и избежать непредвиденных эксплуатационных издержек, которые непосредственно зависят от своевременности получения и правильности интерпретации исходной информации

Преимущества единой геоинформационной базы системы оперативного управления газопроводом особенно очевидны на этапе проведения инженерных изысканий и технологического проектирования, в результате которых выбирается трасса газопровода, определяются гидравлические параметры, формируются требования к параметрам и материалам трубы, изоляции и анодов, выполняются оценки воздействия окружающей среды на газопровод и газопровода на окружающую среду. Объём необходимой для этого информации, как показывает практика, может достигать нескольких терабайт, что делает совершенно необходимым её систематизацию на основе современных систем управления геоинформационными базами данных.

При оперативном управлении газопроводом на базе геоинформационной системы интегрируются результаты обследования фактического состояния газопровода после строительства и информация, получаемая в ходе регулярного мониторинга и внутритрубной инспекции. Результатами функционирования системы в этом режиме являются оценки и прогнозы изменения состояния газопровода, рекомендации и планы его обслуживания, отчетная документация по результатам эксплуатации.

На рисунке 7 показана схема применения ГИС-технологий для оперативного управления проектированием, строительством и эксплуатацией морской частью газопровода. На рисунке 8 показана архитектура программных средств системы оперативного управления газопроводом на базе ГИС-технологий.

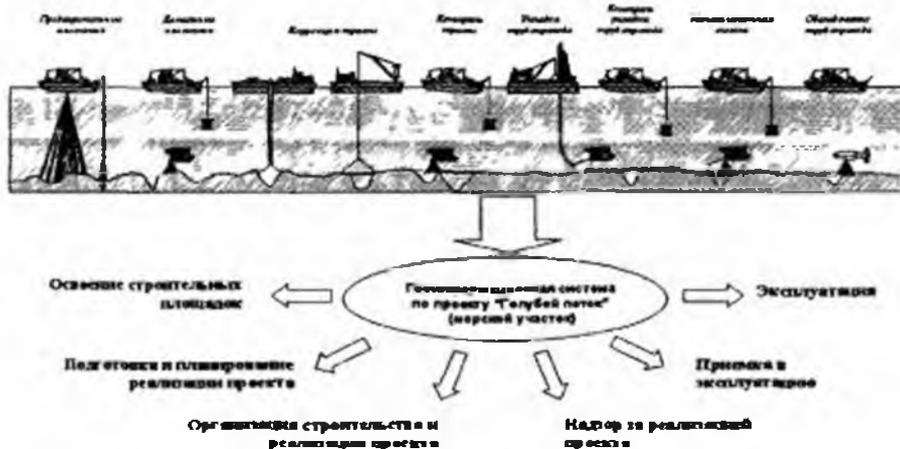


Рис. 7. Схема применения ГИС-технологий для оперативного управления газопроводом

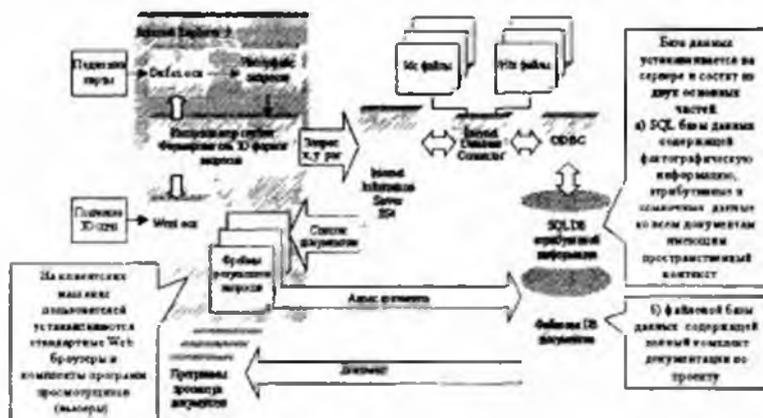


Рис. 8. Архитектура программных средств системы оперативного управления

Основные задачи, решаемые в этой системе по характеру можно условно разделить на несколько основных блоков

