

СЕРЕБРЯКОВ Алексей Михайлович

**Геоинформационные средства анализа и разрешения  
нештатных ситуаций при строительстве морских  
трубопроводов**

Специальность 25.00.35 - «Геоинформатика»

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

Санкт-Петербург 2010

Работа выполнена на кафедре Морских информационных технологий  
Российского государственного гидрометеорологического университета

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Биденко Сергей Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Ковчин Игорь Сергеевич

кандидат технических наук, доцент  
Васильев Игорь Анатольевич

Ведущая организация: Государственный научно-исследовательский  
навигационно-гидрографический институт МО РФ

Защита состоится «03» июня 2010 г. в 15 час 30 мин на заседании диссертационного  
совета Д 212.197.03 при Российском государственном гидрометеорологическом  
университете по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д. 3, аудитория 311.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного  
гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.197.03  
доктор технических наук, профессор

П.П. Бескид

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Земная поверхность (ЗП) является объектом исследования специалистов различных предметных областей, связанных с пространственным распределением и функциональной активностью в пределах географической оболочки Земли.

Важную роль в территориальных исследованиях ЗП играют различные системы мониторинга местности, акваторий, сложных техногенных геосистем (ГС) и геообъектов (ГО). В них постоянно обрабатывается большое количество разнородной априорной и оперативной геоинформации (ГИ) о самих наблюдаемых геообъектах, физико-географических и технико-географических условиях контролируемой территории, опасных природных и социальных объектах.

Характерным представителем систем территориального контроля являются системы мониторинга строящихся и эксплуатирующихся подводных трубопроводов, прокладываемых по дну акваторий (море, океан, река, озеро).

Морские трубопроводные системы являются сложными технико-технологическими геообъектами, работающими в агрессивной физико-географической среде и находящимся под воздействием потенциально опасных социально-географических воздействий. Одним из ключевых вопросов минимизации влияния этих воздействии при проектировании, строительстве и эксплуатации морских трубопроводных систем является выбор трассы. Кроме того, особенности эксплуатации в конкретной геосреде должны быть учтены при обосновании основных конструктивных параметров трубопровода, таких, как материал труб, толщина стенки, способ монтажа, метод защиты от коррозии, обеспечение устойчивости и других технических решений.

На выбор трассы подводного трубопровода в основном влияют следующие физико-географические условия среды: рельеф дна, конфигурация береговой линии, геология района, устойчивость грунтов, параметры ветров, волнений, течений и движения наносов, сейсмичность региона, ледовая обстановка, гидрохимические и гидробиологические факторы. Кроме того, при проектировании и эксплуатации морских трубопроводов (МТ) учитываются такие социально- или технико-географические условия, как наличие мест якорных стоянок, близость и интенсивность судоходства и рыболовной активности, качество навигационного оборудования акватории, осуществление добычи полезных ископаемых на морском дне, близость к районам морских нефтепромыслов и гидротехническим сооружениям, рекреационные особенности региона, угрозы терроризма и пиратства и др.

Наряду с требованиями экономической эффективности и технологической безопасности морские трубопроводные системы должны обеспечивать экологическую безопасность региона.

Несмотря на то, что морские трубопроводы являются одним из самых надежных видов транспорта, практика показывает, что в процессе их строительства возможно возникновение различных видов нештатных ситуации. Учитывая масштабы реализуемых в настоящее время проектов, даже относительно небольшая вероятность возникновения таких нештатных ситуаций сопряжена со значительными экономическими, технологическими и экологическими рисками.

Примером возникновения физико-географических нештатных ситуаций является укладка трубы через или вблизи не предусмотренных в проекте опасных для целостности МТ геообъектов: места сходов лавин, оползни, смещения, размывы, газовые полости, скальные выходы и др.

Причинами возникновения нештатных ситуаций могут быть:

- а) технические проблемы: отклонение от проектного маршрута, дефекты трубы и сварных швов, превышение проектных нагрузок при укладке, и т.д.;
- б) геоситуационные проблемы: обнаружение неучтенных проектом коммуникаций, захоронений, в т.ч. военной амуниции и боеприпасов, затонувших судов, археологических объектов и т.п.

Типовыми решениями по преодолению нештатных ситуаций являются следующие пространственные императивы: 1) оперативная корректировка маршрута трассы с целью обхода опасных зон; 2) инженерно-техническое воздействие (интервенция) на морское дно с целью его коррекции для обеспечения возможности укладки трубопровода в соответствии с его проектным пространственным положением.

При выработке вариантов пространственно-содержательных решений по преодолению нештатных ситуаций, т.е. при сборе и отображении информации об обстановке, выполнении процедур пространственного анализа геоситуации, постоянно осуществляется обработка больших объемов разнородной априорной и оперативной ГИ.

Для повышения оперативности, адекватности обработки и представления ГИ о территориальной обстановке, обоснованности формирования задач пространственного анализа и выработки пространственных рекомендаций в настоящее время широко используются средства геоинформатики – геоинформационные системы (ГИС) и геоинформационные технологии (ГИТ).

Развивающиеся возможности ГИТ обеспечивают наиболее эффективное решение задач сбора, представления, преобразования, анализа и выработки управленческих решений в различных сферах деятельности человека, где используется быстро меняющаяся оперативная ГИ. Задача управления территориальными процессами строительства МТ полностью относится к одной из таких сфер. Стандартные средства ГИТ, получившие широкую практическую реализацию в последние десятилетия, наиболее полно подходят в качестве информационных средств сбора, представления и анализа обстановки на море. Однако среди множества программных продуктов, используемых сегодня на рынке полнофункциональных ГИС, в полной мере решение задач описания собственного пространства, содержания георисков и нештатных ситуаций, оптимального проектирования и обеспечения безопасного строительства МТ, не обеспечивается ни одной из них. Описательный характер моделей ГО, применяемых, в частности, в практике судовождения, и их пространственно-логических связей в известных ГИС не может быть эффективно использован без существенных изменений принципов геомоделирования при формализации и проектировании ГС «Строительство МТ - геосреда».

Актуальность работы состоит в необходимости преодоления **противоречия** между обширными параметрами и свойствами большого числа существующих универсальных ГИС общего назначения (ориентированных на широкий круг пользователей) и спецификой задач представления, анализа геоситуаций и выработки пространственных рекомендаций при проектировании и строительстве МТ.

Одним из перспективных направлений по преодолению указанного противоречия является интеграция средств типовых ГИС с другими информационными и интеллектуальными системами (экспертными системами, системами искусственного интеллекта, нейронными системами, системами, основанными на нечетких знаниях и т.д.).

**Цель** исследования – разработка геоинформационных моделей и методов представления и обработки пространственной информации об обстановке в зоне МТ для

повышения эффективности территориального анализа геоситуации и поддержки принятия решений в нештатных ситуациях, возникающих в проблемной области проектирования и строительства МТ.

**Объект** исследования – процессы автоматизированной обработки пространственной информации о территориальной обстановке в зоне МТ геоинформационными средствами сбора, обработки, анализа ГИ при проектировании и строительстве МТ.

**Предмет** исследования – геоинформационное моделирование процессов обработки и анализа ГИ при решении задач поддержки принятия пространственных решений в нештатных ситуациях, возникающих при строительстве МТ.

Поставленная цель исследования достигается решением следующих **задач**:

- анализ предметной области средств геоинформатики в аспекте поддержки принятия решений в нештатных ситуациях при строительстве МТ, определение перспективных направлений преодоления противоречий между общим характером ГИТ массового назначения и специальными требованиями систем управления строительством МТ;
- разработка требований, функциональной полноты и структуры ИГИС, формирование структуры и проведении идентификации диагностической геомодели технологического процесса строительства МТ;
- разработка геоинформационной методики, обеспечивающей распознавание геобстановки и связанных с ней возможных технологических нарушений при строительстве трубопроводов, идентификации нештатных ситуаций и поиска на базе результатов обработки ГИ оптимальных пространственных решений по их преодолению;
- разработка сценариев имитационного эксперимента и проверки работоспособности и эффективности ИГИС на вновь проектируемых МТ.

На защиту выносятся следующие новые **научные результаты**:

1. Структура модуля ГИС для поддержки принятия решений в нештатных ситуациях при строительстве морских трубопроводов, включающая взаимосвязанные системы: ГИС и экспертную систему.

2. Методика построения, структура и идентифицированная фреймово-продукционная диагностическая модель, описывающая гео- и технические нештатные ситуации, возникающие при строительстве морских трубопроводов.

3. Алгоритм функционирования модуля ГИС и результаты его тестирования методом имитационного моделирования.

Научная **новизна** работы заключается в следующем.

1. Разработанная структура модуля для ГИС отличается введением в подсистему пространственного анализа ГИС экспертной компоненты, что обеспечивает более высокую степень надежности идентификации причин нештатных ситуаций при строительстве морских трубопроводов

2. Фреймово-продукционная диагностическая модель отличается введением двухуровневой декомпозиции формализуемого процесса анализа геоситуаций при строительстве МТ, что обеспечивает надежность обнаружения (выявления) и описание гео- и технических нештатных ситуаций, возникающих при строительстве морских трубопроводов.

3. Разработанный алгоритм работы модуля идентификации нештатных ситуаций отличается использованием метода «дерева решений» для первичной экспресс - оценки геобстановки при выборе оптимальных путей по преодолению возникших нештатных ситуаций, что обеспечивает повышение оперативности принятия управленческих решений при строительстве МТ.

**Теоретическая значимость** работы состоит в разработке принципов построения перспективной ИГИС, геомодели, учитывающей связь параметров геосреды с нестандартными ситуациями, возникающими при строительстве МТ, а также в разработке метода экспресс - оценки геобстановки при поиске оптимальных решений, которые расширяют теоретические возможности геомоделирования и пространственного анализа геоинформационных средств общего назначения и могут быть использованы при проектировании современных ГИС.

