

**Московский физико-технический институт**  
**Факультет общей и прикладной физики**  
**Кафедра системной интеграции и менеджмента**

Смирнов Константин Евгеньевич

группа 225а

**Разработка технологии построения виртуального ситуационного  
центра на основе недоопределенной математики**

**Магистерская диссертация**

Научный руководитель

д. ф.-м. н., проф. Клименко С.В.

Научный консультант

к. ф.-м. н., Нариньяни А.С.

Рецензент

д. т. н., проф. Вольфенгаген В.Э.

Москва

2008 г.

## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Ситуационные центры.....</b>	<b>10</b>
1.1. Общие сведения о ситуационных центрах .....	10
1.2. Классификация ситуационных центров .....	16
1.2.1. По функциональности СЦ .....	16
1.2.2. По целевой направленности СЦ.....	19
1.2.3. По масштабу решений.....	20
1.2.4. По способу отображения и выработки решений .....	22
1.2.5. По универсальности .....	23
1.3. Компоненты ситуационных центров .....	23
1.3.1. Информационно-аналитические компоненты .....	24
1.3.2. Компоненты технического оснащения.....	28
1.3.3. Компоненты для обеспечения коллективной работы пользователей СЦ .....	30
1.4. Режимы работы ситуационных центров.....	32
1.5. Требования к виртуальному ситуационному центру .....	34
1.5.1. Требования к информационно-аналитическому обеспечению....	35
1.5.2. Требования к оснащению СЦ.....	35
1.5.3. Требования к организации коллективной работы пользователей ВСЦ .....	36
<b>2. Технология недоопределенных моделей.....</b>	<b>38</b>
2.1. Программирование в ограничениях .....	38
2.2. Недоопределенные модели .....	39
2.3. Недоопределенные переменные .....	41
2.4. Недоопределенные вычисления .....	43
2.5. Взаимодействие пользователя с системой недоопределенных вычислений .....	45

<b>3. Разработка компонентов виртуального ситуационного центра на основе недоопределенной математики .....</b>	<b>48</b>
3.1. Виртуальный ситуационный центр на основе недоопределенной математики.....	48
3.2. Архитектура виртуального ситуационного центра .....	50
3.3. Компоненты виртуального ситуационного центра .....	52
3.3.1. Вычислительное ядро на основе N-моделей.....	52
3.3.2. Веб-компоненты.....	53
3.3.3. Графические компоненты .....	61
3.4. Режимы работы виртуального ситуационного центра.....	64
3.5. Моделирование ситуаций в многопользовательском режиме .....	66
3.6. Методы повышения эффективности решения задач с помощью N-моделей.....	68
<b>4. Практическое использование виртуального ситуационного центра на основе недоопределенной математики .....</b>	<b>70</b>
4.1. Сферы применения виртуального ситуационного центра.....	70
4.2. Решение практических задач в среде виртуального ситуационного центра .....	73
4.2.1. Экономические и финансовые задачи .....	73
4.2.2. Моделирование с использованием трехмерной визуализации ....	86
<b>Заключение.....</b>	<b>94</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>96</b>

## **Введение**

Интенсивное развитие информационных технологий привело к резкому росту объемов производимой информации. Для принятия правильных управленческих решений необходимо осознать, структурировать и проанализировать наиболее важную информацию. Обеспечение поддержки принятия решений осуществляется с помощью информационно-аналитических систем. В условиях постоянно растущей сложности анализируемых процессов и систем, а также сокращения времени на принятие решений создание мощных информационно-аналитических систем является стратегической задачей.

Целью создания таких систем является повышение эффективности управления и снижение риска возможных управленческих ошибок. Пользователи системы должны иметь возможность получить любую необходимую информацию по любому объекту, спрогнозировать и проанализировать последствия управленческих решений до их принятия, принять решения и довести их до исполнителей с контролем исполнения. При возможных различиях в составе систем поддержки принятия решений, их функциях и задачах общей целью остается обеспечение принятия оптимальных решений за минимальное время.

Одним из наиболее перспективных типов информационно-аналитических систем являются ситуационные центры (СЦ). СЦ представляет собой интегрированный программно-аппаратный комплекс для поддержки принятия решений. Основные функции, выполняемые СЦ: сбор и обработка входной информации, мониторинг ситуации, моделирование вариантов развития событий, аналитическая обработка данных и прогнозирование, визуализация результатов моделирования в наиболее удобной и понятной форме [1-7].

В настоящее время СЦ находят все более широкое применение во всем мире как инструмент подготовки управленческих решений в кризисных ситуациях, а также для подготовки стратегических и оперативных решений в политике, государственном и корпоративном управлении, образовании и других сферах. Число СЦ в мире уже превышает несколько сотен. Актуальность создания СЦ велика и для России. В то же время методы создания и использования СЦ у нас в стране еще не достаточно разработаны, несмотря на реализацию ряда крупных проектов СЦ (Президента Российской Федерации, система информационно-аналитического обеспечения управления приоритетными национальными проектами, Кризисного центра Концерна «Росэнергоатом» и др.).

Ключевой функциональной составляющей СЦ, которая используется для анализа ситуации и альтернативных вариантов развития событий, в большинстве случаев является компьютерная модель анализируемой предметной области. Разработка таких моделей весьма трудоемкая, а иногда и неразрешимая задача вследствие ограничений математического и программного инструментария, имеющегося у разработчика модели, а также его квалификации в области программирования, что особенно важно при необходимости оперативной разработки и анализа моделей. Дополнительной трудностью может быть отсутствие или неточность входной информации.

Другая важная проблема СЦ состоит в том, что подготовка и принятие решений в СЦ осуществляется, как правило, достаточно узкой группой лиц, для которых готовится аналитическая и оперативная информация. Несмотря на то, что многие СЦ снабжаются веб-интерфейсами, которые обычно выполняют вспомогательную информационную функцию, принципы подготовки решений в них остаются прежними. В то же время в современном мире масштабных

социально-экономических и технологических систем ведущей тенденцией становится распределение процесса подготовки и принятия решений и придание им сетевого характера. Этому способствует развитие информационных технологий, в частности, сети Интернет. Примером такой еще не реализованной системы является инфраструктура, создаваемая в рамках Федеральной целевой программы "Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008 – 2010 годы", в которой участвуют организационные структуры разного типа из сфер государственного управления, науки, образования, бизнеса и т.д. Другой пример современных сетевых междисциплинарных объединений ученых – виртуальные научные институты, научно-технологические парки и пр.

Третья принципиальная проблема, которая свойственна системам управления сложными системами и, следовательно, СЦ как одному из инструментов управления, состоит в том, что часто описание этих систем с трудом поддается формализации. В связи с этим подготовка решений на основе использования формализованной и неформализованной информации может быть затруднена из-за отсутствия специалистов и слабой организации работы СЦ. При этом управленческие решения принимаются на интуитивном уровне, и их эффективность лишь косвенно связана с работой СЦ.

Анализ описанных выше проблем развития СЦ дают основание сформулировать ряд принципиальных требований, которым должны удовлетворять не узкоспециализированные СЦ в современных условиях:

- математический аппарат и программное обеспечение должно иметь максимально универсальный характер, позволяющий создавать сложные математические модели междисциплинарного характера, по возможности, не требовать специальных знаний в программировании, иметь высокую производительность, а также возможность распараллеливания в расчете на

перспективу использования суперкомпьютеров с параллельной архитектурой и GRID-сетей;

- должна быть обеспечена возможность создания сложных математических моделей распределенным коллективом разработчиков, работающем как в локальных сетях, так и в сети Интернет;

- должна быть обеспечена удобная коммуникация между участниками процесса подготовки решений (предметными специалистами - разработчиками моделей, аналитиками, лицами, участвующими в подготовке и принятии решений).

Если добавить к этим требованиям желательную портативность, возможность обслуживания в режиме аутсорсинга, минимальную стоимость, то анализ всех перечисленных требований приводит нас к выводу необходимости разработки экспериментальной системы, которая получила название «Виртуальный ситуационный центр на основе недоопределенной математики (Н-математики)». Данный математический аппарат разработан в Российском НИИ искусственного интеллекта [21-23].

**Цель работы.** Целью работы является разработка технологии построения экспериментального средства подготовки управленческих решений под названием «Виртуальный ситуационный центр на основе недоопределенной математики» и экспериментальное исследование его возможностей на примере решения некоторых практических задач.

Для достижения указанной цели в работе решены следующие **задачи.**

1. Исследование существующих разработок в области ситуационных центров и формулировка требований к виртуальному ситуационному центру.

2. Разработка архитектуры виртуального ситуационного центра.

3. Интеграция технологии недоопределенных моделей (Н-моделей), веб-технологий и технологий визуализации (двумерной и трехмерной) и разработка программных компонентов СЦ.

4. Разработка методов повышения эффективности решения задач с использованием технологии Н-моделей.

5. Исследование возможностей виртуального ситуационного центра на примере решения практических задач.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются ситуационные центры. Предметом исследования являются принципы построения виртуальных ситуационных центров.

**Научная новизна.** В работе получены следующие новые результаты.

1. Разработана архитектура виртуального ситуационного центра на основе Н-математики, выполнена ее программная реализация и экспериментальное исследование его возможностей при решении практических задач.

2. Впервые разработана система, обеспечивающая многопользовательский режим доступа к вычислительному ядру на основе технологии Н-моделей.

3. Впервые осуществлена интеграция технологии Н-моделей, веб-технологий и технологии виртуальной реальности.

4. Предложены новые методы повышения эффективности решения задач с использованием технологии Н-моделей на основе возможностей виртуального ситуационного центра.

**Практическая значимость.** Практическая значимость результатов заключается в разработке инструмента поддержки принятия решений, качественно повышающего ее эффективность за счет интеграции мощного математического аппарата, веб-технологий и технологий визуализации.

Разработанный инструмент достаточно универсален и может служить основой для создания виртуальных ситуационных центров в



различных областях, таких как государственное и корпоративное управление, научная и технологическая сфера, мониторинг кризисных ситуаций, образование и др.

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты работы докладывались на научно-практической конференции «Внедрение информационных технологий в органы государственной власти» (ЦИТиС, г. Москва, 2007 г.), в Российской академии государственной службы, на конкурсе инновационных проектов МФТИ (2006-2007 г.), на Всероссийском смотре-конкурсе научно-технического творчества студентов ВУЗов (г. Новочеркасск, 2007 г.). Конкурсная работа, описывающая основные разработанные в диссертации программные компоненты, заняла 4 место на конкурсе радиотехнических программ ФРТК МФТИ 2008 г. Конкурсная работа, включающая основные положения диссертации, вошла в число победителей конкурса инновационных проектов МФТИ, заняла 3 место на Всероссийском смотре-конкурсе научно-технического творчества студентов ВУЗов и заняла 1 место на Всероссийском конкурсе на лучшую научно-исследовательскую работу студентов ВУЗов (г. Сочи, 2007 г.).

**Личный вклад автора.** Автором разработана архитектура виртуального ситуационного центра на основе N-математики, выполнена ее программная реализация и экспериментальное исследование его возможностей при решении практических задач. На основе разработанных алгоритмов осуществлена интеграция технологии N-моделей, веб-технологий и технологии виртуальной реальности. Также автором предложены новые методы повышения эффективности решения задач с использованием технологии N-моделей в рамках виртуального ситуационного центра.

## **Глава 1. Ситуационные центры**

### **1.1. Общие сведения о ситуационных центрах**

Впервые понятие ситуационного центра (СЦ) было предложено в середине 60-х годов 20 века английским кибернетиком Стаффордом Биром. СЦ определялся как комплекс кибернетически организованных рабочих мест для высших менеджеров. Цель первых СЦ состояла в обеспечении возможности для высшего менеджмента взвешивать, обосновывать и корректировать текущие и стратегические управленческие решения. В перспективе, по мнению Бира, такие СЦ должны стать необходимостью в любом предприятии, организации, в любой отрасли промышленности, для управления экономикой и государством. Первый СЦ для первых лиц государства был создан под руководством Бира в конце 1970-х гг.