- блок геоинформационных приложений,
- блок гидравлических расчетов,
- блок автоматизированного проектирования (CAD),
- блок анализа рисков,
- блок экономического анализа

Содержательный анализ полученной информации включает в себя анализ природных условий в зоне строительства, выявление зон повышенного геориска, определение положения и степени устойчивости трубы на дне, оценку длины свободных пролетов, влияния течений, состава морской воды и грунта и многих других факторов. Для решения этих задач используются приложения, входящие в состав нескольких блоков

Приложения, входящие в состав геоинформационного блока, используются для визуализации разнородных данных в виде комплексных карт-изображений, анализируя которые специалисты делают экспертные оценки и формируют специальные карты типа карт зон геологических рисков (мутневых потоков, оползней, выходов газов и др). Сформированные тематические карты используются, как при технологическом проектировании, так и для разработки планов обследования состояния газопровода в ходе эксплуатации, планирования планово-предупредительных ремонтных работ, расчета рисков и др.

Аналитические приложения из блока CAD используются для проведения численного анализа пространственно-зависимых характеристик газопровода типа расчета длины свободных пролетов, устойчивости трубы на склонах, заглубления трубы в грунт.

Приложения из блока гидравлических расчетов, в разработке которого принимал непосредственное участие автор, обеспечивают оптимизацию проектных параметров

газопровода, расчет давлений и температурных режимов для различных сценариев транспортировки газа

Анализ результатов гидравлических расчетов для морского участка, выполненных в процессе разработки ТЭО различными организациями (ВНИИГАЗ, Гипроспешгаз, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Питергаз Б В (Petergas B V), Снампроджетти (Snamproggetti), показал, что наиболее критичным параметром в рассматриваемом случае является температура транспортируемого газа, которая зависит в первую очередь от теплообмена "газ - труба - окружающая среда". В целях повышения точности счета и определения положения участка газопровода с возможным образованием ореола промерзания автором предложено использование комбинации программы для гидравлического расчета с геoinформационной системой.

Расчеты выполнялись с использованием стандартного программного обеспечения RIFESIM фирмы "Baker Jardine" (Бейкер Джарден) на основе хранящихся в геoinформационной базе данных (ГИС "Кэртис" (Cartis)) актуальной информации по свойствам, пространственной конфигурации, положению газопровода на морском дне (заглубление в грунт) и условиям окружающей среды для каждого его участка, включая коэффициенты теплопередачи.

Разработанные методы анализа, послужившие основой для построения алгоритмов и параметризации программного обеспечения для подсистемы гидравлических расчетов режимов подводного транспорта газа приведены в четвертой главе диссертации. При вводе газопровода в эксплуатацию выполняется съемка фактического положения трубы - "as-laid", и с первых дней эксплуатации выполняются натурные замеры состояния газопровода при различных входных и выходных параметрах газового потока.

В качестве примера использования блока гидравлических расчетов системы оперативного управления газопроводом приведен анализ режимов безгидратного транспорта газа. Анализ показывает, что такой режим в общем случае для максимальной производительности может быть обеспечен при степени осушки газа до точки росы по воде минус 20 °С при 5,5 МПа. При этом температура газа по трассе не будет опускаться ниже минус 5 °С. Для наиболее консервативного сценария (частный случай при полном заглублении трубы в грунт на 1,5D от верхней образующей на протяжении всей трассы) отмечается возможность понижения температуры на конце морского участка газопровода до минус 10 °С. При такой температуре и максимальном давлении на турецкой стороне 13,5 МПа для обеспечения безгидратного транспорта газа, требуется подготовка газа до точки росы по воде минус 25 °С при 5,5 МПа. Этим было обусловлено решение об изменении в технических требованиях к подготовке газа на КС "Краснодарская" для температуры точки росы газа по воде, что позволило повысить надежность эксплуатации трубопровода.