**Практическая ценность** работы заключается в доведении разработанных моделей и методов до конечных машинных алгоритмов и методик анализа геобстановки, выработки пространственных решений при проектировании и строительстве МТ, что имеет большое прикладное значение для предметной области функционирования систем геоситуационного управления технологическим процессом строительства МТ. Предложенная методика построения ИГИС может быть использована при синтезе аналогичных систем при строительстве других аналогичных объектов.

**Достоверность** сформулированных научных положений и выводов подтверждена корректным применением апробированных методов геоинформационного моделирования, системного и экспертного анализа, методов и моделей прикладного исчисления предикатов, имитационным и аналитико-имитационным моделированием, разработкой и проверкой макета ГИС на вновь проектируемых объектах, внедрением разработанных результатов в НИОКР, непротиворечивостью с оценками специалистов. Достоверность подтверждается внедрением и публикациями по теме диссертации.

**Апробация** работы. Результаты работы докладывались на 9 научно-технических конференциях, в том числе на 2 международных.

**Публикации** по теме диссертации. По теме диссертации опубликованы 8 статей, в том числе 3 из рекомендованного ВАК перечня.

**Внедрение** результатов работы. Результаты работы внедрены: в 2 руководящих документах; НИР «Прогресс ФВО ГИТ», «Развитие ГИУ»; в учебный процесс ГМА им. адм. С.О. Макарова, СПбГЭТУ, РГГМУ, в научно-производственную деятельность ОАО «Гипроспецгаз».

Работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы, включающего 95 наименований, и 3-х приложений. Работа включает 34 рисунка и 6 таблиц. Общий объем работы - 198 стр.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, показана научная новизна и практическая значимость работы, а также ее структура.

**В первой главе** выполнен анализ предметной области и объекта исследования. Рассмотрены особенности укладки трубопровода, как пространственного процесса и методы контроля качества.

Определено, что морской трубопровод (МТ) – это сложное инженерно-техническое сооружение, располагающееся и функционирующее в сложной геопроцессуальной физико-географической и природно-социальной среде (рис. 1).

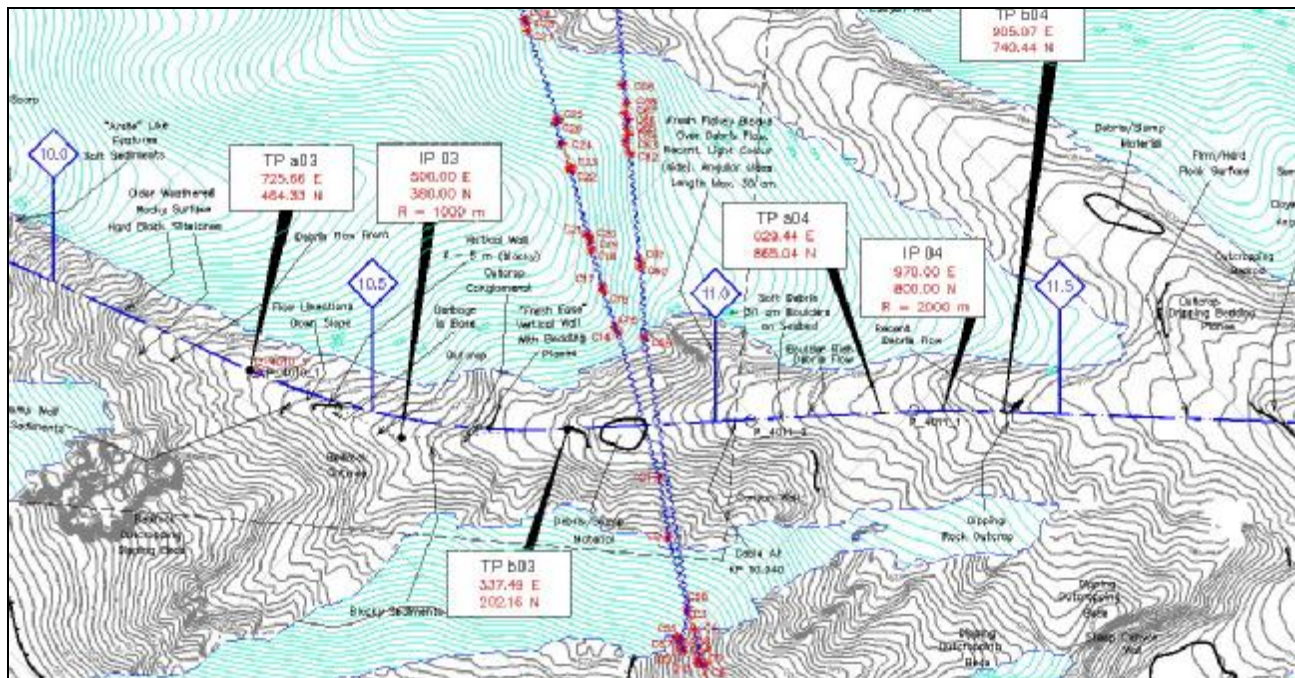


Рис. 1. Пример МТ в морской геосреде

Установлено, что на успешность прокладки МТ как сложного пространственно-инженерно-технологического процесса, оказывают существенное влияние следующие территориальные, правовые, нормативные и техногенные факторы: конструкция трубопровода; технология укладки, точность навигации и маневрирования трубоукладочных судов; полная длина и сложность маршрута (в частности, наличие крутых поворотов трассы); ограничения окружающей среды и геориски (рельеф и геология морского дна, волнение, ветер, течения и т.д.); требования полномочных властей; экологические ограничения; необходимость обхода зон боевой подготовки, военных полигонов и других зон высокого риска; минимизации прохождения в исключительных экономических зонах и т.д.

Выявлено, что при прокладке МТ учитывается и совместно обрабатывается: а) информация о факторах геосреды (метеорология, гидрология, геология морского дна, батиметрия); б) нормативно-правовая информация; в) навигационная информация; г) информация о конструкции МТ и технологии его монтажа и укладки.

Доказано, что наибольший объем и изменчивость (оперативность) имеет геоинформация о среде – это гидрология, данные метеорологической обстановки, геориски. Именно геориски (табл. 1) оказывают наиболее существенное воздействие на состояние МТ, а также решающее влияние на выбор маршрута МТ.

Таблица 1.

Геориски и оценки их воздействия на морские трубопроводы

Геологические риски	Подклассификация	Воздействие		
		C	F	R
Неустойчивость склона	Обрушение пласта (крупномасштабное)	3	1	3
	Обрушение пласта (мелкомасштабное)	2	2	4
	Ротационное обрушение			
Потоки гравитационных масс	Обломочные потоки	1	2	2
	Грязевые потоки	1	2	2
	Турбидитные потоки	2	2	4

	Мутьевые потоки	1	2	2
Движения по разломам	Взбросы	3	2	6
	Сбросы	3	2	6
Газосодержащие отложения	Провалы	1	2	2
	Грязевые вулканы	2	2	4
	Выходы газа	1	2	2
	Гидраты	1	1	1
	Карбонатные структуры	1	1	1
Неровности морского дна		1	1	1
Волны	Цунами	3	1	1
	Разжижение грунта	1	2	2

#### Степени воздействия:

S=1 нулевое или незначительное воздействие; S=2 серьезные нарушения; S=3 катастрофические нарушения.

#### Вероятность события в течение срока службы трубопровода:

F=1  $P < 10^{-4}$  предположительно, событие не произойдет в течение срока службы трубопровода;

F=2 ( $P = 10^{-2} - 10^{-3}$ ) существенная вероятность, возможно событие произойдет в течение срока службы газопровода;

F=3  $P > 10^{-2}$  событие очень вероятно и возможно произойдет несколько раз в течение срока службы газопровода;

P – вероятность неблагоприятного события.

**Уровень риска:**  $R = C \times F$ .

Выполнен обзор геоинформационных средств, используемых при проектировании и строительстве трубопроводов. Показано, что в основном ГИС использовались для управления данными при проектировании морских трубопроводов. Такие ГИС можно отнести к двум основным категориям - ГИС общего применения и специализированные ГИС.

Выявлено, что главным преимуществом специализированных ГИС является возможность учета специфических требований по обработке данных по морским трубопроводным системам. Также имеется возможность корректировки и усовершенствования программы. К недостаткам таких ГИС следует отнести трудности с вопросами модернизации как технических средств без изменений в программных продуктах, так и самих ГИС.

Установлено, что для оперативного управления в нештатных ситуациях ни одна из рассмотренных ГИС не подходит из-за отсутствия специальных диагностических моделей.

Определено, что для осуществления функций поддержки принятия решений при оперативном управлении процессом строительства МТ необходимо расширить функции существующих ГИС, разработав дополнительное приложение, способное обнаружить нештатную ситуацию, определить причины ее возникновения и выдать рекомендации по ее устранению.

Выявлено, что перспективным направлением решения этой задачи является интеграции ГИС с другими автоматизированными системами, в частности, с экспертными системами, которые оперируют со знаниями экспертов по управлению процессом строительства в нештатных ситуациях, аккумулированными в диагностической модели.

Приведен краткий обзор основных методов принятия решений, пригодных для применения в разрабатываемой интегрированной ГИС (ИГИС). Сравнительный ана-



лиз различных методов позволил выбрать метод построения деревьев решений. Рассмотрена типовая методика построения графа дерева решений.

Определены требования к диагностическим геомоделям, связывающим наблюдаемые характеристики территориального процесса строительства (факторы) с причинами, вызвавшими отклонение процесса от регламентных рамок.