Дальнейшее развитие СЦ происходило одновременно со стремительным прогрессом в области информационных технологий с одной стороны, и ростом сложности технических и социально-экономических систем. Потребности управления в современных условиях не удовлетворялись традиционными системами управления, поэтому необходимость в разработке СЦ, осуществляющих поддержку принятия решений на качественно новом уровне, становилась очевидной. Для решения таких задач, как стратегическая реорганизация бизнеса, управление инвестиционными проектами, реагирование на изменение предпочтений потребителя, управление финансами в реальном времени, требовалась разработка новых подходов. Концепция СЦ предлагает эффективные методы решения управленческих задач, в результате этого конец 20 века стал периодом бурного развития СЦ [1,2].

В настоящее время тема создания СЦ актуальна как за рубежом, так и в России [7,8,15]. В мире насчитывается несколько сотен СЦ, в т.ч. СЦ

для первых лиц государства, СЦ органов государственной власти [9,10,14], более 300 СЦ крупных корпораций, СЦ компаний в различных областях промышленности [12,13] и др. При этом стоит отметить, что зарубежные СЦ трудно адаптируются к российским условиям и обычно значительно дороже (на 1-2 порядка). В России за последнее время сделан большой шаг к осознанию понятия СЦ, уточнена роль СЦ в управлении организацией. Уже отмечены особенности создания таких систем и получен опыт их практического использования. Создание СЦ можно считать типичной задачей системной интеграции.

В общем случае СЦ можно определить как интегрированный программно-аппаратный комплекс, реализующий функции подготовки и поддержки принятия решений. Структура СЦ как любой автоматизированной системы управления включает различные виды обеспечения (программное, техническое и т.д.). СЦ имеет 4 основных уровня: научно-математический, инженерный, программный и технический.

Научно-математический уровень представляет собой совокупность научных теорий, методов, алгоритмов, исследований и разработок, необходимых для реализации других уровней. Он позволяет обосновать целесообразность создания СЦ, определить эффективность его функционирования, интегрировать различные компоненты, осуществлять исправление ошибок.

Инженерный уровень представляет собой конкретные решения в выборе и разработке аппаратно-программных средств. Он включает в себя необходимые технологические и конструкторские расчеты, модели технических устройств и помещений, спецификации программ, алгоритмы работы и т.д.

Программный и технический уровни содержат соответствующее обеспечение, необходимое для решения поставленных на верхних уровнях задач. Уровни включают в себя следующие компоненты:

- компьютерные модели фрагмента предметной области;
- измерительная (сенсорная среда);
- среда информационной поддержки;
- среда аппаратной поддержки;
- среда визуализации;
- оперативный состав.

Компьютерные модели фрагмента предметной области являются ключевой функциональной составляющей СЦ, которая используется для анализа ситуации и альтернативных вариантов развития событий.

Измерительная (сенсорная) среда СЦ представляет собой совокупность аппаратно-программных средств, необходимых для получения информации о состоянии анализируемых объектов. К ним относятся каналы связи, видео- и аудио-передачи, антенные системы, датчики и т.д. Главная задача измерительной среды — обеспечить адекватность информационной модели СЦ некоторому выбранному фрагменту реального мира.

Среда аппаратной поддержки — это совокупность технических вычислительных средств, обеспечивающих функционирование среды информационной поддержки СЦ: ЭВМ, оргтехника, сетевое оборудование и т.д.

Среда визуализации — это совокупность экранов коллективного и индивидуального пользования, обеспечивающих информационный и командный интерфейс между человеком оператором и аппаратно-программной средой СЦ.

Коллектив специалистов, имеющий собственную внутреннюю организационную структуру, составляет оперативный состав. Цель

оперативного состава — обеспечить решение совокупности штатных задач СЦ на основе анализа информационной модели ситуации реального мира, формируемой аппаратно-программной средой системы.

В СЦ поступают, накапливаются и используются следующие виды информации:

- текущая информация по всем внутренним и внешним объектам управления;

- картографическая информация с отражением различных аспектов пространственной организации (землеустройство, населенные пункты, предприятия, дороги, коммуникации, технические сети, демография и т.п.);

- справочная информация в сфере внутренних и внешних интересов организации (социальная, экономическая, демографическая, историческая, культурологическая, политическая, правовая и другая подобная информация);

- оценочная информация о состоянии и развитии региона и его административно-территориальных образований, распределенная и обобщенная по сферам деятельности, территориям, должностным лицам, функциям и другим организационным направлениям деятельности;

- оперативные доклады подразделений и служб о состоянии объектов управления, событиях и процессах в соответствии с разделением компетенции;

- доклады должностных лиц о контроле процесса и результатах выполнения программ, планов, решений, распоряжений и т.п.;

- сигнальная информация о выявленных опасностях, угрозах, негативных процессах, тенденциях и проблемных ситуациях;

- нормативно-методическая информация о правилах и вариантах действий по решению проблем в соответствии с компетенцией должностного лица и сферы деятельности органа управления.

Современные СЦ различаются по целям, функциям, архитектуре и другим признакам. Уточнение основных свойств СЦ можно провести, исходя из их классификации. Возможны различные классификации СЦ, как по признакам СЦ, так и по их количеству. Примером классификации СЦ может служить [50]:

- функциональность задач (СЦ мониторинга-отображения/аналитической обработки/полнофункциональные);
- целевая направленность (СЦ контроля/управления/обучения/кризисные/многоцелевые);
- масштаб решений (СЦ экспресс-оценки/оперативные/стратегические);
- способ отображения и выработки решений (СЦ коллективные/индивидуальные/комбинированные);
- универсальность (СЦ специальные/настраиваемые).

Определение типа СЦ на основании классификации – одно из первых необходимых действий при формулировке требований к СЦ. Очевидно, что СЦ, предназначенный для мониторинга состояния некоторого физического объекта (например, орбитальная станция), значительно отличается по составу используемых компонентов от СЦ для выработки стратегических решений в коммерческой компании. Для СЦ первого типа существенно отображение данных в реальном времени (порядка секунд, минут), для второго типа СЦ в процессе подготовки решений необходим глубокий анализ бизнес-данных, а также поддержка различных сценариев работы, направленных на выработку коллективного решения и согласования различных точек зрения, например, при принятии целевых программ.

Основной причиной создания СЦ является быстрый рост количества производимой информации, осознание и анализ которой необходимы для принятия правильных управленческих решений. При этом кроме роста

объемов информации происходит ужесточение требований ко времени принятия решений, особенно для кризисных ситуаций. Таким образом, цель создания СЦ состоит в обеспечении подготовки оптимальных решений за минимальное время.

В число задач, решаемых СЦ, входит:

- мониторинг состояния объекта управления
- прогнозирование развития ситуации на основе анализа поступающих данных
- моделирование последствий принимаемых решений
- оценка и оптимизация принимаемых решений
- управление в кризисных ситуациях

Также перед СЦ стоят задачи формирования баз знаний, сбора и анализа информации для оценки направлений развития объекта управления, внедрения единых стандартов обработки и представления информации и проведения видеоконференций.

Для решения этих задач СЦ обычно выполняется в виде набора модулей (компонентов), образующих инфраструктуру поддержки принятия решений. Основными принципами при создании СЦ должны быть масштабируемость, защищенность, гибкость, открытость. Главными компонентами СЦ являются: информационно-аналитические компоненты, компоненты визуализации и компоненты для совместной работы пользователей. Процессы моделирования предметной области, накопления, аналитического исследования, визуализации информации, составляющие основу всех СЦ, реализуются специалистами разных областей знаний, причем часто практически независимо. Так, для разработки математических моделей совершенно неважно, каким образом и откуда реальные исходные данные получены, и в каком виде отображаются результаты моделирования, главное – создание правильного алгоритма анализа. Тем не менее, с точки зрения функционирования СЦ

как единой системы, обеспечивающей получение и представление непротиворечивой информации в наиболее удобном виде, важным является создание целостности процесса принятия решений.

Следовательно, для создания СЦ необходима технологическая основа, обеспечивающая сопоставимость информационных ресурсов, накопление непротиворечивых данных, а также инструментальные средства для интеграции различных компонентов. В этом заключается основная особенность подобных систем, создание которых основывается на принципах системной интеграции существующих и разрабатываемых решений в единый программно-аппаратный комплекс. Создание СЦ следует рассматривать как процесс, в ходе которого осуществляется эволюционное развитие и интеграция существующих в компании информационных подсистем и источников данных.

## **1.2. Классификация ситуационных центров**

### **1.2.1. По функциональности СЦ**

По функциональности СЦ можно разделить на следующие классы:

- СЦ мониторинга-отображения
- СЦ аналитической обработки
- полнофункциональные СЦ

Основной задачей СЦ **мониторинга-отображения** является предоставление лицам, принимающим решения, наиболее полной информации о происходящих событиях в максимально удобной форме. Эффективность таких СЦ заключается в возможности подключения к активной работе по принятию решений резервов образного и ассоциативного мышления.



Пользователь СЦ должен иметь возможность получения любых информационных срезов по состоянию объекта управления; использовать агрегирование, сортировку и фильтрацию информации; экспресс-анализ хозяйственно-экономической информации.

Мониторинг предназначен для постоянного слежения за ситуацией с целью текущего информирования руководителей организации, а в случае необходимости акцентирования их внимания на актуальных истораживающих событиях. Мониторинговый режим, как правило, регламентируется выбранной, но часто изменяющейся тематикой и относительно постоянным набором источников информации. Проводить мониторинг можно также и по кризисным процессам. Когда задача мониторинга понятна, его организация включает: выделение внутренней и внешней сфер, благоприятных и негативных факторов, определение источников информации.

Организация мониторинга в малознакомой ситуации может состоять из следующих этапов: структуризация проблемы специалистами СЦ, выделение определяющих факторов, ключевых индикаторов; определение цели мониторинга, его конкретных задач.

Примером СЦ мониторинга-отображения является городской СЦ Ростова-на-Дону. Центр имеет разветвленную комплексную систему видеонаблюдения. Сбор видеoinформации осуществляется автоматически в реальном режиме, что позволяет оперативно реагировать на внештатные и чрезвычайные ситуации, а при необходимости - восстанавливать ход прошедших событий. К центру подключены федеральные, областные и городские информационные ресурсы.

Стоит отметить перспективу применения в СЦ данного класса систем виртуальной реальности для отображения 3D моделей, реконструирующих обстановку на основе получаемой информации. Примером такой системы является система виртуального окружения для

создания 3D модели космических аппаратов на основе получаемых данных из космоса.

Основная задача **СЦ аналитической обработки** – обеспечение возможности анализа информации, в том числе оперативного. Необходимые для анализа компоненты СЦ:

- математические модели, описывающие деятельность организации или предприятия;
- программное обеспечение для аналитической обработки данных;
- хранилища данных;
- компоненты визуализации.

При создании СЦ основное внимание должно быть уделено качеству и согласованности данных для обработки, качеству математических моделей и компонентов визуализации. Особенности данного класса СЦ: наличие больших объемов и множества источников информации, использование моделей для сценарных прогнозов развития событий, агрегированный характер используемой информации, большой объем работ по обработке данных и моделированию ситуаций, многопользовательский режим работы СЦ. Сбор информации из подразделений и внешних источников должен производиться достаточно регулярно.

Арсенал используемых методов обработки данных в СЦ довольно широк: OLAP-системы, интеллектуальный анализ, статистические средства, нейронные сети, модели оценки рисков и другие решения.

Примерами СЦ аналитической обработки являются СЦ банков.