В таблице 1 приведены два состава газа, удовлетворяющие требованиям по точке росы углеводородов газа, так чтобы при транспорте газа не выпадала жидкая углеводородная фаза. Газ первого состава имеет точку росы по углеводородам ниже минус 30 °С и не требует дополнительного обессушивания.

Для второго состава газа, совместно с ВНИИГАЗом, были проведены расчеты фазового равновесия газ - жидкость при давлении 5,5 МПа и температурах -15, -20, -25, -30 °С. Таким образом были получены составы газа с точками росы по углеводородам, соответствующими указанным температурам. Для каждого из этих составов газа рассчитаны точки росы по углеводородам при различных давлениях и построены кривые, часть из которых представлена на рис. 9. Выше кривой газ находится в однофазном состоянии, ниже - в двухфазном. Правее кривых (при давлениях выше 6-7 МПа) - область однофазного состояния. Здесь же показаны температурные кривые для транспортируемого газа, которые не пересекают расчетные кривые межфазового перехода.

Произведен анализ вариантов технологий подготовки газа (абсорбция, адсорбция и низкотемпературная сепарация). Для достижения требуемых параметров газа наиболее подходящей была признана адсорбционная технология подготовки газа с использованием силикагелей "Трокенперлен" (Trokenperlen) производства фирмы "Энгелгарт" (Engelhart)

(рекомендованы лабораторией доктора технических наук Н.Н. Кисленко ВНИИГАЗ) Оборудование установки подготовки газа к транспорту поставляет фирма "Сииртек Инджи" (Siirtec Nig)

Таблица 1

Составы газа на входе в установку подготовки газа на КС "Краснодарская",

% мольн.

Компоненты	1-й состав	2-й состав
N <sub>2</sub>	1,89	0,93
C <sub>1</sub>	96,02	97,50
C <sub>2</sub>	1,44	0,88
CO <sub>2</sub>	0,10	0,41
C <sub>3</sub>	0,42	0,14
1-C <sub>4</sub>	0,05	0,015
П-C <sub>4</sub>	0,07	0,025
C <sub>5</sub>	0,01	0,035
C <sub>6</sub>		0,025
C <sub>7</sub>		0,014
C <sub>8</sub>		0,012
C <sub>9</sub>		0,0081
C <sub>10</sub> *		0,0059

Объем подачи 14,62 м<sup>3</sup>/сут

Рвход = 145 - 160 атм

Рвых = 80 - 1010 атм

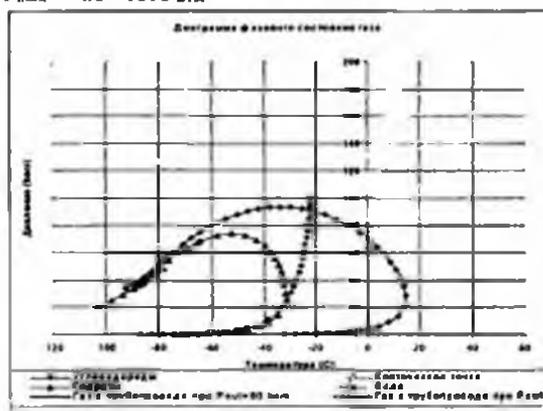


Рис. 9. Кривые начала конденсации газа

- 1 – с точкой росы – 15°С при 5,5 МПа,
- 2 – с точкой росы – 20°С при 5,5 МПа,
- 3 – с точкой росы – 25°С при 5,5 МПа,
- 4 – с точкой росы – 30°С при 5,5 МПа

Представленные ГИПРОспецГАЗом и фирмой SAIPFEM режимы морского транспорта газа находятся выше и правее кривой 1 и, следовательно, достаточно подготовить газ до температуры точки росы газа по углеводородам минус 15 °С (при 5,5 МПа), чтобы избежать выпадения жидкой углеводородной фазы в трубопроводе. Ранее в технических требованиях на

установку подготовки газа были записаны более высокие требования (минус 16 °С при 4,2 МПа)