Рассмотрены различные виды диагностических моделей и показано, что при синтезе экспертных диагностических моделей для представления знаний целесообразно применить комбинацию фреймовой и продукционной структур с использованием нечетких продукционных правил для формализации экспертной информации.

Определено, что процесс диагностики можно разделить на три этапа. На первом этапе устанавливается факт наличия отклонения, без выяснения причины его возникновения. На втором этапе система диагностики определяет место возникновения отклонения в технологической цепочке. Третий этап – определение причины отклонения или нарушения, т.е. идентификация нештатной ситуации.

Глава заканчивается выводами и постановкой задач исследования.

**Во второй главе** рассмотрены особенности структуры ИГИС для поддержки принятия решений при строительстве морских трубопроводов. По результатам анализа обзора состояния проблемы в разрабатываемой системе интеграцию ГИС и ЭС решено проводить с ведущей ролью экспертной системы, что определило общую структуру ИГИС. Интеграция коснулась базы данных: в ИГИС используется объединенная база данных (БД), где теперь должна храниться пространственная информация и текущие значения измеренных факторов. Задачами ГИС остаются обработка пространственной информации и управление объединенной БД.

Структурная схема разрабатываемой интегрированной ГИС (ИГИС) приведена на рис.2. Данные о состоянии трубопровода, получаемые с подводных аппаратов, вводятся автоматически или вручную в систему и регистрируются в БД, образуя соответствующий слой атрибутов ИГИС. При этом производится привязка их к координатной сетке и трассе трубопровода. Эти функции выполняются программным обеспечением ГИС, условно обозначенным на рис.2 как модуль обработки пространственной информации. Эти данные либо прямо представляют измеряемые факторы, по которым определяется состояние технологического процесса строительства трубопровода, либо служат исходной информацией для вычисления других, неизмеряемых прямо факторов, с помощью расчетных модулей, сгруппированных в блоке присоединенных процедур диагностической модели.

База знаний (БЗ) ИГИС содержит диагностическую модель технологического процесса и относится к экспертной системе. Диагностическая модель описывает возможные нештатные ситуации в процессе строительства, связывая причины их возникновения с факторами (симптомами), которые наблюдаются контролирующей аппаратурой или вычисляются по известной информации. При диагностике с помощью модели решается обратная задача: по наблюдаемым или вычисленным значениям факторов определяются возможные причины возникновения такой ситуации. Это производится интерпретатором ИГИС, который в определенном порядке просматривает элементы диагностической модели, сравнивает текущую ситуацию с ситуациями, определяемыми моделью, и по результатам сравнения строит диагноз и выдает рекомендации по устранению выявленных нарушений в нормальном ходе процесса.

Интерпретатор в случае необходимости инициирует работу требуемых модулей из блока присоединенных процедур для проведения тех или иных вычислений. Он же инициализирует процедуры выбора оптимальной альтернативы при многоальтернативности возможных решений по устранению выявленных нарушений.

Анализ технологического процесса строительства морских трубопроводов показал, что возможные нештатные ситуации могут быть вызваны самыми разнообразными причинами. Это, прежде всего, причины, связанные с геообстановкой, отличиями особенностей морского дна от принятых в проекте, погодными условиями и вызванными ими состояниями моря, механическими дефектами конструкции трубопровода и т.п. Такое разнообразие характера причин и их физической природы делает целесообразным использование фреймовой структуры диагностической модели. При этом характер причин может рассматриваться, как классификационный признак при декомпозиции процесса строительства, что представляет несомненное удобство для эффективной организации экспертного опроса.

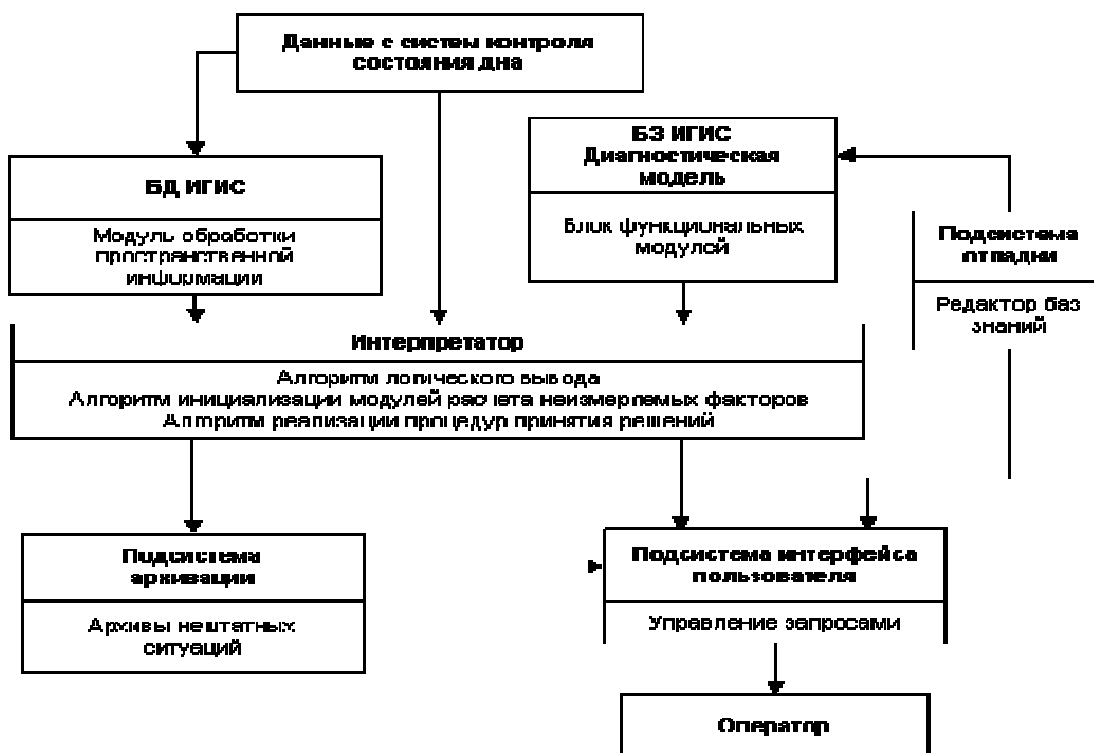


Рис.2. Структурная схема ИГИС

Показано, что для разработки диагностической модели ИГИС наиболее подходит иерархическая фреймово-продукционная структура. Это объясняется тем, что некоторые классы получаются достаточно разнородными и позволяют разделить на подклассы, определяемые одним или (реже) несколькими основными факторами. Это привело к иерархической структуре фреймов модели. Фреймы верхнего уровня (корневые) образуют своеобразную сеть, что позволяет, переходя по сети от фрейма к фрейму, определить состояние объекта в целом, т.е. обнаружить возникшие нештатные ситуации, вызванные причинами различного характера. Причинно-следственные отношения устанавливаются внутри каждого класса. Для их формализации чаще всего используются продукционные правила.

Определены типовые структуры корневых и дочерних фреймов. Структура типового корневого фрейма  $FrK_i$  имеет вид:

$$FrK_i = \{ NFrK_i, Atr_i, ACV_i, Mtr_i, St_i, Pr_i, FrD_i, next \}, \quad (1)$$

где приняты следующие обозначения слотов:  $NFrK_i$  – имя корневого фрейма;  $Atr_i$  – список основных факторов  $\{Q_i\}$ , определяющих группы (подклассы) ситуаций, опи-

сываемых дочерними фреймами данного корневого фрейма;  $ACV_i$  - текущие значения  $\{s_i\}$  основных факторов в момент проведения диагностики;  $Mtr_i$  - матрица причинно-следственных отношений с элементами  $\{\lambda_{ij}\}$ ;  $St_i$  - статус фрейма ( $St=1$ , если выявлена хоть одна группа ситуаций в зоне ответственности данного корневого фрейма;  $Pr_i$  - присоединенные процедуры;  $FrD_i$  - список дочерних фреймов;  $Next$  - имя корневого фрейма, к которому переходит управление при обходе сети.

Структура дочернего фрейма имеет вид:

$$FrD_{ij} = \{NDFr_{ij}, FrK_i, Atr_{ij}, ACV_{ij}, St_{ij}, CF_{ij}, DM_{ij}, Diag_{ij}, Rec_{ij}, Prog_{ij}\}, \quad (2)$$

где приняты следующие обозначения слотов:  $NDFr_{ij}$  - имя дочернего фрейма;  $FrK_i$  - имя родительского (корневого) фрейма;  $Atr_{ij}$  - список дополнительных факторов  $\{q_{ij}\}$ , по которым определяется причина, вызвавшая данную нештатную ситуацию;  $ACV_{ij}$  - текущие значения дополнительных факторов  $\{s_{ij}\}$ ;  $St_{ij}$  - статус ситуации (выявленная, возможная и невыявленная);  $CF_{ij}$  - степень развития ситуации;  $DM_{ij}$  - список продукционных правил  $RL_{ijk}$ , определяющих конкретную ситуации в подклассе ( $i$  - индекс корневого фрейма,  $j$  - индекс дочернего фрейма,  $k$  - индекс правила в слоте);  $Diag_{ij}$  - список возможных причин  $Dg_{ijk}$ , вызывающих нештатные ситуации, описываемых данным дочерним фреймом;  $Rec_{ij}$  - список рекомендаций  $Rc_{ijk}$  по устранению нарушений;  $Prog_{ij}$  - список прогнозов последствий  $Pg_{ijk}$ , которые могут возникнуть при развитии нештатных ситуаций, если не устранять причин, их вызвавших.