**Полнофункциональные СЦ** совмещают функции моделирования и анализа ситуаций и визуализации. В функции СЦ входит:

- стратегическое планирование и коллективная подготовка решений;
- осуществление контроля, анализа и оценки обстановки в режиме реального времени;
- управление оперативными мероприятиями при кризисных ситуациях и проведении важных мероприятий;
- обучение и отработка действий должностных лиц по организации работы в кризисных ситуациях с моделированием их развития;
- проведение учений и тренировок с целью отработки взаимодействия служб при возникновении внештатных ситуаций;
- контроль хода выполнения мероприятий с использованием средств мультимедийной связи с места события в реальном масштабе времени;
- осуществление информационного взаимодействия с другими организациями.

Текущая тенденция состоит в увеличении относительной доли полнофункциональных СЦ.

Примерами полнофункциональных СЦ являются СЦ органов государственной власти, в частности, СЦ Президента РФ, СЦ в Совете Безопасности РФ.

### **1.2.2. По целевой направленности СЦ**

По целевой направленности СЦ можно разделить на следующие классы:

- СЦ контроля
- СЦ управления
- СЦ обучения

- кризисные СЦ
- многоцелевые СЦ.

Основной задачей **СЦ контроля** является наблюдение за состоянием сложного объекта или системы. Пример - ситуационная полиэкранная система информационной поддержки принятия решений для управления состоянием сложных, экологически опасных объектов и технологий.

Основной целью **СЦ управления** является постоянное и активное управление объектом (группой объектов). К ним принадлежат СЦ банков и предприятий [18].

Целью работы **СЦ обучения** является обучение оперативного и обслуживающего персонала, подготовка специалистов в области СЦ. В настоящее время число СЦ с данной функцией в России мало.

**Кризисные СЦ** предназначены для поддержки принятия решений в кризисных ситуациях. Примеры - кризисный центр концерна "РосЭнергоАтом", ситуационно-кризисный центр Минатома.

**Многоцелевые СЦ** имеют возможности различных СЦ. Обычно такие СЦ имеют несколько режимов работы (плановый, оперативный, кризисный). Примеры - СЦ Министерства природных ресурсов РФ [14], IBS Центр поддержки принятия решений [17].

### **1.2.3. По масштабу решений**

По масштабу решений СЦ могут быть СЦ экспресс-оценки (персональными), оперативными и стратегическими.

**Персональный СЦ** решает задачу экспресс-оценки ситуации, оперативного доступа к управляемому объекту. Он помогает руководителю всегда «быть в курсе» независимо от времени, места (и даже в известном смысле состояния) управляющего субъекта. Задачи, функции и состав СЦ определяются руководителем, выбирающим тип необходимой информации. Такой СЦ может быть организован на базе ноутбука.

**Оперативный СЦ** позволяет моделировать ситуации в реальном времени, представляя модель в виде различных компонентов – задачи, процессы, проекты и т.п.

**Стратегический СЦ** предназначен для решения сложных, ответственных, масштабных задач, связанных со структурной и функциональной перестройкой. Стратегический СЦ (также как и оперативный) требует создания специального зала, где на нескольких мониторах даются сведения об основных подразделениях, функциях или производственных процессах компании. Зал также оснащается 1-2 обобщающими мониторами, на которые через каналы связи непрерывно поступает информация о положении на интересующих секторах российского и мировых рынков, финансовая и критически важная политическая информация. Стратегический центр позволяет разрабатывать комплексные инвестиционные проекты и программы развития компании, вести расчет среднесрочных планов развития бизнеса компании, разрабатывать программы стратегического маркетинга и др. Руководители, располагающие стратегическим СЦ, получают преимущество перед конкурентами при планировании продвижения на новые сектора рынка, планировании долгосрочной ценовой и товарной политики и т.д. В оперативный состав СЦ входят системный аналитик (консультант),

руководитель систем внешних и внутренних информационных сетей и коммуникаций, разработчик программного обеспечения или дежурный оператор.

Примером такого СЦ является центр стратегического моделирования IBS\_CSM [1].

#### **1.2.4. По способу отображения и выработки решений**

Данная классификация разделяет СЦ на три типа: коллективные, индивидуальные, комбинированные.

**Коллективный СЦ.** В СЦ используется только экран коллективного пользования. Примером являются СЦ, которые используются для контроля состояния множества устройств, входящих в одну сеть (например, СЦ компаний сотовой связи). Основной задачей функционирования является контроль всех составляющих элементов на высшем уровне и принятие решений в случае возникновения экстренных ситуаций.

**Индивидуальный СЦ.** Использование в СЦ только индивидуальных экранов. Примером являются мобильные СЦ в боевых комплексах ПВО и ПРО, диспетчерские СЦ и распределенные системы.

**Коллективно-индивидуальный СЦ.** Использование в СЦ экранов различного типа. К этому классу относится СЦ управления космическими полетами.

### **1.2.5. По универсальности**

Существуют специальные и настраиваемые СЦ. Подавляющее большинство СЦ не может быть использовано в других предметных областях для решения новых задач. Настраиваемые СЦ - программные и технические решения СЦ, предназначенные для широкого использования. Примеры - ситуационная комната "Галактика" (осуществляет мониторинг, прогнозирование и анализ деятельности предприятия, анализ рисков, моделирование ситуаций, разработку бизнес-стратегий), программные продукты "Триумф-Аналитика" [16] фирмы Парус (предназначена для торговых предприятий, ситуационное моделирование основано на аппаратах нечеткой логики и нейронных сетей). Прогнозируется появление в данном классе виртуальных СЦ [11].

Эти настраиваемые СЦ решают широкий класс задач с помощью различных подходов, при этом возможности визуализации и ситуационного моделирования ограничены.

В рамках данной работы предлагается использование технологии недоопределенных моделей для создания настраиваемых СЦ. Универсальность и мощность технологии позволяет использовать виртуальный СЦ для широкого круга задач.

### **1.3. Компоненты ситуационных центров**

Для решения стоящих перед СЦ задач требуются большие объемы и высокая интенсивность поступления входной информации, что делает абсолютно необходимым использование современных средств, технологий, обеспечивающих высокие возможности приема, обработки, воспроизведения, и восприятия информации.

В общем случае компоненты СЦ можно разделить на 3 типа: информационно-аналитические, компоненты технического оснащения и компоненты для обеспечения коллективной работы пользователей СЦ. Эти компоненты наиболее существенны для создания виртуального СЦ.

### **1.3.1. Информационно-аналитические компоненты**

В основе аналитического СЦ лежит информационно-аналитическая система (ИАС), которая регулярно получает информацию об оперативной деятельности компании и обеспечивает ее долговременное хранение. Основные функции ИАС: сбор, очистка, хранение и аналитическая обработка данных. Данные, отражающие изменение ситуации во времени, используются при построении и наполнении математических моделей СЦ и при создании отчетов.

Информационно-аналитические компоненты представляют собой ядро СЦ. Функции этого ядра заключаются в сборе, накоплении и обработке информации, необходимой для анализа ситуации и принятия решений. Поступающие данные в зависимости от конкретной задачи могут быть использованы двумя способами: непосредственное отображение (визуализация) или передача данных в качестве параметров компьютерной модели анализируемой предметной области. Во втором случае первостепенное значение имеет точность, достоверность, полнота данных. Однако в реальных условиях из-за больших объемов информации, поступающих из разнородных источников, других факторов неопределенности эти условия выполняются редко, в связи с чем построение полностью адекватной компьютерной модели затруднительно, что естественным образом сказывается на качестве принимаемых решений.

Распространенным решением для СЦ является создание централизованного хранилища данных, в которое данные поступают из



различных источников, таких как веб-ресурсы, базы данных, СМИ, телевидение и др. После индексирования и структурирования информация может быть преобразована в т.н. «витрины данных», позволяющие легче анализировать данные за счет их тематического объединения.

Одними из наиболее важных и сложных компонентов СЦ являются компоненты для разработки и вычисления математических моделей. Разработка моделей, описывающих фрагмент предметной области, в которой работает СЦ, представляет трудоемкий процесс. Модели, предназначенные для анализа текущей ситуации, прогноза, моделирования вариантов развития событий, обычно разрабатываются при участии специалистов в данной предметной области. Основными ограничениями являются: сложность и объем моделей, квалификация разработчиков и специалистов, программный и математический инструментарий. Использование современных технологий для аналитической обработки информации – один из важнейших факторов эффективности СЦ как инструмента управления.

Возможности СЦ по поддержке принятия решений во многом определяются заложенными в них моделями. Назначение моделей, их виды, исходные данные и получаемые результаты определяются конкретными функциональными требованиями. Интерфейсы взаимодействия с остальными компонентами определяются выбранной технологией создания СЦ. Например, для СЦ отраслей или коммерческих компаний модели, как правило, носят экономический смысл и связаны с оценкой и прогнозированием основных показателей развития организации.

Используемые в СЦ модели различаются по таким признакам, как отношение ко времени (статические/динамические), характер временного моделирования (непрерывные/дискретные), параметры модели (детерминированные/случайные). Применяемые методы моделирования: аналитическое, ситуационное, имитационное и др.

При аналитическом моделировании каждый объект функционально зависит от входных, выходных параметров и внутреннего состояния системы. Функциональные зависимости описываются в виде математических и логических функций, а сами модели могут иметь вид алгебраических, дифференциальных, интегро-дифференциальных уравнений и т.п. Данный метод применяется при достаточно изученных характеристиках объекта и возможности его адекватного описания с помощью данного аппарата. Источники данных – хранилища и витрины данных.

Среди наиболее востребованных видов аналитического моделирования OLAP [44] (Online Analytical Processing – оперативная аналитическая обработка) и Data Mining [42,43] (углубленное исследование данных или "добыча данных").

OLAP – это технология обработки информации, включающая составление и динамическую публикацию отчетов и документов. Используется аналитиками для быстрой обработки сложных запросов к базе данных. Служит для подготовки бизнес-отчетов по продажам, маркетингу, в целях управления [20].

Data Mining - современная технология анализа информации с целью нахождения в накопленных данных ранее неизвестных, нетривиальных и практически полезных знаний, необходимых для принятия оптимальных решений в различных областях человеческой деятельности. Эта технология применяется в тех случаях, когда известны лишь направления поиска, некоторые гипотезы и определенные образцы, но точную цель исследования сформулировать довольно сложно.

При имитационном моделировании процесс функционирования объекта воспроизводится во времени. При этом имитируются элементарные события с сохранением их логической структуры и последовательности. Обычно имитационные модели создаются для поиска

оптимального решения в условиях ограниченных ресурсов, когда другие математические модели оказываются слишком сложными или отсутствуют. Имитационные модели гораздо сложнее интегрировать в состав СЦ, чем аналитические [50].

Ситуационное моделирование позволяет решать такие задачи, как мониторинг данных, анализ тенденций развития ситуации, прогнозирование и моделирование поведения на стратегическом и оперативном уровнях. Системы ситуационного моделирования являются универсальным инструментом управления и поддержки принятия решения в крупнейших организациях, органах государственной власти и других различных компаниях. В процессе ситуационного моделирования используются методы оптимизации для поиска наилучшего решения, оценки рисков, прогнозирования.

Резюмируя, нужно отметить, что в настоящее время существует большое количество подходов к созданию компьютерных моделей анализируемой предметной области, базирующихся на различных аппаратах. Общая тенденция – повышение сложности моделей и применение различных методов интеллектуальной обработки данных (OLAP, Data mining, нейронные сети) [19,20,42]. Несмотря на это, объективная сложность моделей, а также недоопределенность, неточность и неполнота данных часто не позволяют получить решение существующими средствами, либо вынуждают упрощать саму постановку. Поэтому главной задачей при создании СЦ (в т.ч. виртуального) является совершенствование используемых технологий, в частности использование в данной работе уникального аппарата недоопределенных моделей и организация распределенной сетевой структуры разработки этих моделей, что может в перспективе существенно повысить качество анализа ситуаций и подготавливаемых управленческих решений. Технология недоопределенных моделей относится к аналитическому моделированию,

характерной особенностью по сравнению с упомянутыми методами является получение в качестве результата вычислений всего пространства решений.