На основании полученных данных проведена корректировка и верификация используемых гидравлических моделей, которые в последующем используются для прогнозирования и оценки состояния газопровода в различных режимах его эксплуатации

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В диссертационной работе на основе современных методов системного анализа сложных систем и новейших информационных технологий разработаны принципы и методология построения Интегрированной Информационной Управляющей Системы газопровода "Россия- Турция "

В диссертационной работе решены следующие задачи

- разработан системный подход к структуризации комплекса задач, связанных с реализацией сложных проектов на основе информационно-структурной модели управления сложными системами,
- разработаны общая функциональная, организационная и техническая структуры интегрированной информационно управляющей системы газопровода,
- разработаны принципы создания и использования информационной системы управления морской частью газопровода на основе геоинформационных технологий, обеспечивающих интеграцию всей совокупности данных по трубопроводу и формирование единой среды для эффективного доступа к информации, ее анализу и принятию эффективных решений
- Разработана архитектура и обоснован выбор основных программных модулей системы оперативного управления ИИУС газопровода, обеспечивающей интерактивный, визуальный интерфейс при решении комплексов задач управления эксплуатацией подводного газопровода
- Разработаны метод анализа, алгоритмы и произведена параметризация программных модулей подсистемы гидравлических и температурных расчетов обеспечивающих оптимизацию режимов транспортировки газа на морском участке газопровода для различных сценариев
- Выполнены исследования по обоснованию технологической схемы и режимов транспортировки газа, позволившие выбрать для морской части 2-х ниточный газопровод из труб Дуб00 с толщиной стенки 31 8 мм, что значительно сократило капиталовложения без снижения надежности трубопровода
- Обоснованы режимы безгидратного транспорта газа при максимальной производительности с учетом возможности кратковременного понижения температуры на конце морского участка газопровода до минус 10° С и максимального давления на турецкой стороне до 19,0 МПа

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1 И В Мешерин, В Н Захаров, Н В Пережогина Трехмерное компьютерное проектирование в системе AutoCAD Газовая промышленность Октябрь 2000 г
- 2 И В Мешерин Экологическое сопровождение строительства морского участка газопровода Россия-Турция. Экологические системы и приборы, №12, 2001 г
- 3 И В Мешерин, А Н Блинков, В М Темкин Использование геоинформационных технологий при мониторинге подводных переходов магистральных газопроводов Одиннадцатая международная деловая встреча "Диагностика-2001", Экологический мониторинг, Труды конференции, том 4, Тунис, апрель 2001 г
- 4 И В Мешерин, В И Поддубский, Н В Крамаренко, Г А Ярыгин Принципы решения задач производственно-экологического мониторинга в проектах сложных газотранспортных систем на примере газопровода Россия-Турция Одиннадцатая международная деловая встреча "Диагностика-2001", Экологический мониторинг, Труды конференции, том 4, Тунис, апрель 2001 г.
- 5 И В Мешерин, В В Ремизов, В И Резуменко, В И Поддубский, Г А Ярыгин и др Обеспечение экологической безопасности газопровода Россия-Турция, Газовая промышленность, июнь 2000 г
- 6 И В Мешерин, В И Резуменко, Ю А Горяинов, В Е Брянских, А С Федоров, Б Л Фейгин, А Н Блинков Проект "Голубой поток" единая геоинформационная база данных как основа технологического проектирования и эксплуатации морских газопроводов ПИС- обзорение, январь, ОАО "Газпром", январь 2000 г
- 7 Vladimir Rezunenko and Igor Meshern Interactive computer models and deepwater pipeline design Pipe Line & Gas, november 2000, pp 55-57

2002-A  
16766

№ 16766

---

Подписано в печать 05.07.2002 Печ. офсетн. Бум. офсетн.  
Формат 69х90 1/16 Уч. изд. п. \_\_\_\_\_ Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_  
115571, Москва, просп. Вернадского, 86  
Издательско-полиграфический центр МИТХТ им. М. В. Ломоносова