В некоторых случаях встречаются ситуации, которые представляют один класс и не имеют подкласса. Они описываются одним корневым фреймом, не имеющим дочерних фреймов. Соответственно у него будет несколько иная структура, представляющая собой фактически комбинацию рассмотренных выше обоих типов фреймов (1) и (2). В отличие от фрейма по выражению (1) этот фрейм будет иметь дополнительные слоты, аналогичные соответствующим слотам фрейма типа (2), а именно: слоты  $CF$ ,  $Dm$ ,  $Diag$ ,  $Rec$ ,  $Prog$ . В то же время слоты  $Mtr$  и  $FrD$  будут отсутствовать.

Структурная схема диагностической модели, описывающей нештатные ситуации в процессе строительства морских трубопроводов, приведена на рис.3.

**В третьей главе** для идентификации модели (рис.3) были рассмотрены методы сбора экспертной информации и принят комбинированный метод, при котором сначала была сформирована скелетная модель на основе текстологических методов сбора информации. Затем были составлены опросные листы и проведено анкетирование, результаты которого обсуждены при прямом контакте с экспертами.

В результате работы с документальными источниками и обсуждения полученных результатов с экспертами было выделено 10 классов нештатных ситуаций, существенно отличающихся характером причин, их вызывающих. Это дало возможность сформировать сеть из 10 корневых фреймов (верхний уровень диагностической модели).

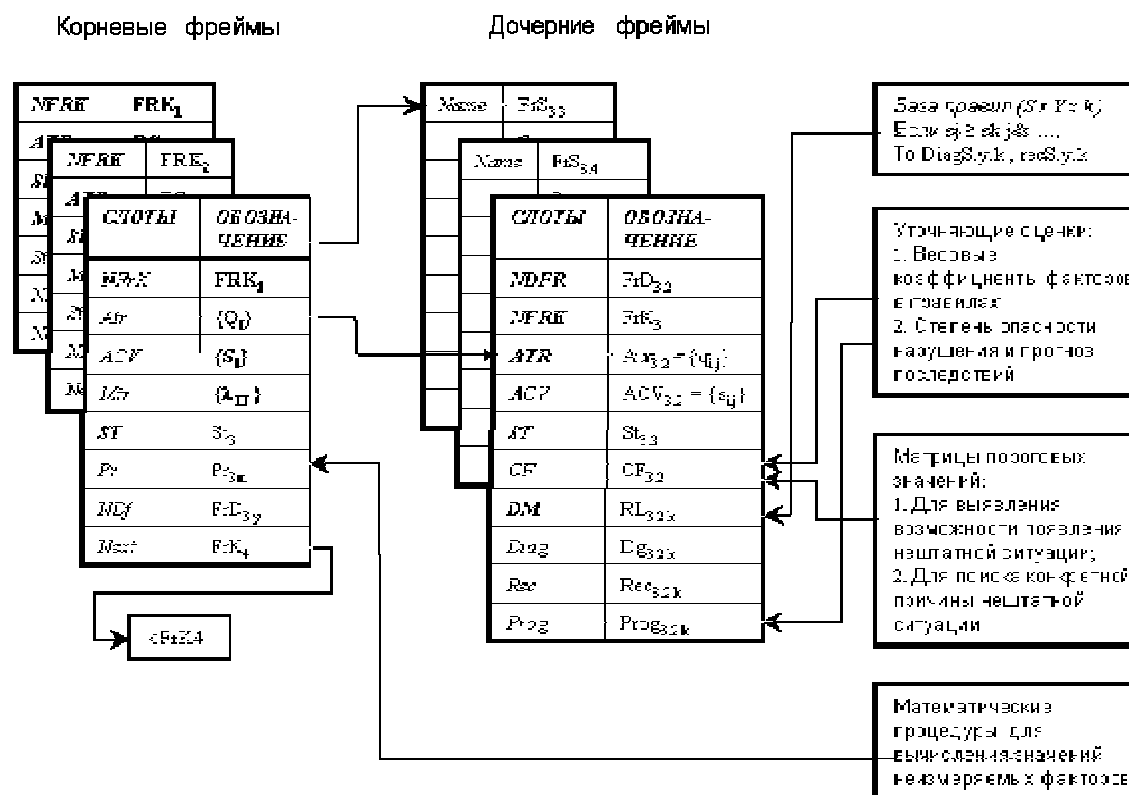


Рис.3. Обобщенная структура двухуровневой фреймово-продукционной диагностической геомодели для выработки вариантов решений в нештатных ситуациях при строительстве морских трубопроводов

Корневые фреймы описывают нештатные ситуации, связанные с: 1) изменением гидродинамических условий; 2) отличием проектных и фактических данных батиметрии; 3) отличием (изменением) параметров дна. Несколько кластеров связаны с нарушениями состояния трубопровода из-за: 4) деформации труб; 5) нарушения наружных покрытий; 6) снижением электрохимической защиты. Наконец, выделены группы ситуаций, связанных с: 7) отклонениями фактической трассы трубопровода; 8) обнаружением пересекаемой инженерной коммуникации; 9) экологическими проблемами и 10) обнаружением археологических объектов.

Внутри кластеров, описываемых корневыми фреймами, были выделены подклассы ситуаций, что позволило сформировать необходимые дочерние фреймы. Определены значения всех слотов дочерних фреймов. Сформированы матрицы  $Mtr$  причинно-следственных отношений, позволяющие быстро выходить на тот или иной дочерний фрейм данного корневого фрейма.

На основании анализа экспертной информации формировались продукционные правила  $RL_{ijk}$ , заносимые в слот  $DM_{ij}$   $j$ -того дочернего фрейма, подчиненного  $i$ -тому корневному фрейму. При необходимости вычислений определяющих параметров вводилось вспомогательное правило, в условной части которого были наблюдаемые факторы, значения которых выходили за определенные пороги, а в правой части – перечень процедур, вызываемых из модуля Блока функциональных модулей БЗ (рис.2).

Рассмотрение фреймов диагностической модели показало, что многоальтернативность при принятии решений в основном связана с выбором оптимальных вариантов при возникновении неучтенных проектом препятствий по трассе трубопровода, т.е. с неожиданными осложнениями геобстановки по трассе. Основным критерием для выбора альтернативы является оценка затрат на реализацию возможного решения.

На основании анализа различных методов принятия решений показано, что в этом случае в рассматриваемой задаче для оценки альтернатив целесообразно принять метод построения деревьев решений.

Обобщенная характеристика участков дна включает гидрографические и геофизические данные рассматриваемых участков. К этим данным относятся такие характеристики участков, как наличие оврагов, дюн, неоднородностей гребенчатого характера, илистого или газонасыщенного грунтов, скрытых в илистых отложениях скальных выступов, а также их удаленность от проектной трассы трубопровода и возможные риски природного характера, связанные с этими участками. Эта информация либо выбирается системой из БД ГИС, либо, если она отсутствует в БД, то вносится в БД при дополнительном обследовании прилегающих участков дна при обнаружении нештатной ситуации.

При этом целесообразно принять длину рассматриваемого участка равной удвоенному допустимому свободному пролету, а его ширину – 3-5 кратной точности укладки (обычно 10-12 м). Удаленность участка от трассы будем характеризовать кратно полуширине рассматриваемого участка. В возможные риски входят вероятности оползней, схода мутьевых потоков, попадания в струйные течения, наличия затопленных объектов, неизвестных трубопроводов, кабелей и т.п.

На рис.4 показана структура одного из деревьев решений для определения необходимости обхода проблемного участка на трассе и проверки возможности обхода с минимальным смещением на один шаг (по 1-му уровню). Каждая корневая альтернатива требует для своей реализации выполнения определенных условий, что характе-

ризуется наличием «случайных» вершин. Для их аналитического представления введем вспомогательные булевы функции.

Допустим, что наличие оврага, превышающего по длине максимальный свободный пролет, а по глубине – величину, допустимую для свободного изгиба трубы, соответствует значению вспомогательной функции  $\psi_0=1$ . Аналогично, наличие возвышенности на дне со склоном, превышающим допустимый изгиб трубопровода, соответствует значению вспомогательной булевой функции  $\chi_0=1$ .

Тогда условием  $\Theta_0=1$  необходимости поиска обходного варианта будет значение любой из этих функций, равное единице, т.е.

$$\Theta_0=1, \text{ если } [\psi_0=1 \vee \chi_0=1]. \quad (3)$$

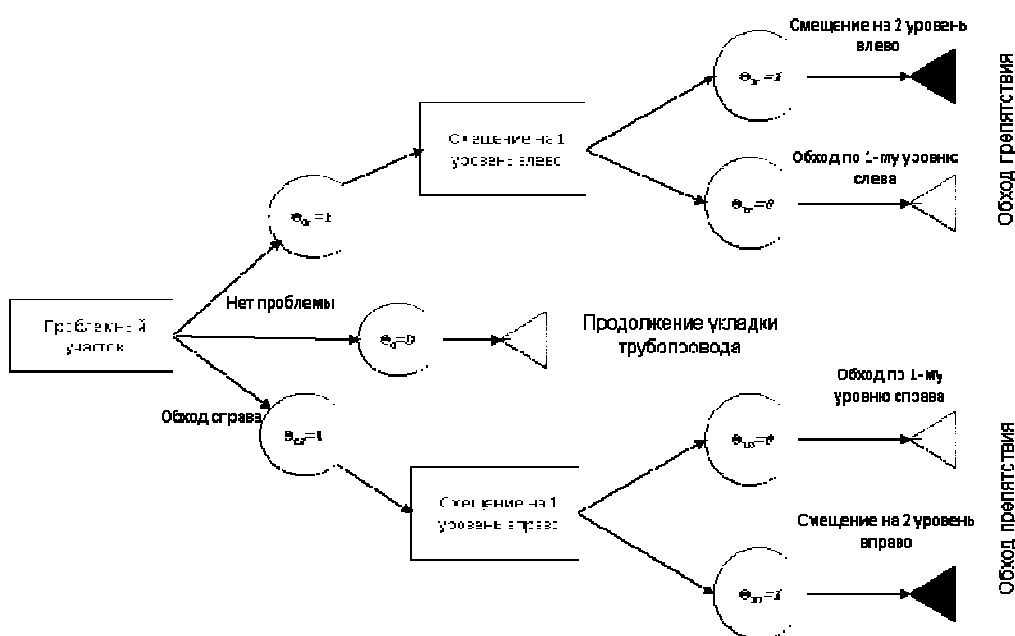


Рис.4. Первая ступень дерева решений – пример для геоситуации: «Преодоление проблемного участка»

Соответственно, равенство обеих функций нулю означает отсутствие проблемы и возможность дальнейшего продолжения укладки трубопровода:

$$\Theta_0=0, \text{ если } [\psi_0=0 \wedge \chi_0=0]. \quad (4)$$

При этом фактически определяются две функции  $\Theta_0$ : для левого  $\Theta_{0Л}$  и правого  $\Theta_{0П}$  вариантов обхода основной трассы трубопровода.