### **1.3.2. Компоненты технического оснащения**

Второй важной составляющей современного СЦ является его техническое оснащение [1-3], включающее системы отображения информации (экран коллективного пользования, интерактивные дисплеи), аудио- и видеоконференц-комплексы (средства видеоконференц-связи), интегрированную систему управления и др. В этом направлении уже достигнуты большие успехи, и зачастую техническое оснащение СЦ сложными комплексами значительно превышает их возможности для анализа ситуаций, которые ограничиваются применением простых программных средств и моделей.

Основным элементом технического оснащения СЦ является экран коллективного пользования — позволяющий создать единый информационный язык для лиц, работающих в СЦ. Экран может представлять собой видеостену или проекционную установку. Видеостены, то есть системы мультиэкранного отображения данных различного вида (электронные карты, видеоизображения, графики и диаграммы, текстовая документация в электронном виде) предназначены для коллективного пользования и, благодаря модульной конструкции, могут быть сконфигурированы индивидуально под конкретные помещения и задачи. Главными свойствами видеостен являются разрешение и информационная емкость, позволяющая представлять на одном экранном поле множество "окон", содержащих изображения от множества источников. Для представления дополнительной информации используются мониторы и плазменные панели. Виртуальный СЦ может использовать упрощенные средства - мониторы.

Эффективность работы системы визуализации может быть повышена за счет использования технологий, позволяющих погрузиться в виртуальную среду рассматриваемой модели. В работе рассматривается вопрос интеграции технологии Н-моделей и виртуальной реальности для повышения эффективности визуального анализа данных.

Одной из основных задач СЦ является сокращение времени, необходимого для оценки и понимания ситуации. Решить эту задачу помогает технология виртуальной реальности (виртуального окружения) [40]. Применение систем виртуального окружения (ВО) в СЦ существенно обогащает представление больших массивов данных, позволяя взаимодействовать с объемными моделями изучаемых объектов. ВО обеспечивает «погружение» пользователя СЦ в искусственный мир исследуемого явления и прямое взаимодействие с данными в пространстве модели. В настоящее время системы виртуальной реальности в СЦ распространены не достаточно широко, но их количество продолжает расти. Можно отметить как одно из направлений развития СЦ внедрение в них общедоступных установок ВО на базе персональных компьютеров. Поэтому актуальной задачей при создании виртуального СЦ является интеграция в его состав технологии ВО и объединение ее возможностей с возможностями веб-технологий и методами искусственного интеллекта.

Необходимыми техническими средствами оснащения СЦ также являются:

- средства видеоконференц-связи, передающие изображение и звук по телекоммуникационным сетям и использующие различные конфигурации связных терминалов — как в виде автономных устройств, так и на базе персональных компьютеров;

- высококачественные звуковые системы, включающие специальные звуковые конференц-системы, а также системы управления светом;

- электронные средства ввода графических данных: сканеры, цифровые фото- и видеокамеры, а также специализированные документ-камеры;

- интегрированные системы управления (такие системы необходимы при управлении сложными аппаратными комплексами, где изменение состояния системы требует одновременного переключения множества устройств (коммутаторов, микшеров, источников и т.д.)).

Для организации работы СЦ необходимо иметь несколько типов рабочих станций: презентационную, станцию для проведения аналитических расчетов, студию нелинейного монтажа для работы с видеоматериалами, узел связи с абонентскими пунктами для взаимодействия с другими информационными системами. Виртуальный СЦ имеет существенно меньшие требования к техническому оснащению. Возможности обработки информации пользователями определяются конфигурацией их аппаратных средств, а со стороны разработчиков СЦ – наличием удобного интерфейса, представлением информации в графической и звуковой форме, возможностью проведения конференций и общения в реальном времени и т.п.

В настоящее время разработано множество типовых решений по техническому оснащению СЦ, конкретные требования определяются исходя из задач и целей СЦ [1].

### **1.3.3. Компоненты для обеспечения коллективной работы пользователей СЦ**

В настоящее время все более актуальным становится наличие возможности коллективной оценки текущей ситуации. Для этого необходимо решение двух задач – сбор необходимой информации и ознакомление с ней группы специалистов СЦ, способных оценить информацию и принять правильное

управленческое решение. Развитие СЦ целесообразно осуществлять в соответствии с логикой подготовки и принятия коллективных решений.

В процессе принятия решений на итоговый результат обычно влияют действия групп пользователей, - основная группа принимающих решения, операторы и специалисты-консультанты, и удаленные пользователи. Сценарии работы СЦ зависят от режима, в котором он используется: мониторинг ситуации, проведение крупномасштабных исследований или работа в кризисном режиме. Выбор варианта работы СЦ и участвующих лиц существенно влияет на качество принимаемых решений. Существующие СЦ в основном используют вариант, в котором работа удаленных пользователей имеет небольшое значение, а главную работу выполняют лица, находящиеся в самом СЦ. С одной стороны, это продиктовано требованиями конфиденциальности и ограниченностью круга лиц, имеющих отношение к решаемой проблеме, с другой стороны, участие в работе большего числа удаленных пользователей может способствовать увеличению эффективности принимаемых решений.

Следовательно, при построении виртуального СЦ нужно обеспечить различные права и режимы доступа к нему различных групп пользователей, возможность распределенной работы над созданием компьютерных моделей предметной области и участием в работе СЦ.

Компоненты для обеспечения коллективной работы пользователей СЦ выполняют функцию предоставления доступа (веб-интерфейсы) и обеспечения совместной работы СЦ. Это могут быть экраны коллективного пользования (экран позволяет аккумулировать образное мышление группы участников обсуждения проблемы), устройства голосовой связи, электронная система обмена сообщениями и др. Отдельные компоненты могут осуществлять управления действиями пользователей и оценивать значение действий каждого пользователя и влияние этих действий на принятие решений. Например, учебный СЦ

Российской таможенной академии предоставляет возможности для проведения видеоконференц-связи, связи с удаленными постами, дистанционного обучения.

В СЦ должно быть предусмотрено оперативное телекоммуникационное взаимодействие лиц, находящихся в ситуационной комнате, с удаленными участниками, например, работающими в филиалах корпорации. Обработка получаемых от внешних участников данных должно осуществляться также по определенной методике. Эффективность применения систем видеоконференц-связи уже подтверждена ее успешным использованием в ряде СЦ. Так, например, видеоконференц-связь в СЦ компании «Белгородэнерго» предоставила качественно новые возможности принятия управленческих решений в процессе их коллективного обсуждения, поскольку все участники дистанционных совещаний обладают доступом в реальном времени к необходимым им информационным ресурсам.

Виртуальный СЦ выгодно отличается возможностью участия неограниченного числа пользователей в его работе. Основные преимущества работы коллектива в виртуальном СЦ таковы: повышение эффективности работы и уровня доверия организации, повышение скорости доступа к информации, формирование команды и накопление опыта решения проблем.

#### **1.4. Режимы работы ситуационных центров**

Наиболее распространены три основных режима работы СЦ: проблемный мониторинг, режим планового обсуждения проблемы и чрезвычайный режим [1].

**Проблемный мониторинг** предназначен для постоянного слежения за ситуацией с целью текущего информирования руководителей



организации, а также акцентирования их внимания на актуальных истораживающих событиях. Режим мониторинга, как правило, регламентируется выбранной, но часто изменяющейся тематикой и относительно постоянным набором источников информации. Центр отслеживает те или иные процессы в конкретной сфере управления, фиксирует показатели, значения, всплески активности в том или ином регионе, отрасли, среди определенных групп населения. Мониторинг осуществляется и по кризисным процессам. Когда задача мониторинга понятна, его организация включает: выделение внутренней и внешней сфер, благоприятных и негативных факторов, определение источников информации.

Организация мониторинга в малознакомой ситуации может состоять из следующих этапов:

- структуризация и выделения основных факторов группой специалистов СЦ;
- определение индикаторов;
- определение целей и задач мониторинга;
- выделение групп специалистов, работающих на разных уровнях обработки информации;
- обеспечение доступа руководителей к первичной информации при предоставлении агрегированной информации;
- выделение стабильной группы индикаторов;
- разработка модели анализа данных и методов принятия решений на основе этого анализа;
- применение эффективных средств визуализации;
- объектный мониторинг.

**В режиме планового обсуждения проблемы** вырабатывается список подлежащих решению проблем, и специалисты СЦ формируют доклад с вариантами решения, с использованием необходимой

информации и разработкой системы моделирования. Разработка сценариев проведения обсуждения может быть усложнена вероятностью изменения хода обсуждения. Поэтому важным является принцип открытости, позволяющий получать необходимую информацию из различных систем. Предварительная подготовка сценария с учетом характеристик экспертов может также уменьшить возможные сложности.

**Режим работы в кризисных ситуациях (чрезвычайный режим)** используется при возникновении некоторого события, когда требуется собрать необходимую информацию, провести моделирование ситуаций, предложить решение и активным образом участвовать в предотвращении разрастания кризисной ситуации.

Возможности сбора информации в этом режиме ограничены временными ресурсами, источники определяются в процессе работы. Часто отсутствует модель для анализа ситуации, поэтому должна быть обеспечена возможность быстрого формирования модели на основе имеющейся информации.

### **1.5. Требования к виртуальному ситуационному центру**

Развитие технологий создания СЦ является актуальной задачей, и для ее решения необходимо усовершенствование применяемых технологий и методов. Часть возникающих проблем была рассмотрена выше. Также нужно отметить основные недостатки функционирования СЦ, сформулированные зарубежными экспертами [1]: затрудненный доступ к знаниям, тратится много времени на их поиск; системы поддержки принятия решений разнородны и многочисленны; затруднено сотрудничество пользователей СЦ, работающих над одной проблемой; отсутствуют базы лучших разработок.

Анализ описанных выше проблем развития СЦ дает основание сформулировать ряд принципиальных требований, которым должны удовлетворять не узкоспециализированные СЦ в современных условиях. Эти требования можно разделить на следующие группы: к информационно-аналитическому обеспечению, к оснащению СЦ, к организации коллективной работы пользователей.

### **1.5.1. Требования к информационно-аналитическому обеспечению**

- 1) Математический аппарат и программное обеспечение виртуального СЦ должно иметь максимально универсальный характер, позволяющий создавать сложные математические модели, по возможности, не требовать специальных знаний в программировании, иметь высокую производительность, а также возможность распараллеливания в расчете на перспективу использования суперкомпьютеров с параллельной архитектурой и GRID-сетей;
- 2) Должно быть обеспечено расширение спектра решаемых задач;
- 3) Необходима возможность использования в моделях недоопределенных (интервальных) данных, в т.ч. с автоматическим сбором информации из сети Интернет и других источников.

### **1.5.2. Требования к оснащению СЦ**

- 1) Должен быть реализован удобный интерфейс СЦ с использованием возможностей компьютерной графики, в т.ч. с применением 2D и 3D графиков, карт, таблиц и т.п.;

- 2) Должна быть обеспечена возможность использования трехмерной графики, в т.ч. технологии виртуальной реальности для погружения в трехмерную модель ситуации.

### **1.5.3. Требования к организации коллективной работы пользователей ВСЦ**

- 1) должна быть обеспечена возможность создания сложных математических моделей распределенным коллективом разработчиков, работающем как в локальных сетях, так и в сети Интернет;
- 2) должна быть обеспечена удобная коммуникация между участниками процесса подготовки решений (предметными специалистами - разработчиками моделей, аналитиками, лицами, участвующими в подготовке и принятии решений).