Выполнение обхода связано с отводом трубоукладчика на расстояние, равное началу изгиба трубопровода для прохождения обходного пути. Это приводит к необходимости подъема уже уложенных труб на этом участке и их утилизации. Затем трубопровод прокладывается уже новыми трубами по обходной трассе.

Естественно, что старые участки, входящие в новую трассу уже определены, как нормальные, поэтому из ГИС необходимо получить информацию о новых участках обхода.

Для характеристики этих участков вводятся новые вспомогательные булевы переменные  $\psi_{1i}$  и  $\chi_{1i}$ , характеризующие наличие оврагов или возвышенностей с недопустимыми параметрами на новых участках обхода, в данном случае по 1-му уровню. Возможность обхода по 1-му уровню или необходимость перехода на трассу с боль-

шим смещением определяет значение функции  $\Theta_1$ . При отсутствии проблем на участках по трассе 1 уровня обхода значение этой функции равно 0:

$$\Theta_1=0, \text{ если } \forall i [\psi_{1i}=0 \wedge \chi_{1i}=0 \wedge \Theta_0=1]. \quad (5)$$

При наличии на трассе обхода проблемных участков имеем:

$$\Theta_1=1, \text{ если } \exists i [\psi_{1i}=1 \vee \chi_{1i}=1 \wedge \Theta_0=1]. \quad (6)$$

При этом для выполнения условия возможности обхода (5) необходимо отсутствие проблем на всех участках трассы обхода, а для выполнения условия (6) - перехода на 2-й уровень (смещение на 2 шага) – достаточно наличия проблем (оврага или хребта с недопустимыми параметрами) на одном из участков предполагаемой трассы обхода.

При оценке возможностей обхода по второму уровню (смещение на 2 шага) или обхода с большими смещениями крайние участки трассы обхода (обозначим их  $j$ -ми участками) при возврате на основное направление трубопровода могут отстоять от начального участка трассы обхода на расстояние, которое позволяет производить работы на дне без дополнительного перемещения трубоукладчика. Т.е. расстояние, на которое отводится трубоукладчик от проблемного участка назад по трассе, чтобы обеспечить допустимую кривизну траектории трубопровода при обходе, достаточно велико, чтобы не мешать работе вспомогательных судов при проведении, в случае необходимости, интервенции на дне на этих  $j$ -х участках.

Кроме того, т.к. переход на второй уровень связан с дополнительными затратами, то критические параметры препятствий (оврага или хребта) на проблемном участке основной трассы изменяются в сторону увеличения. Т.е. становится экономически выгодным решить проблему установкой опор или срезкой возвышения (хребта), если они укладываются в новые критические параметры. И только, если они их превышают, то рассматривать вопрос о возможности обхода по второму уровню.

Аналогичные деревья строятся для каждого шага увеличения смещения от основной трассы (с дискретностью 25 м). Построены деревья решений для последовательно увеличивающихся смещений от трассы с учетом требуемых отводов трубоукладчика на расстояние, равное началу допустимого изгиба трубопровода для преодоления обходного пути. При этом очень большие смещения трассы при обходе маловероятны, т.к. необходимость в них возникает только при возникновении неожиданных, не учтенных проектом препятствий, а при проектировании трасса подвергалась тщательному изучению.

Разработан алгоритм функционирования системы, состоящий из двух частей. При обнаружении проблемы на трассе система запрашивает из базы данных ИГИС и с аппаратуры контроля состояния дна и трубопровода необходимую информацию для оценки класса проблемы (рис.5). Интерпретатор системы начинает просмотр матриц причинно-следственных отношений, определяя кластер нештатных ситуаций (дочерний фрейм), соответствующий возникшей проблеме. Далее интерпретатор находит правило, описывающее причину возникновения нештатной ситуации, и выдает оператору рекомендации по ее устранению.

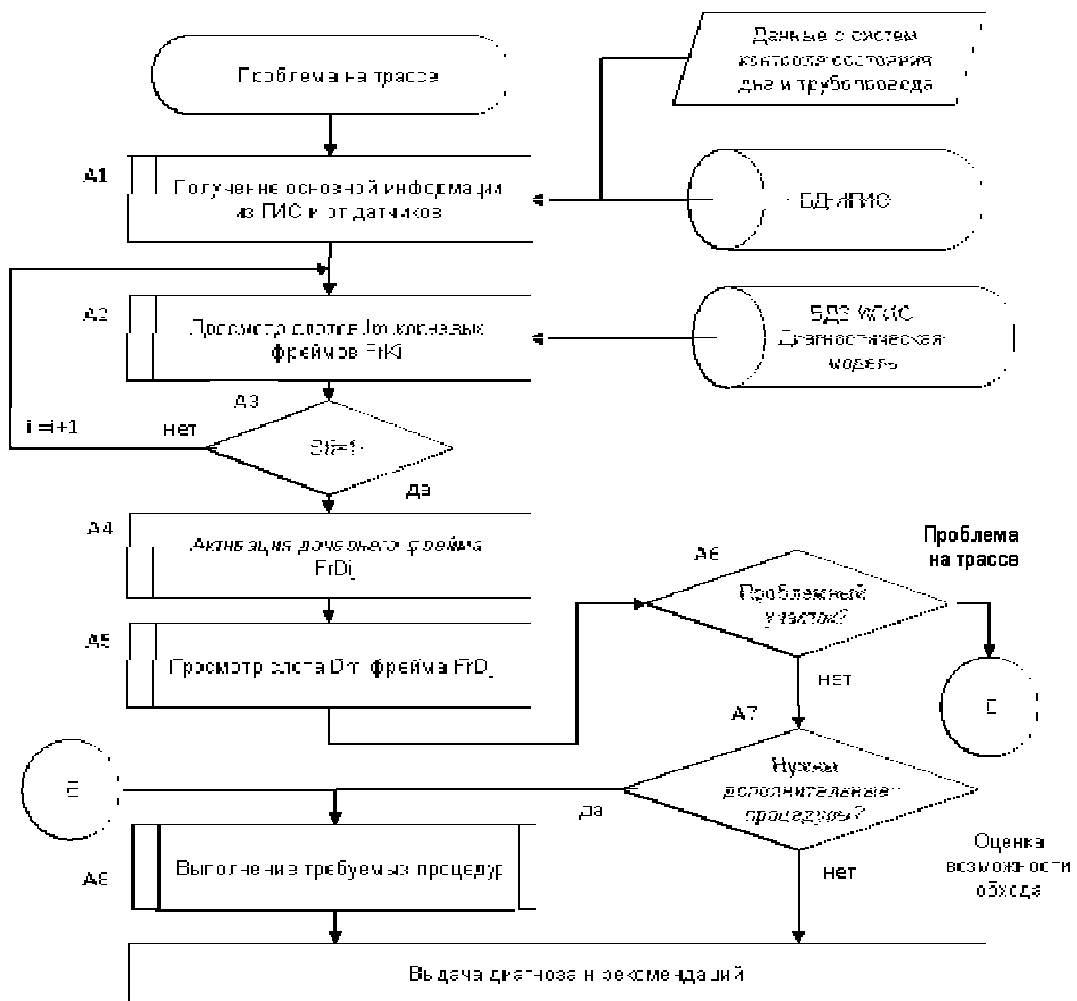


Рис.5. Укрупненная блок-схема алгоритма работы системы при разрешении пространственных конфликтов

Если решение проблемы связано с обходом проблемного участка трассы (рис. 7), то управление передается второй части алгоритма (рис. 6).

Если обход возможен (оператор В3), то проверяется отсутствие запрета на такой обход (оператор В4). Блок-схема цикла «Оценка возможности обхода» изображена на рис.8.