Кроме этого, важными являются требования портативности, возможности обслуживания в режиме аутсорсинга, минимальной стоимости. Анализ всех перечисленных требований приводит к выводу необходимости разработки технологии построения экспериментальной системы, которая получила название «Виртуальный ситуационный центр на основе недоопределенной математики (Н-математики)».

Виртуальный СЦ наиболее прост в разработке, требует меньших затрат и предоставляет возможности многопользовательской работы из любой точки мира с доступом в сеть, при этом все данные хранятся на сервере, и работа в СЦ становится удобной.

Требования к информационно-аналитическому обеспечению удовлетворяются благодаря реализации системы в сети Интернет и использованию в ней технологии Н-моделей. Технология отличается

универсальностью, мощностью и возможностью распараллеливания процесса вычислений. Обеспечивается значительное расширение классов решаемых задач, в частности, возможно использование в моделях недоопределенных данных. Интеграция технологии H-моделей с веб-технологиями позволяет использовать для вычислений данные, полученные из сети, а также визуализировать результаты вычислений в 2D и 3D форме.

Возможность создания сложных математических моделей распределенным коллективом разработчиков предоставляется многопользовательской средой в сети Интернет или локальной сети. Коммуникация позволяет упростить процесс создания моделей или принятия решений. Созданные модели хранятся в базе данных на сервере.

Таким образом, основная цель работы состоит в разработке технологии построения и использования виртуального СЦ на основе технологии H-моделей, удовлетворяющего поставленным требованиям.

## Глава 2. Технология недоопределенных моделей

### 2.1. Программирование в ограничениях

Технология Н-моделей [22,24-26] относится к ведущему направлению в искусственном интеллекте – «программирование в ограничениях» (Constraint Programming) [24,35] и применяется в интеллектуальных системах для представления и обработки не полностью определенных данных и знаний [21]. Это направление программирования считается в настоящее время одним из самых перспективных и становится все более популярным. К настоящему времени разработано большое количество методов и алгоритмов решения систем ограничений, созданы различные программные средства. Так, в последних версиях языка Prolog центральное место занимает программирование в ограничениях. Среди известных систем, в которых реализован процесс решения системы ограничений, такие как ILOG [46], CLP (R), CLP (BNR). Методы программирования в ограничениях широко используются для решения задач планирования, проектирования, создания пользовательских интерфейсов, электронных таблиц и подобных систем, в задачах искусственного интеллекта и др. Программирование в ограничениях максимально декларативно, т.к. основано на описании модели задачи, а не алгоритма ее решения. Это дает возможность использования методов программирования в ограничениях для решения задач с недоопределенными данными [34].

В рамках данного подхода задача описывается в виде набора переменных и неупорядоченного набора ограничений (отношений) над ними, то есть модели. Ограничения могут иметь вид уравнений, неравенств, логических выражений, табличных зависимостей и т. п.

Пусть модель включает в себя набор ограничений  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$  над переменными  $x_1, x_2, \dots, x_n$  с областями значений соответственно  $A_1, A_2,$

...,  $A_n$ . Задача состоит в том, чтобы найти наборы значений  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ,  $a_i \in A_i$ ,  $i=1,2,\dots, n$ , одновременно удовлетворяющих всем ограничениям из множества  $R$ . Задача, поставленная таким образом, называется задачей удовлетворения ограничений (Constraint Satisfaction Problem). Одним из наиболее развитых и эффективных подходов в области программирования в ограничениях является метод N-вычислений, основанный на математическом аппарате N-моделей.

## 2.2. Недоопределенные модели

Недоопределенность данных и знаний характерна для многих областей деятельности человека. Задача представления и обработки недоопределенных данных в интеллектуальных системах, таким образом, является очень актуальной. Для реальной системы знаний характерны такие свойства, как недоопределённость, неточность, неполнота, некорректность, нечёткость и др. В данной работе наибольшее внимание уделено недоопределенности.

Недоопределенность – свойство данных и знаний, определяемое как частичное знание о сущности  $x$ , ограниченное информацией о том, что  $x$  принадлежит к некоторому конкретному множеству  $X$ . Уточнение данных об  $x$  приводит к сокращению множества  $X$ , в потенциале стягивающемуся до одного элемента, отображающего полную информацию об  $x$ .

N-модели были предложены в начале 80-х годов для представления и обработки не полностью определённых знаний [21-23]. К настоящему времени на основе N-моделей создана прикладная технология. Фактически она является единственной технологией, которая позволяет решать задачу удовлетворения ограничений в самой общей постановке.

N-модель представляет собой набор ограничений  $R=\{R_1, R_2, \dots, R_k\}$  над переменными  $x_1, x_2, \dots, x_n$  с областями значений соответственно  $A_1, A_2,$

...,  $A_n$ . Ограничения могут иметь вид уравнений, неравенств, логических выражений и т.п. Методы программирования в ограничениях, в частности метод Н-вычислений, обеспечивают автоматическое нахождение наборов значений  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ , принадлежащим областям значений  $A_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , одновременно удовлетворяющих всем ограничениям из множества  $R$ .

Набор значений переменных удовлетворяет ограничению, если после подстановки этих значений в ограничение значение этого ограничения как булевого выражения есть «истина». Например, значения переменных  $x=-1$ ,  $y=1$  удовлетворяют ограничению  $(x+y)/2 \geq x \cdot y$ .

Примером Н-модели может служить Н-модель:

int k; real x, y;

$$x^2 + 6.0 \cdot x = y - 2^k;$$

$$k \cdot x + 7.7 \cdot y = 2.4;$$

$$(k - 1)^2 < 4;$$

$$(\ln(y + 2.0 \cdot x + 12.0) < (k + 5)) \text{ or } (y > k^2) \rightarrow (x < 0.0) \text{ and } (y < 1.0);$$

$$(x < 0.0) \rightarrow (k > 1);$$

Решение данной Н-модели:  $k = 2$ ;  $x = -0.658479$ ;  $y = 0.482722$ .

К ключевым свойствам технологии Н-моделей относятся [39]:

- число переменных в Н-модели может быть не равно числу ограничений, в том числе и уравнений (возможны недоопределённые и переопределённые системы ограничений);
- вычисления Н-модели определяют пространство всех решений, удовлетворяющих её ограничениям, а не только отдельные решения;
- переменные Н-модели не делятся на входные и выходные, поскольку в Н-модели все они взаимозависимы;
- переменные в одной Н-модели могут иметь разные типы - например, целые и вещественные, а также логические;



- наряду с уравнениями и неравенствами любого типа могут использоваться логические выражения и табличные зависимости, задающие дополнительные отношения между переменными N-модели;
- любые переменные, коэффициенты, константы, показатели в ограничениях N-модели могут быть заданы неточно - в виде интервалов или списков значений;
- не требуется задания начального приближения к решению;
- могут отсутствовать стандартные методы решения.

### **2.3. Недоопределенные переменные**

Понятие переменной в аппарате N-вычислений качественно отличается от понятия классической переменной. Классическая переменная представляет собой базовое понятие математики и является некоторой неизвестной величиной, связанной условиями задачи с другими известными и неизвестными величинами. При достаточной полноте условий задачи значение данной переменной может быть найдено точно. Значение классической переменной определяет некоторую конкретную сущность, заданную условиями задачи. В рамках одной конкретной задачи переменная не может меняться, она может быть либо известной, либо неизвестной.

Алгоритмическая переменная, по сути, является ячейкой памяти, в которую могут помещаться различные значения, меняющиеся в ходе выполнения программы.

В N-моделях переменной сопоставляется недоопределенное значение (N-значение) [22]. Это значение – оценка реального значения-денотата на основе доступной в данный момент информации. N-значение является промежуточным между полной определенностью (точным значением) и полной неопределенностью (всем универсумом). Оно может уточняться

при получении более точных данных. Например, не зная точного размера некоторого файла, его можно оценить как «от 1 до 2 кБ».

H-значение – непустое подмножество универсума, содержащее внутри себя значение-денотат, которое пока остается неизвестным (точнее, известным с точностью до данного недоопределенного значения) ввиду недостатка информации. При поступлении более точных данных H-значение становится все более определенным. В пределе оно становится точным и равным денотату данной недоопределенной переменной (H-переменной).

Для H-переменной есть два различных значения:

- реальное неизвестное пока значение-денотат, которое она представляет, и
- текущее H-значение, являющееся доступной оценкой этого реального значения.

Недоопределенными могут быть значения как существующих объектов, так и находящихся в процессе создания. Во втором случае H-значение является ограничением на возможные значения данного параметра. Например, длина проектируемого автомобиля составляет от 5 до 5,2 м; у пользователей разрабатываемого приложения установлен браузер Mozilla Firefox или Netscape Navigator.

В процессе вычислений H-значение может только уточняться, гарантируя монотонность процесса вычислений. Число возможных H-значений должно быть конечным для конечности вычислений. На практике все реальные параметры имеют начальные оценки, т.к. даже оценка возможных значений в виде  $(-\infty, +\infty)$  будет представлена конкретным максимальным числом.

## 2.4. Недоопределенные вычисления

N-модели являются частным случаем обобщенных вычислительных моделей (ОВМ), которые имеют более широкую область применения, чем решение задач удовлетворения ограничений. ОВМ определяется как четвёрка  $(X, R, W, C)$  [24], где:

- $X$  – множество переменных из заданной предметной области;
- $R$  – множество ограничений на значения переменных из  $X$ , ограничения должны быть функционально интерпретируемыми;
- $W$  – множество функций присваивания;
- $C$  – множество функций проверки корректности.

Каждой переменной  $x \in X$  сопоставлены:

- область значений  $A_x$ ;
- начальное значение из  $A_x$ ;
- функция присваивания  $w_x$ ;
- функция проверки корректности  $corr_x$ .

Функция присваивания — это двухместная операция, работающая при каждой попытке присваивания очередного значения переменной  $x$  и определяющая новое значение переменной как функцию от текущего и присваиваемого значений. Обычно в качестве такой функции используется операция пересечения этих значений. Функция проверки корректности — это унарный предикат, вычисляемый при каждом изменении значения переменной  $x$  и проверяющий правильность нового значения.

На уровне интерпретации ОВМ представляется двудольным ориентированным графом, в котором выделены два типа вершин: переменные и функции интерпретации отношений. Дуги связывают вершины-функции и вершины-переменные. Входящие в вершину-функцию  $f$  дуги соотносят с ней переменные, значения которых выступают в качестве входных аргументов для функции  $f$ , исходящие — указывают на

переменные, в которые должна производиться запись вырабатываемых функцией  $f$  результатов. Каждой вершине-переменной сопоставляются тип и значение, и с каждой связываются функции присваивания и проверки корректности.

Процесс удовлетворения ограничений на ОВМ имеет потоковый характер: изменение значений вершин-переменных сети активирует (вызывает к исполнению) функциональные вершины, для которых эти вершины являются входными аргументами, а исполнение функциональных вершин в свою очередь может вызывать изменение результирующих вершин-переменных. Вычисления заканчиваются тогда, когда либо не останется активных функциональных вершин (УСПЕХ), либо функция проверки корректности вырабатывает значение ложь (НЕУДАЧА).

Пусть все функции присваивания в ОВМ производят пересечение  $N$ -значений  $w_x(\xi^{\text{old}}, \xi^{\text{new}}) = \xi^{\text{old}} \cap \xi^{\text{new}}$ , где  $\xi^{\text{old}}$  – текущее значение переменной  $x$ ,  $\xi^{\text{new}}$  – новое значение, выработанное вершиной-функцией, результат вычисления которой должен записываться в данную переменную, а функции проверки корректности выполняют проверку  $N$ -значения на непустоту  $\text{corr}_x(\xi) = \mathbf{if} \xi \neq \emptyset \mathbf{then true else false}$ .

Именно этот класс обобщенных вычислительных моделей называется  $N$ -моделями. Доказаны следующие свойства  $N$ -моделей [21].

1. Процесс удовлетворения ограничений в  $N$ -моделях завершается за конечное число шагов.
2. Достижение процессом НЕУДАЧИ или УСПЕХА предопределено входными данными (начальными  $N$ -значениями переменных и ограничениями) и не зависит от конкретной стратегии выбора очередного ограничения для интерпретации.
3. В случае УСПЕХА процесса, при одних и тех же входных  $N$ -значениях переменных  $N$ -модели их выходные  $N$ -значения не зависят

от конкретной стратегии выбора очередного ограничения для интерпретации.

В случае УСПЕХА процесса, решение задачи (если оно существует) лежит внутри полученного процессом результата (декартова произведения  $N$ -значений).

Метод  $N$ -вычислений обеспечивает нахождение многомерного параллелепипеда, в котором гарантированно лежат все решения системы ограничений ( $N$ -модели). Если  $N$ -модель не имеет вещественных решений, то результатом является выдача сообщения о несовместности системы. В общем случае для каждой переменной находится интервал возможных значений.

## **2.5. Взаимодействие пользователя с системой недоопределенных вычислений**

Взаимодействие пользователя с системой  $N$ -вычислений состоит из нескольких этапов: анализ фрагмента предметной области, создание  $N$ -модели, запуск процесса вычислений, получение и анализ решения, и в случае необходимости корректировка модели или ее параметров и повторные вычисления. Интеграция технологии  $N$ -моделей с веб-технологиями позволяет автоматизировать эти процессы и обеспечить дополнительные качества по сравнению с однопользовательским режимом работы без подключения к сети.

Создаваемая модель предназначена для решения прямых и обратных задач, представленных системами алгебраических уравнений, неравенств и логических выражений. Решаемая система может быть переопределенной или недоопределенной, а параметры уравнений и неравенств могут быть заданы неточно, в виде интервалов или перечислений допустимых значений.

Математические модели в практических приложениях характеризуются следующими особенностями.

- сложность задания точных значений параметров, определяющих модель. Это обусловлено недостаточностью знаний природы изучаемого явления или погрешностью измерительных приборов. Зачастую возможно указать только предельные значения физических величин — интервал их изменения. Отсюда вытекает необходимость решения систем уравнений с неточными параметрами, что практически невозможно сделать с помощью имеющихся методов.

- отсутствие хороших начальных приближений решения. Практически все алгоритмы решения нелинейных систем требуют задания начального приближения корней, неудачный выбор которого может привести к тому, что решение не будет найдено.

- отсутствие стандартных вычислительных алгоритмов для решения многих видов нелинейных систем.

Приведенные выше преимущества технологии Н-моделей позволяют справляться с этими трудностями [39].

После запуска процесса вычислений предварительно производится проверка модели и ее компиляция в случае отсутствия ошибок. Процесс вычислений заканчивается получением результата – система может быть либо совместной, в этом случае для каждой переменной будет получен интервал возможных значений (или точное значение), либо несовместной.

Решение задачи, полученное с помощью метода Н-вычислений, обычно является недоопределенным и может либо удовлетворить потребности пользователя, либо побудить пользователя к получению дополнительной информации. При введении в Н-модель новой информации (ограничений и значений переменных) в результате вычислений происходит уточнение решения. Если на каком-то этапе

система несовместна, требуется выяснение причин несовместности и соответствующая корректировка Н-модели.

## **Глава 3. Разработка компонентов виртуального ситуационного центра на основе недоопределенной математики**

### **3.1. Виртуальный ситуационный центр на основе недоопределенной математики**

Виртуальный ситуационный центр (ВСЦ) на основе Н-математики представляет собой систему для коллективной разработки моделей анализируемой предметной области и поддержки принятия решений с использованием сетевых технологий. Цель создания ВСЦ состоит в качественном повышении эффективности поддержки принятия решений.

Концепция виртуальных СЦ в настоящее время развивается, основными преимуществами данного типа СЦ являются возможность коллективной работы большого числа пользователей, меньшая стоимость по сравнению с другими СЦ, относительная легкость разработки и эксплуатации, портативность. Такие системы, как правило, представляют собой приложения в сети Интернет или локальной сети, осуществляющие поддержку принятия решений на основе моделей предметной области. Актуальность создания ВСЦ на основе Н-математики подтверждается тенденцией к росту числа СЦ данного типа.

Основные задачи, решаемые ВСЦ:

- разработка компьютерных моделей фрагмента предметной области (в одно- или многопользовательском режиме);
- мониторинг состояния объекта управления;
- прогнозирование развития ситуации на основе анализа поступающих данных;
- моделирование последствий принимаемых решений;
- оценка и оптимизация принимаемых решений;
- управление в кризисных ситуациях.



Одним из основных требований к ВСЦ является возможность его применения для решения широкого класса задач. В каждом конкретном случае может требоваться настройка СЦ и адаптация к данной области (загрузка необходимой информации, моделей и т.п.), но обеспечить универсальную основу СЦ позволяет технология Н-моделей, успешно зарекомендовавшая себя во многих приложениях из различных областей [26-33,37]. Таким образом, ВСЦ на основе Н-математики может выполнять различные функции в зависимости от масштаба решаемых задач.

Платформой для ВСЦ служит сетевая среда на основе Н-математики, осуществляющая интеграцию трех технологий: технологии Н-моделей, веб-технологий и технологии визуализации.

ВСЦ является многопользовательской системой. При этом, однако, работа в ВСЦ не обязательно должна проводиться в многопользовательском режиме, т.е. возможен индивидуальный режим работы. Пользователей можно разделить на две группы: разработчики моделей (или более широко – администраторы) и лица, принимающие решения. Доступ пользователей к СЦ осуществляется через сеть: локальную или сеть Интернет с помощью браузера. Система основана на технологии «клиент-сервер». Клиентами являются пользователи СЦ, а на сервере расположены основные компоненты системы:

- вычислительное ядро на основе технологии Н-моделей;
- многопользовательская среда для разработки моделей (для разработчиков) и их работы в процессе принятия решений (для пользователей СЦ и лиц, принимающих решения);
- система визуализации (двумерной и трехмерной);
- базы данных, хранящие всю информацию ВСЦ.

Благодаря интеграции 3 базовых технологий, перечисленных выше, обеспечивается открытость системы. Возможно включение в состав системы любых необходимых программных компонентов и объединение с

другими комплексами. Широкие возможности существуют и для экспорта данных из ВСЦ (напр., экспорт в БД, на удаленный сервер, в форматах других программ и т.п.). Интеграция значительно увеличивает возможности применения технологии Н-моделей по сравнению с однопользовательскими продуктами на основе Н-моделей, работающими без подключения к сети.

### 3.2. Архитектура виртуального ситуационного центра

ВСЦ на основе Н-математики выполняется в виде модулей, каждый из которых направлен на решение определенной задачи. Благодаря такому подходу архитектура обеспечивает необходимую масштабируемость, открытость и гибкость.

Ядро ВСЦ составляют 3 технологии и основанные на них компоненты (рис.1).

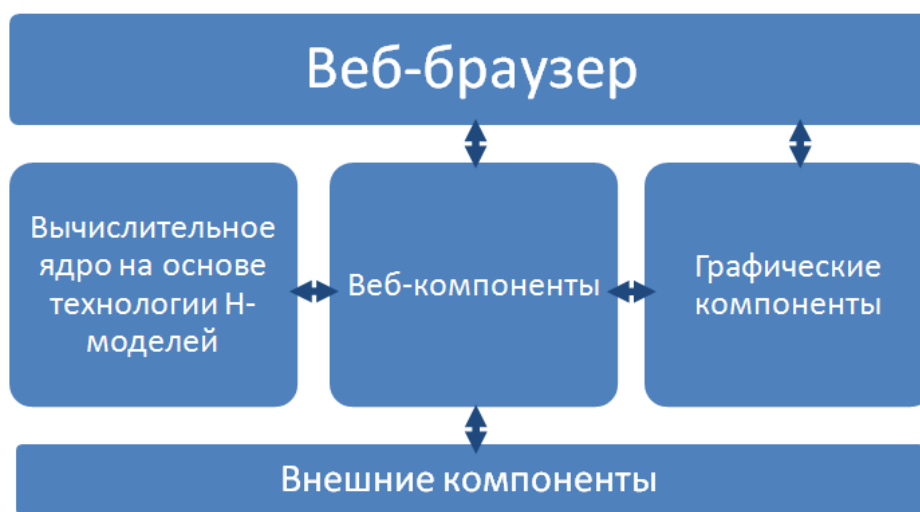


Рис. 1. Архитектура ВСЦ на основе Н-математики.

Технология Н-моделей, веб-технологии и технологии визуализации интегрируются в одно приложение, работающее в сети Интернет или в локальной сети и расположенное на веб-сервере. С точки зрения

архитектуры ВСЦ представляет собой совокупность веб-страниц, организованных в соответствии с логикой работы приложения. Так как работа пользователей ВСЦ в течение некоторого периода времени (сессии) обычно представляет последовательность некоторых шагов, направленных на достижение цели, СЦ состоит из множества связанных между собой страниц, на каждой из которых выполняется некоторая функция. Так, многопользовательская среда для разработки моделей предметной области имеет форму авторизации, страницы с базой разработанных моделей, форму для разработки модели, страницу с результатами вычислений и др. Осуществленная интеграция веб-технологий с технологией Н-моделей позволяет запускать процесс вычислений на сервере и передавать результаты вычислений основному серверному процессу (сценарий на серверном языке программирования). Так происходит взаимодействие вычислителя и главных компонент СЦ, выполненных в виде скриптов. Обработка и передача результатов вычислений благодаря интеграции возможна в любые внешние компоненты, список которых ограничен только возможностями языка программирования. Современные веб-технологии открывают возможность применения различных графических компонентов в составе ВСЦ. После обработки вычисленные в модели результаты поступают в графический компонент и отображаются на компьютере пользователя.

Клиент ВСЦ работает с системой с помощью веб-браузера. Получаемые от сервера веб-страницы обычно состоят из интерфейсной части, отвечающей за внешний вид приложения и содержащей элементы управления, и части, отвечающей за логику работы приложения, содержащей анализируемые и обрабатываемые пользователем данные. Например, при работе с электронными таблицами интерфейс представляется в виде таблиц с различными элементами управления, а получаемые данные поступают после вычислений Н-модели.

Информация, необходимая для работы СЦ, хранится на сервере (в базах данных или файлах). Это обеспечивает возможность многопользовательской разработки Н-моделей, что значительно повышает эффективность этого процесса и упрощает создание сложных моделей. Каждый пользователь СЦ работает над своей частью общей модели, затем все подмодели объединяются в общую модель.

### **3.3. Компоненты виртуального ситуационного центра**

#### **3.3.1. Вычислительное ядро на основе Н-моделей**

Главным компонентом аналитической системы ВСЦ является вычислительное ядро на основе Н-моделей, расположенное на сервере ВСЦ. Ядро выполняет функцию вычисления моделей, созданных пользователями ВСЦ. В зависимости от предметной области вычисления могут представлять собой моделирование, прогнозирование, расчет возможных вариантов развития ситуации, вспомогательные вычисления и др. Доступ к ядру происходит с удаленных клиентских рабочих мест.

Ядро обладает свойством универсальности, перспективно для использования в суперкомпьютерах с параллельной архитектурой и GRID-сетях. Для создания Н-моделей не требуется специальных знаний в программировании.