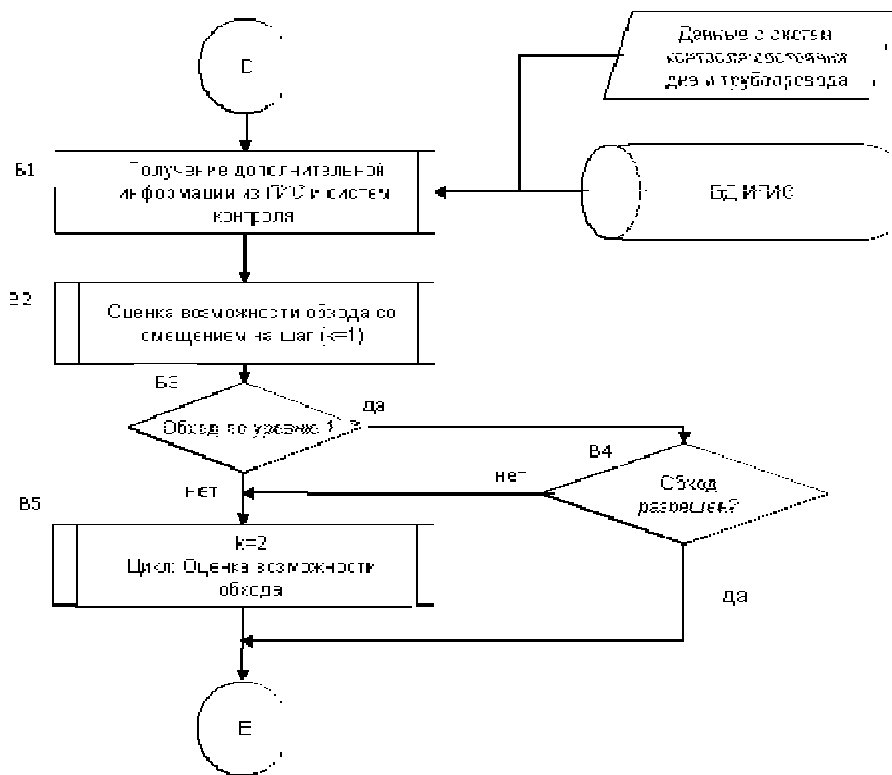
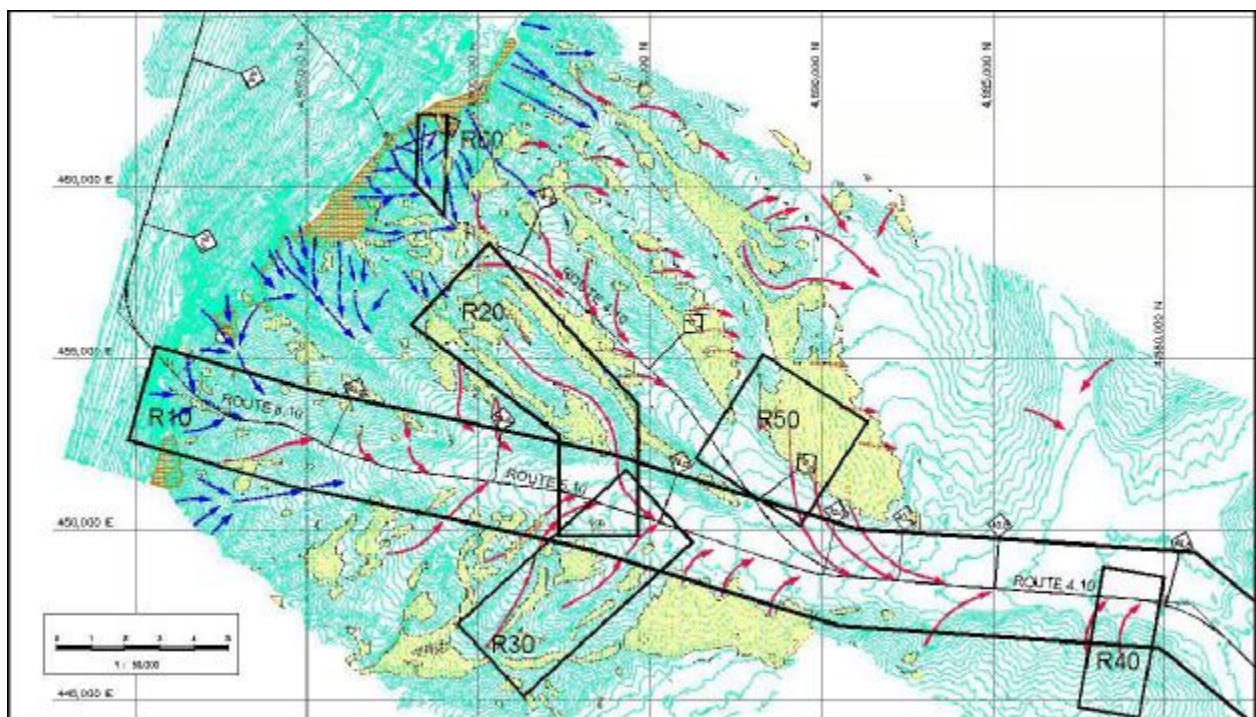


Рис.6. Блок-схема второй части алгоритма работы системы при разрешении пространственных конфликтов



- километровые отметки трассы
- зона неустойчивых осадочных отложений на границе шельфа
- зона неустойчивых осадочных отложений на склонах каньонов
- геориски, связанные с мутьевыми потоками, вызванными неустойчивостью осадков на границе шельфа
- геориски, связанные с мутьевыми потоками, вызванными неустойчивостью осадков на склонах каньонов

Рис. 7. Схема выбора маршрута МТ по критерию минимизации георисков

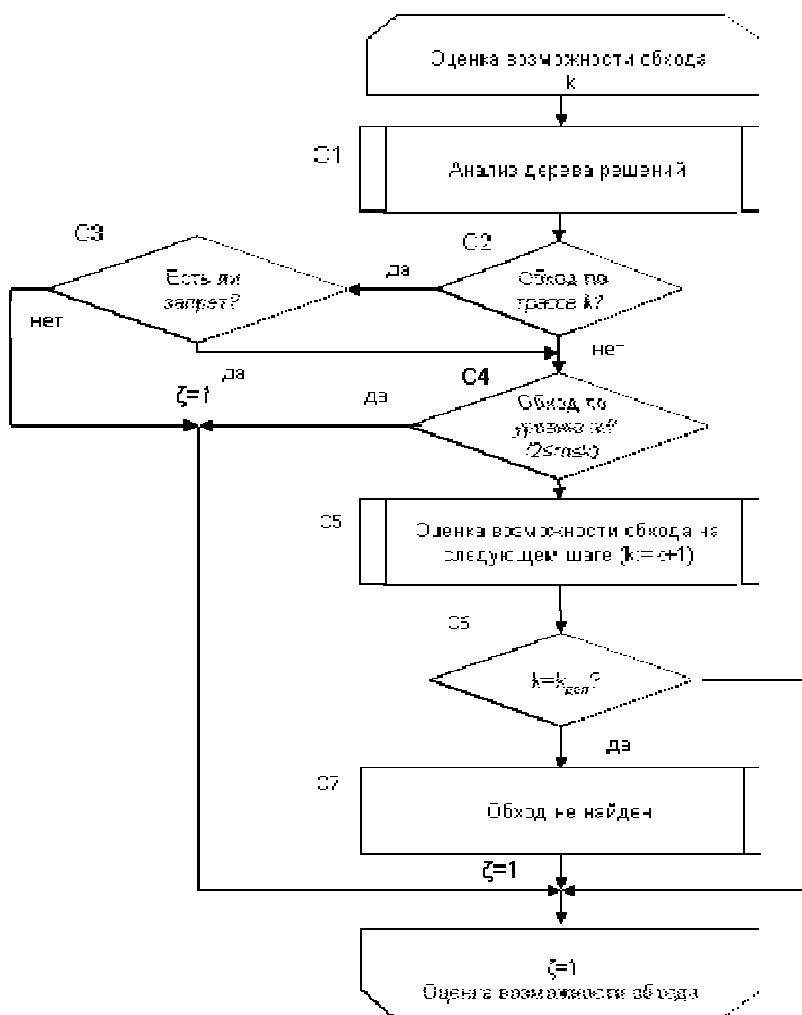


Рис.8. Блок-схема цикла «Оценка возможности обхода» при разрешении пространственных конфликтов

**В четвертой главе** приведено описание имитационного эксперимента и результаты тестирования работы системы с использованием реальных данных. Для этого был сформирован блок исходных данных, соответствующих типовому проекту. Эти данные позволили определить необходимые пороговые значения при выборе альтернатив (настроечные параметры системы) и приблизили процедуру тестирования к реальным условиям.

Для дальнейшего исследования системы оказалось удобным воспользоваться стандартной оболочкой экспертной системы со структурой модели, соответствующей структуре диагностической модели разрабатываемой ИГИС. Исследование качества работы системы проводилось в два этапа. На первом этапе по определенным по реальным данным пороговым значениям задавались различные ситуации, и оценивалось качество работы системы. На втором этапе для тестирования работы системы использовались реальные данные из «Проекта NTG» с использованием ГИС Geomedia Professional.

Для тестирования работы системы был выбран трубопровод с наружным диаметром труб  $D = 1222,2$  мм, толщиной стенки  $t = 34,6$  мм из стали X70 ( $SMYS = 485$  МПа;  $SMTS = 570$  МПа). Глубина укладки трубопровода – 150 м. При таких парамет-

рах, согласно руководящим документам, допустимая длина свободных пролетов, при которых не требуются интервенции или изменения маршрута, составляет 36,7м.

Для этого случая размеры рассматриваемых в ИГИС участков дна приняты равными 150х50м. Это соответствует установке (при необходимости) максимум 3 опор. Ширина участка выбрана с двукратным превышением минимального шага (уровня) смещения, принятого вдвое большим точности укладки трубопровода в поперечном направлении – (10-12)м.

По оцененной допустимой деформации изгиба трубопровода  $\epsilon_{\text{доп}} = 0.05\%$  был определен минимальный радиус кривизны изгиба трубопровода  $R_{\text{min}}=1222\text{м}$ . В качестве формы кривой изгиба был принят квадрат синусоиды:

$$f_{\text{sin}}(x) = h \sin^2\left(\frac{\pi x}{2a}\right), \quad (7)$$

где  $x$  – координата вдоль трассы трубопровода,  $h$  – максимальное смещение трубопровода при обходе (смещение от трассы);  $a$  – полудлина участка изгиба трубопровода. Это позволило оценить стоимость дополнительных затрат на трубы за счет удлинения трубопровода при обходе.