Запуск вычислительного процесса и передача результатов вычислений основному серверному процессу (сценарий на серверном языке программирования) происходит по команде пользователя при работе в СЦ. Для запуска вычислений необходимо наличие вычисляемой Н-модели, которая может быть создана заранее, разработана пользователем в процессе работы в СЦ, либо создаваться динамически. После процесса компиляции и проверки синтаксиса происходит активация

вычислительного процесса, и по его завершении основному процессу передается результат. В случае неверного синтаксиса это может быть сообщение об ошибке компилятора. При полностью правильно составленной модели результатом будет полученное решение для всех переменных модели или сообщение о несовместности модели. Если модель совместна, то результат представляет пространство всех решений - для каждой переменной находятся интервалы допустимых значений (в предельном случае точные решения).

Существует ряд параметров запуска вычислительного ядра, такие как точность вычислений, необходимость поиска корней, максимальные границы для представления чисел и т.п. Эти параметры могут иметь значения по умолчанию, а также устанавливаться пользователем. Поиск корней позволяет найти точные решения системы ограничений, может производиться поиск различного числа корней. Требования к точности вычислений могут быть установлены пользователем. Выбор точности влияет на время вычислений.

Ключевой особенностью ВСЦ на основе Н-математики является возможность многопользовательской разработки Н-моделей. Вычислительное ядро получает на вход общую модель, в общем случае состоящую из подмоделей различных пользователей и остальной части модели. Реализация этой возможности упрощает процесс создания сложных моделей для разработчиков, а лицам, принимающим решения, позволяет предоставить эффективную систему поддержки принятия решений.

### **3.3.2. Веб-компоненты**

Использование веб-технологий дает возможность распределенного доступа к ВСЦ на основе Н-математики. Работа ВСЦ возможна как в локальных

сетях, так и в сети Интернет. ВСЦ является многопользовательским веб-приложением, интегрирующим веб-технологии и технологию Н-моделей, а также технологии визуализации. Доступ к функциональным возможностям ВСЦ производится с помощью браузера путем подключения к веб-серверу ВСЦ.

Основные веб-компоненты ВСЦ – многопользовательская среда для разработки Н-моделей (для разработчиков моделей и аналитиков) (рис.2) и компоненты для проведения моделирования в процессе работы СЦ (для лиц, принимающих решения, а также для разработчиков при тестировании моделей).



Рис. 2. Многопользовательская среда для разработки Н-моделей.

Установка, развертывание и администрирование системы производится на веб-сервере, удовлетворяющем техническим требованиям, которые могут меняться в зависимости от списка необходимых компонентов. Для работы ВСЦ можно использовать различные серверы, например такие распространенные, как Apache [45] и Microsoft IIS. Основу ВСЦ как веб-приложения составляют исполняемые на сервере сценарии. В качестве языка разработки выбран популярнейший во всем мире язык PHP [49]. Его преимущества состоят в легкости освоения и программирования, больших функциональных возможностях,

наличию расширений и библиотек, и др. Кроме того, на большинстве серверов имеется поддержка PHP, что обеспечивает легкость установки СЦ. Также можно отметить хорошую документацию и растущее число разработчиков, что немаловажно для администрирования СЦ.

Кроме сценариев на языке PHP, в СЦ используются сценарии, разработанные на основе технологии ASP.NET. Эта технология позволяет создавать мощные динамические веб-приложения и удобные пользовательские интерфейсы, а также обеспечивает легкую интеграцию с другими веб-технологиями и компонентами [48].

Многопользовательская среда для разработки Н-моделей представляет собой основное средство для разработчиков в ВСЦ. В системе создан механизм регистрации с поддержкой гибких прав доступа пользователей к различным разделам СЦ. В частности, разработчикам может быть предоставлен доступ только к моделям по определенной теме и запрещен к моделям других участников, пользователи могут просматривать только конкретные разделы и т.п. Администрирование СЦ осуществляют администраторы и модераторы. Им предоставлен доступ к общим настройкам системы (пароли, БД, категории создаваемых моделей, управление пользователями и др.), к самим моделям и др. Пользователь среды получает возможность:

- регистрации на сервере в качестве администратора, модератора или разработчика;
- создания Н-моделей;
- редактирования созданных моделей;
- просмотра базы Н-моделей, созданных другими разработчиками;
- подключения к разработке в других проектах;
- вычисления созданных моделей и др.

Регистрация на сервере необходима для получения прав на выполнение основных функций. После заполнения регистрационной

формы, содержащей информацию о пользователе, последний получает электронное письмо, когда проверка его данных будет завершена. Администратор СЦ может назначить пользователю права администратора, модератора или разработчика. Права позволяют управлять многопользовательской средой СЦ – пользователями, Н-моделями и др.

Все разрабатываемые Н-модели разделены по темам, отражающим характер данной модели, ее принадлежность к предметной области. Каждая модель, в свою очередь, может быть разделена на подмодели, создаваемые разными пользователями (или одним пользователем). Создание модели осуществляется путем ввода текста модели в форме на веб-странице создания модели (рис.3). При этом используется язык вычислителя, близкий к обычной математической записи. Модель представляет совокупность ограничений – уравнений, неравенств, логических выражений и т.п. После создания модели она может быть сохранена на сервере для последующего использования. У каждой подмодели сохраняются данные о дате создания, разработчике. При необходимости в модель вносятся комментарии.

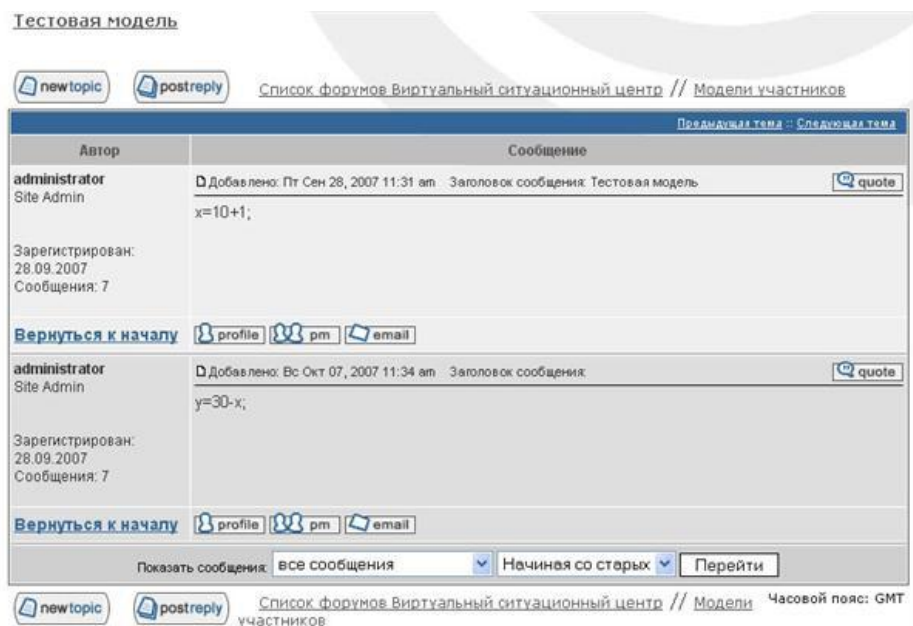


Рис. 3. Создание Н-модели в многопользовательской среде ВСЦ.



Сохраненные модели впоследствии могут быть отредактированы. Администратор СЦ имеет право редактирования моделей других пользователей. Просмотр моделей других разработчиков возможен при наличии у пользователя соответствующих прав. Аналогично возможно и подключение моделей других пользователей в качестве модулей. Зарегистрированному пользователю администратором назначаются права вычисления моделей (рис.4).

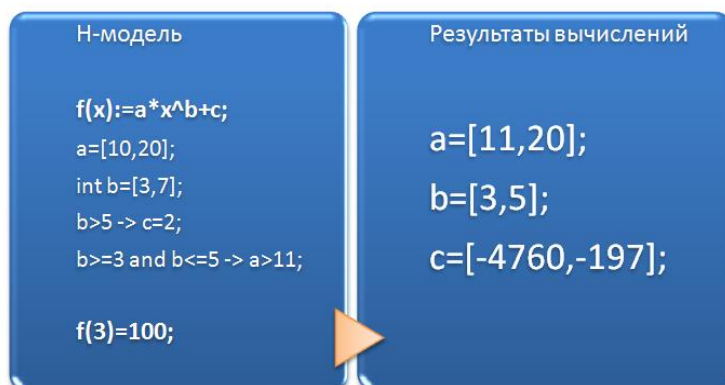


Рис. 4. Вычисление N-модели в системе.

Таким образом, коллективная работа по разработке моделей достаточно удобна, и система предоставляет средства для многопользовательской работы над проектами.

Компоненты для проведения моделирования в процессе работы СЦ предназначены для использования лицами, принимающими решения, и представляют функционально законченные модули, выполняющие определенные задачи в области использования СЦ. Клиент ВСЦ непосредственно работает с этими компонентами (индивидуально или совместно с другими пользователями) и принимает решения на основе полученных данных. Цель компонентов – выработка эффективных решений. Наиболее часто выполняемые функции – моделирование, прогнозирование, оптимизация управленческих решений. Интерфейс пользователя зависит от конкретной задачи и предметной области. Пример

компонента этого типа – электронные таблицы на основе Н-моделей для работы СЦ в финансовой сфере и сфере корпоративного управления. Электронные таблицы на основе Н-моделей предоставляют удобный интерфейс для работы с финансовой информацией и обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными таблицами: возможность вычислений модели с интервальными данными, ввода более одного ограничения в ячейках таблицы, отсутствие входных и выходных ячеек и др. Для каждой ячейки таблицы вычисляется интервал возможных значений. Визуализация показателей в виде двумерных или трехмерных графиков способствует быстрому принятию решения. Происходит качественное повышение эффективности работы с моделями и расширение спектра решаемых задач.

Более сложные компоненты требуются для поддержки принятия решений в кризисных ситуациях - может использоваться трехмерная визуализация объектов, представляющих картину событий в реальном времени.

В общем случае компоненты для проведения моделирования предоставляют пользователю интерфейс для работы с моделью – параметрами модели, алгоритмами обработки данных, сценариями моделирования и т.п.; серверная часть компонентов реализует необходимые алгоритмы обработки данных, взаимодействуя с источниками данных и вычислителем.

Важная часть ВСЦ – база данных многопользовательской среды. В ней хранится информация о пользователях, создаваемых ими моделях, служебная информация и др. В системе используется широко распространенная СУБД MySQL, отличающаяся высоким быстродействием и простотой. Однако в зависимости от сложности и объема выполняемых задач можно использовать в приложении любую другую СУБД данного типа, например Oracle, MS SQL Server, Sybase и др.

Например, для источников данных используются файлы баз данных других форматов.

Взаимодействие пользователей СЦ обеспечивают компоненты коллективной работы. Для обеспечения удобной работы и коммуникации между пользователями в ВСЦ имеется функция отправки личных сообщений. Если необходимо взаимодействие большой группы, реализуется подсистема обмена сообщениями в реальном времени, подобная т.н. чатам (chat). Для крупных СЦ перспективно включение в его состав голосовой и видеоконференц-связи. Общие требования к таким подсистемам – понятный интерфейс, минимальные аппаратные требования и легкость использования.

В ВСЦ реализуется коллективная работа над документами. Документ (текст, веб-страница, электронная таблица, графические модели и т.п.) может редактироваться несколькими пользователями, и при его изменении новый документ сразу доступен всем пользователям. Веб-технологии позволяют работать над одним проектом из любой точки с доступом в Интернет, с сохранением всей информации на сервере.

Одним из условий успешной работы СЦ является получение данных для вычислений и визуализации в реальном времени. Функциональные возможности ВСЦ позволяют передавать данные вычислительному ядру данные практически в режиме реального времени. Получение решения ограничено только временем вычислений. Информация в ВСЦ поступает из БД, с веб-ресурсов (напр., метеорологические данные или данные о трафике) и др. По окончании сеанса работы в ВСЦ данные сохраняются и могут быть использованы в дальнейшей работе.