Из реальных проектов были взяты оценки стоимости работ при интервенциях на дне, в частности, по подсыпке гравийных опор на твердых и мягких основаниях при преодолении оврагов, по срезке пиков и возвышенностей на дне, а также стоимость потерь при отводе трубоукладчика от проблемного участка для обеспечения возможности доступа к нему вспомогательных судов.

Это позволило определить настроечные параметры системы - те критические значения гидрографических и геофизических параметров участков дна, которые влияют на значения вспомогательных переменных, определяющих ветви дерева, т.е. определяющих выбор той или иной альтернативы. Разработанная методика их определения показана на примерах.

В частности, настройка работы системы при обнаружении препятствия на трассе (**0-ой уровень**) для приведенной на рис.4 первой ступени дерева решений состоит в задании условий для определения вспомогательных переменных  $\psi_0, \chi_0$  и  $\psi_{1i}, \chi_{1i}$  для левого и правого направлений обхода:

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi_0=0, \text{ если глубина оврага } h_{\text{овр}0} < 4 \cdot 10^{-5} L_0^2, \text{ ширина оврага } L_0 < 40\text{м, иначе } \psi_0=1 \\ \chi_0=0, \text{ если высота пика } h_{\text{п}0} < 1.6 \cdot 10^{-4} L_{\text{скл}0}^2, L_{\text{скл}0} - \text{длина склона, равная} \\ \text{половине ширины пика по основанию), иначе } \chi_0=1. \end{array} \right\} (8)$$

Если выполняется условие (3), то статусу фрейма, который в качестве возможного решения рассматривает обход проблемного участка, присваивается значение  $s_0:Sts_0=1$ .

Аналогично определяются значения  $\psi_{1i}$  и  $\chi_{1i}$  для всех новых  $i$ -ых участков **1-го уровня обхода** (смещение на один шаг, принятый нами при исследовании работы системы равным 25м – половине ширины участка) и найти значения решающих функций  $\Theta_1$  для правого и левого вариантов обхода по (5) и (6). Если выполняется условие (5), то статусу фрейма, который в качестве возможного решения рассматривает обход проблемного участка, присваивается значение  $s_1:Sts_1=1$ .

Для исследования системы была использована оболочка экспертной системы КАРРА версии 2-4, представляющая собой фактически «пустую» экспертную систему. Это позволило упростить реализацию основных модулей ИГИС, т.к. многие блоки ее структурной схемы в данной оболочке уже присутствуют. Моделирование свелось

к формализации деревьев решений в виде правил и внесении этих правил в базу знаний ЭС.

Для исследования была разработана рабочая модель функционирования ИГИС. Т.к. интерес представляли ситуации, связанные с многоальтернативностью возможных решений, то основное внимание было уделено ситуациям, связанным с поиском обходных вариантов трассы. Модель рассматривала три уровня обхода с шагом 25м.

Рабочая модель представляет собой множество продукционных правил. Правила строятся на основе разработанных деревьев решений и условий, определяющих значения решающих и вспомогательных функций.

По разработанным сценариям моделировались различные препятствия на трассе и на разных участках обхода, и оценивалась работа системы. Если система ошибалась, то в соответствующие правила вносились коррективы и эксперимент повторялся. Пределы изменения параметров задавались приближенно к реальным условиям.

Диапазоны изменения параметров вводятся на этапе настройки системы в основную часть базы данных (фрейм BD), где и хранятся.

На рис.9 показано основное окно ЭС. На дисплей выдаются обнаруженные ситуации, текущие значения параметров (в случае, если они превышают критические значения) и рекомендации. Последняя строчка сообщений в этом окне соответствует результирующей рекомендации системы (рекомендуемому решению). Значения вспомогательных переменных выводятся по желанию оператора и, в основном, нужны для настройки системы.

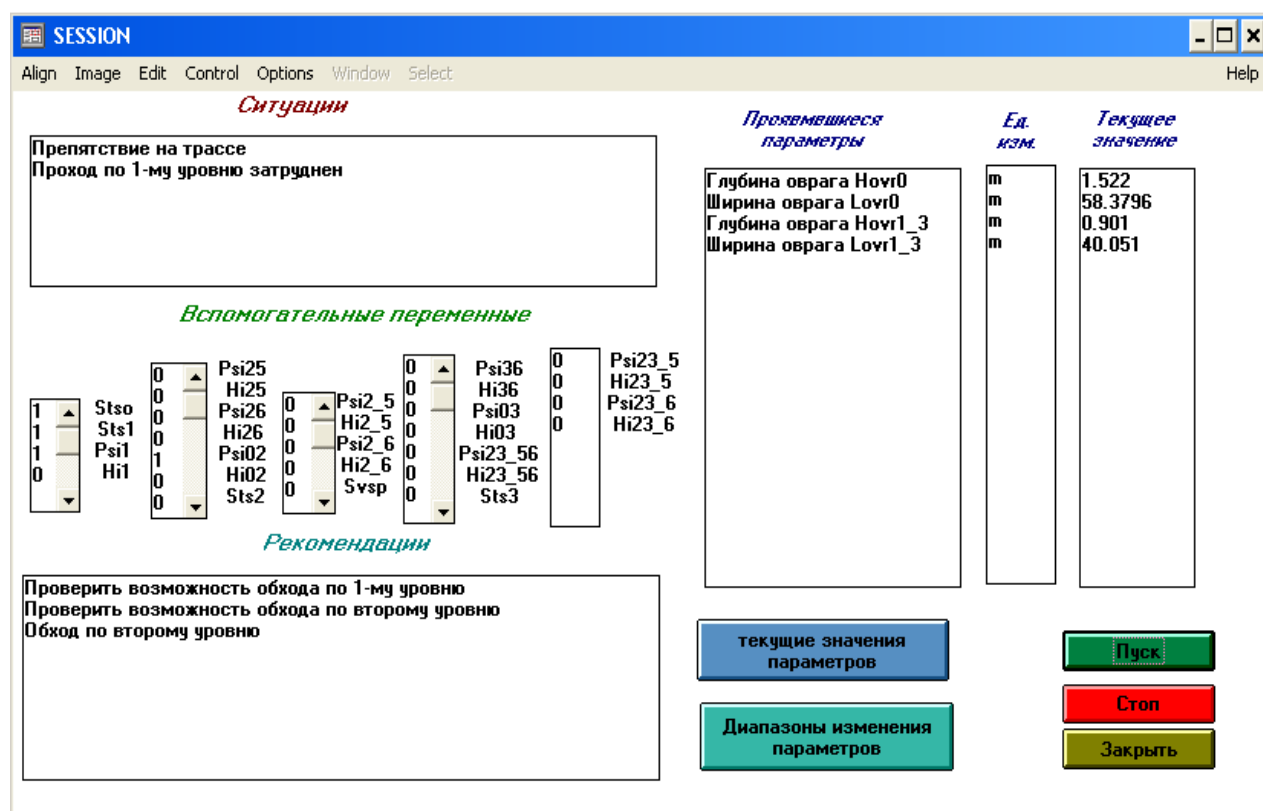


Рис.9. Вид экрана ЭС при принятии решения о возможности обхода по 2-му уровню

На рис.10 приведен вариант, когда препятствием на трассе явился овраг с глубиной 1.7м при ширине 58м. Согласно условию (3) значения вспомогательных переменных  $\psi_0$  и  $\chi_0$  равны 1, соответственно выдается сообщение «Препятствие на трассе» и

Sts0=1. Выдается рекомендация «Проверить возможность обхода по 1 уровню» и система переходит на 1 уровень.

По информации из ГИС или от аппаратуры контроля рельефа дна система находит в данном случае на одном из участков трассы предполагаемого обхода препятствие - овраг с глубиной 0.9м и шириной 40м. При этом всюду предполагаются мягкие грунты. В результате  $\psi_{13}=1$  (условие (6)) и выдается сообщение о том, что проход по 1 уровню затруднен и система проверяет возможность обхода по следующему уровню, а параметры препятствия выводятся на экран оператору.

На втором уровне сначала проверяется возможность преодоления препятствия на трассе. Но т.к. соответствующее условие не выполняется, то проверяются участки по трассе предполагаемого обхода. В данном случае там препятствий не найдено  $\psi_{2i}=0$  и  $\chi_{2i}=0$  для всех  $i$ , и пользователю выдано решение: «Обход по 2-му уровню» (смещение 50м от первоначальной трассы).

На втором этапе исследований были использованы реальные данные с участка трассы проектируемого трубопровода ("Проект NTG. Предварительные изыскания 1998г."). Данные проекта были введены в базу данных ГИС Geomedia Professional v6.1 компании Intergraph. Рассматривался участок трассы длиной чуть более 1200м шириной около 900м, отличающийся достаточно сложным профилем, на котором в проекте предлагались альтернативные трассы трубопровода. Трассы были связаны с проблемными участками и были изучены возможности обхода. На рис.10 представлена 3-D диаграмма одного из вариантов трассы, предлагаемой в проекте (пунктир), и скорректированной трассы (сплошная красная линия), предлагаемой системой. Эта трасса позволила, с одной стороны, обойти проблемные участки на основной трассе, а с другой стороны, выйти на основную трассу по кратчайшему обходному пути сразу за ее проблемными участками.

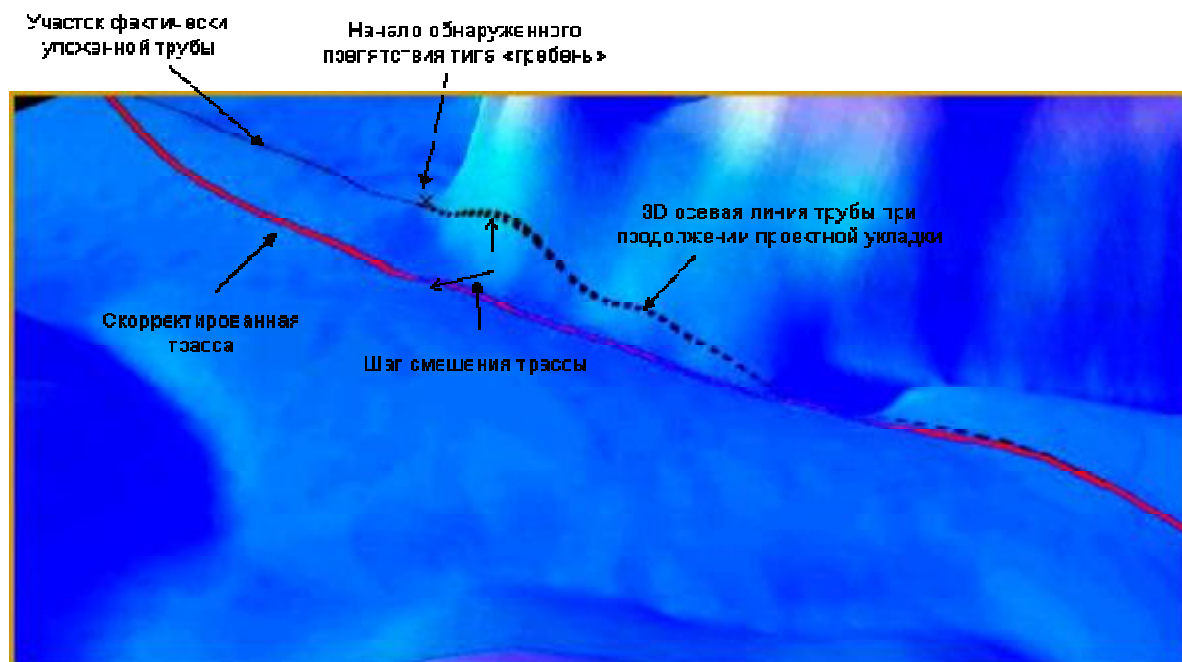


Рис. 10. Схема пространственного решения со вторым вариантом трассы (пунктир) и скорректированной трассой (сплошная линия) обхода (первый проблемный участок по основной трассе отмечен знаком «x»)

Таким образом исследование работы системы с различными вариантами сценариев и на реальных данных показало, что система позволяет быстро оценить ситуацию и выбрать оптимальное по затратам решение по трассе обхода.

### **Основные выводы**

1. Проведенный анализ показал, что ГИС используются при проектировании трубопроводов для управления данными и при их эксплуатации (например, для анализа данных внутритрубной диагностики), при планировании ремонтных работ и т.п. Возможности использования ГИС для управления строительством морских трубопроводов в литературе практически не освещены, хотя в других областях они используются достаточно широко.

2. Показано, что основа функционирования систем, обеспечивающих поддержку принятия управленческих решений в нестандартных ситуациях, возникающих в процессе строительства морских трубопроводов, связана с диагностикой состояния контролируемого процесса. Для решения таких задач необходима интеграция ГИС с другими системами, в частности, с экспертными системами (ЭС).

3. Разработана структурная схема ИГИС. База знаний ИГИС содержит диагностическую модель процесса, описывающую возможные нестандартные ситуации в процессе строительства, связывая причины их возникновения с факторами (симптомами). Интерпретатор включает программные блоки, реализующие алгоритмы логического вывода, блок расчетных процедур, блок выработки решений.

4. Предложена и идентифицирована двухуровневая фреймово-продукционная диагностическая модель. Рассмотрены структуры корневых и дочерних фреймов; для формализации причинно-следственных отношений предложено использовать продукционные правила, размещаемые в дочерних фреймах.

5. Предложена методика оценки альтернатив в случае многоальтернативности при выборе решения по преодолению нестандартной ситуации. Основным критерием для выбора альтернативы является оценка затрат на реализацию возможного решения с учетом гидрографических и геофизических параметров участков дна. Рассмотрена методика и построены деревья решений для поиска оптимальных альтернатив.

6. Разработан алгоритм функционирования системы, состоящий из двух частей. При обнаружении проблемы на трассе интерпретатор определяет кластер нестандартных ситуаций (дочерний фрейм), соответствующий возникшей проблеме и, далее, правило, описывающее причину возникновения нестандартной ситуации, выдавая оператору рекомендации по ее устранению. Если решение проблемы связано с коррекцией трассы, то управление передается второй части алгоритма. Поиск варианта обхода происходит в цикле.

7. Проведено экспериментальное исследование работоспособности системы методом имитационного моделирования. Исследование системы проводилось с использованием оболочки стандартной экспертной системы в два этапа. На первом этапе по различным сценариям задавались нестандартные ситуации, и оценивалось качество работы системы; на втором - для тестирования работы системы использовались реальные данные из «Проекта NTG».

8. По результатам эксперимента можно сделать вывод о том, что система позволяет в процессе строительства морских трубопроводов в режиме реального времени оперативно оценивать геоситуацию и вырабатывать соответствующие пространственные рекомендации. Система может использоваться, как по прямому назначению для поддержки принятия управленческих решений в нестандартных ситуациях при

строительстве морских трубопроводов, так и в режиме тренажера при подготовке оперативного персонала к реализации проекта.

### Публикации по теме диссертации

#### I. Публикации из рекомендованного ВАК перечня:

1. Серебряков А.М., А.З. Шайхутдинов, В.В. Салюков, Ю.Н. Еремеев, А.Н. Блинков Электронная исполнительная документация «как-построено» – шаг к новому качеству магистральных газопроводов // Газовая промышленность. 2008. – № 7. – С. 66 – 69.
2. Серебряков А.М., Карасевич А.М., Сухарев М.Г., Тверской И.В. Совершенствование нормативной базы проектирования в области системной надежности магистрального транспортного газа // Наука и техника в газовой промышленности, 2010. – № 2. – С.107 - 110.
3. Серебряков А.М. Структура ГИС для поддержки принятия решений в нештатных ситуациях при строительстве морских трубопроводов // Нефть, газ и бизнес, 2010. – № 5. – С. 3 – 7.

#### II. Другие публикации:

4. Серебряков А.М., Биденко С.И. Интеграция процедур пространственного анализа и экспертных оценок в геоинформационных средствах проектирования морских трубопроводов // Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 15 / Под ред. С.И. Биденко - СПб: Изд-во ГМА, 2009 - С. 11 - 17.
5. Серебряков А.М., А.И. Степанюк. Измерительный комплекс гидрометеорологического мониторинга для буровых платформ шельфа замерзающих морей /А– Труды IX Всероссийской конференции: Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики СПб: Наука, 2008. – С. 510-512.
6. Серебряков А.М. С песней по жизни, по трубопроводам со стандартом // PCWeek (Компьютерная неделя, 12-18 марта, 2007, № 9 (327)). – С. 8 – 9.
7. Серебряков А.М., Биденко С.И. Интеграция методов ГИС-анализа и экспертных систем при прокладке морских трубопроводов // Записки по гидрографии, 2006. - № 267а. - С. 17 – 23.
8. Alekseev S.P., Dobrotvorsky A.N., Serebryakov A.M., Stavrova E.V. Complex Assessment of Natural Conditions for Offshore Pipeline Route Optimization. – The Proceedings of the Ninth (1999) International Offshore and Polar Engineering Conference (Brest, France, ISOPE-99). - 1999, -vol. II. - pp. 106-111.
9. Alekseev S.P., Dobrotvorsky A.N., Serebryakov A.M. Complex Assessment of Natural Conditions for Offshore Pipeline Route Optimization. - Proceedings RAO-99 // Development of Russian Arctic Offshore (Fourth International Conference, St.Petersburg, 1999). - Part I, - pp.254-266.
10. Давидан И.Н., Добротворский А.Н., Лавренов И.В., Серебряков А.М., и др. Результаты исследования процессов переформирования рельефа дна под воздействием волнения, течений и ледяного покрова в некоторых прибрежных районах Балтийского моря. - Сборник «Труды конференции RAO\GIS Off-shore 2005» /Седьмая международная конференция и выставка по освоению ресурсов нефти и газа россий-

ской Арктики и континентального шельфа СНГ»- С-Петербург, 13-15 сентября 2005г. – С.328-333.

11. Анцыферов С.М., Давидан И.Н., Добротворский А.Н., Драбкин В.В., Дружевский С.А., Лавренов И.В. (ААНИИ), Леонтьев И.О., Серебряков А.М., Кантаржи И.Г., Неелов И.А. Динамика рельефа дна под воздействием волнения, течений и ледяного покрова в некоторых прибрежных районах Балтийского моря. - Тезисы докладов конференции «НЕВА»/Восьмая международная конференция «Российское судостроение и судоходство, деятельность портов, освоение океана и шельфа». - С-Петербург, 23-25 сентября 2005г. – С.82-83.

12. Нормы проектирования и строительства морского газопровода/ВН 39-1.9-005-98 / Утверждено ОАО «Газпром» / М.А. Камышев, В.И. Хоменко, Н.Г. Фигаров, А.С. Болотов, Н.П. Глазов, А.М. Серебряков и др. – М.: 1998. – 214 с.

13. Нефтегазовое строительство / Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Менеджмент орг.» / В.Я. Беляева, А.М. Михайличенко, А.М. Серебряков и др. / Под общ.ред. проф. И.И. Мазура и проф. В.Д. Шапиро. - М.: Омега-Л, 2005. – 774 с.

14. Положение об экспертизе предпроектной и проектной документации в ОАО «Газпром» /СТО Газпром 2-2.1-031-2005/Н.В. Крамаренко, А.В. Васильева, А.М. Серебряков, Т.П. Лобанова и др. Под.ред. В.В. Русаковой, Р.Л. Курилкина, И.В. Мещерина / Утверждено ОАО «Газпром» – М.: 2005. – 319 с.