Важным требованием к ВСЦ является наличие удобного пользовательского интерфейса. В настоящее время разработчики во всем мире повышают внимание к этой проблеме, как одной из важнейших для обеспечения высокой производительности при работе с приложением и

сокращения времени принятия решений. Современные веб-технологии помогают решить эту проблему. В ВСЦ используются современные технологии ASP.NET, Microsoft SilverLight [47], AJAX [48], Adobe Flash. Богатый набор веб-компонентов, используемых в ВСЦ, облегчает работу пользователя с веб-приложением и способствует быстрому выполнению задач. К их числу относятся электронные таблицы, большое количество типов 2D и 3D графиков и диаграмм (рис.5), различные графические элементы управления (меню, кнопки и т.п.) и др.

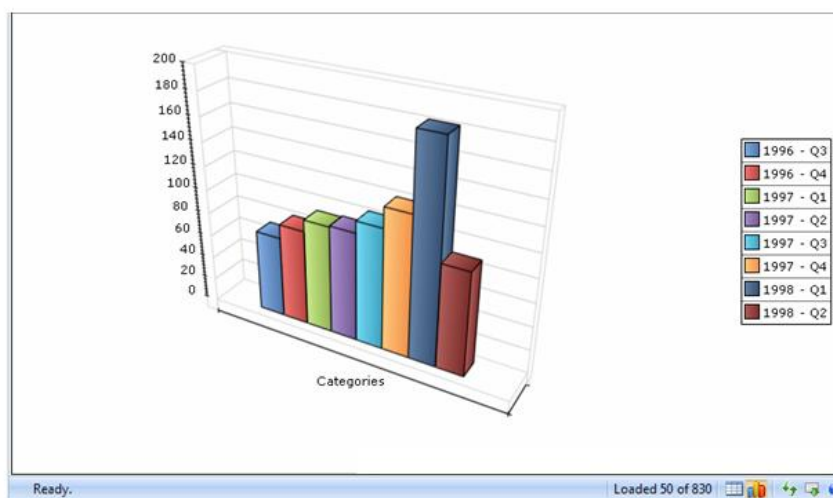


Рис. 5. Графический компонент для визуализации результатов моделирования в ВСЦ на основе технологии ASP.NET

При необходимости в системе используется компонент географических карт, эффективный при работе с большими массивами данных. Более высокое быстродействие обеспечивается подгрузкой данных только по запросу, наличие вспомогательных элементов управления, таких как контекстно-зависимое меню, фильтры и т.п. Возможность настройки внешнего вида веб-страниц и близость их к обычным десктоп-приложениям также помогает пользователям быстрее адаптироваться к системе.

### 3.3.3. Графические компоненты

Графические компоненты (компоненты визуализации) играют важную роль в процессе работы ВСЦ. Одна из главных функций СЦ - отображение информации в удобной для пользователя форме. Представление информации в графической форме повышает скорость принятия решений и особенно необходимо в случае анализа больших массивов данных. Выбор необходимых компонентов (2D и/или 3D) производится в зависимости от предметной области, способа моделирования ситуации, сложности модели, типа поступающей информации и др.

Интеграция технологии N-моделей и технологии визуализации позволяет использовать вычисленные ядром результаты для отображения различными средствами компьютерной графики. Передача данных в графический компонент происходит при помощи серверного языка программирования. При необходимости производится обработка данных. Вычисленные результаты часто оказываются недоопределенными, и требуется их дополнительная обработка, чтобы визуализация была возможной. Например, 2D графики могут использовать недоопределенные числовые данные для построения областей на плоскости или другим способом. В ряде случаев это возможно и в 3D варианте, например для построения пространственных областей, фигур. Но очень часто условия требуют точных значений для переменных, и тогда необходимо использовать некоторое точное (не интервальное) решение, либо приводить интервальное решение к некоторому усредненному, например, используя середину числового отрезка, или путем сильного уточнения исходного решения до небольших интервалов.

Используемые компоненты визуализации можно разделить на компоненты двумерной и трехмерной визуализации, а также на использующие и не использующие браузер.

Компоненты двумерной визуализации отображают графики, диаграммы, карты, шкалы и т.п. Также могут динамически создаваться различные изображения в формате JPEG, GIF и с применением Flash. Эти компоненты загружаются на веб-странице в браузере пользователя. Для многих приложений СЦ этих средств может быть достаточно.

Компоненты трехмерной визуализации используются для погружения пользователя в трехмерную модель исследуемого явления или процесса. Объекты модели могут быть реально существующими или виртуальными. Визуализация реализуется двумя способами – либо в браузере средствами языка моделирования виртуальной реальности VRML (или X3D) и других подключаемых плагинов, либо в программах, установленных на ПК пользователя. Такими программами могут быть специализированные пакеты (AutoCAD, ArchiCAD и др.), различные редакторы и программы общего назначения (3DS Max) и т.п. Первый способ удобен тем, что вся работа с СЦ происходит в рамках браузера, а трехмерная модель может создаваться динамически с использованием технологии N-моделей. Однако существующие средства визуализации в браузерах пока не позволяют достичь качества традиционных приложений, использующих мощные видеокарты и ускорители. Второй способ подходит для создания 3D моделей с использованием возможностей графических пакетов, в том числе специализированных. В этом случае обычно существуют некоторые стандартизированные форматы файлов модели. Функция компонентов ВСЦ заключается в создании файла с трехмерной моделью данного формата, полученной в результате вычислений N-модели, в которой переменные связаны с параметрами трехмерной модели. Например, для СЦ, решающего задачи городского планирования, N-модель представляет собой совокупность ограничений на проектируемые объекты, а получаемая трехмерная модель – часть трехмерного виртуального города. Файл с моделью становится доступным

для скачивания пользователю и последующей загрузки в систему визуализации.

Применение в СЦ технологии виртуальной реальности (виртуального окружения) – один из наиболее эффективных методов повышения качества принимаемых решений. Виртуальное окружение - это технология, обеспечивающая погружение пользователя в трехмерную интерактивную среду и предоставляющая естественный интерфейс для взаимодействия с объектами в виртуальной среде. Для многих областей работы СЦ визуальное представление объектов просто необходимо, поэтому актуальность задачи интеграции технологии виртуальной реальности и технологии Н-моделей в СЦ велика. Для относительно простых приложений могут использоваться средства для веб-браузера, для более сложных требуется использование установок виртуальной реальности. В настоящее время такие установки стали более доступными, и они создаются на базе ПК и кластеров. Примером программного обеспечения, использующегося в таких установках, служит программный инструментальный для разработки виртуальных окружений Avango [40,41]. При этом передача данных в систему может осуществляться в режиме реального времени, либо используется вариант, когда файл с 3D моделью готовится (генерируется) заранее.

Технология Н-моделей позволяет создавать более качественные 3D модели, что ведет к повышению эффективности принятия решений. Основные преимущества заключаются в ускорении работы моделей при работе в режиме реального времени (по сравнению с другими алгоритмами), создании более сложных моделей (в т.ч. с недоопределенными данными) и большей адекватности самой модели. Так как модель может включать произвольные типы ограничений, отношений между объектами и использовать недоопределенные данные, задача разработки трехмерной модели решается в исходной постановке без

упрощающих предположений. При моделировании развития ситуации получение всего пространства решений при данных условиях способствует правильной оценке событий.

В процессе взаимодействия с виртуальной моделью пользователь СЦ совершает некоторые действия, такие как перемещение в пространстве модели, взаимодействие с объектами, выбор сценария развития ситуации и т.п. При этом модель может изменять свои свойства, реагировать на действия пользователя. Необходимые вычисления производятся с использованием Н-моделей, обеспечивая гибкие возможности моделирования ситуаций и интерактивность.

### **3.4. Режимы работы виртуального ситуационного центра**

ВСЦ на основе Н-математики предоставляет пользователю возможность индивидуальной и коллективной работы. Существует три основных режима работы ВСЦ: проблемный мониторинг, режим планового обсуждения проблемы и чрезвычайный режим.

В режиме проблемного мониторинга осуществляется слежение за ситуацией с целью информирования руководителей организации, а также акцентирования их внимания на актуальных истораживающих событиях. Основными источниками информации, поступающей в ВСЦ, являются базы данных и сеть Интернет. СЦ отслеживает те или иные процессы в конкретной сфере управления, фиксирует показатели, значения, всплески активности в том или ином регионе, отрасли, среди определенных групп населения. Администратор СЦ имеет возможность выбора источников информации, индикаторов мониторинга. В этом режиме активно используются графические компоненты, отображающие индикаторы состояния объекта мониторинга.



Режим планового обсуждения проблемы предназначен для решения определенных проблем, формулируемых пользователями СЦ. Активно используется моделирование, прогнозирование, анализ возможных сценариев развития событий, оптимизация принимаемых решений с применением Н-моделей и других технологий обработки информации. Моделирование проходит с использованием ранее разработанных моделей по заготовленным сценариям, либо с динамическим созданием моделей и различным сценариям в зависимости от действий группы пользователей.

В чрезвычайном режиме необходимо быстрое проведение моделирования на основе доступной информации и выработка решения, предотвращающего дальнейший рост кризиса и стабилизирующего ситуацию. Преимущество недоопределенного моделирования состоит в возможности использования неполной и неточной информации, в том числе грубых оценок и данных различных типов, характерных для кризисной ситуации, высоком быстродействии вычислителя, получении всего пространства решений. При поиске оптимального решения в комбинаторных моделях происходит быстрое сжатие многомерного параллелепипеда и отсечение областей невозможных решений. В этом режиме ВСЦ важную роль играет работа с трехмерной моделью, которая отражает текущую информацию о кризисной ситуации. Зачастую именно возможность проведения моделирования в виртуальном окружении оказывает решающее влияние на принятие правильного решения. Процесс коллективной работы с трехмерной моделью может проходить так, что каждый пользователь управляет отдельными функциями, и результаты действия пользователей отражаются в модели (аналогично многопользовательским виртуальным мирам).

Необходимая логика работы СЦ в этих режимах реализуется с помощью сценариев на серверном языке программирования.

### 3.5. Моделирование ситуаций в многопользовательском режиме

В процессе работы в ВСЦ пользователи имеют дело с некоторым представлением текущей ситуации – различной информацией нескольких типов. Информация о ситуации включает в себя:

- текстовую (описание основных событий, текущего состояния, индикаторов, объектов; мнения специалистов, выраженные в текстовом виде; необходимую информацию о предметной области и др.);
- графическую (изображения, рисунки, диаграммы, графики, 3D модели);
- звуковую (аудиозаписи и т.п.);
- видео (видеофайлы различных форматов);
- компьютерные модели ситуации и результаты моделирования с использованием различных видов информации и др.

Анализ текущей ситуации представляет комплексный процесс с использованием перечисленных видов информации, проведения моделирования и принятия решений на основе результатов моделирования.

Разработка модели осуществляется в виде последовательности этапов, на каждом из которых информация о модели уточняется. Этапы включают [39]:

- выбор показателей модели и анализ доступной информации о них,
- первичную оценку показателей и их взаимосвязей,
- согласование оценок на уровне подмоделей ("блоков" модели),
- отладку подмоделей, согласование "блоков", окончательную отладку модели.

В случаях необходимости возможен возврат к ранее выполненным этапам с целью корректировки их результатов.

Анализ доступной информации о ситуации ведется по нескольким направлениям:

- проверка достоверности (например, возможна проверка спорных теоретических зависимостей по статистическим данным);

- выявление противоречий и установление - по возможности - их причин (самые частые причины - случайные ошибки, преднамеренное искажение информации, несовпадение методик расчета, разные теоретические представления, различия в круге источников, из которых собраны данные);

- ранжировка источников данных по надежности;

- определение информации, необходимой для оценки отдельных показателей и зависимостей.

Выделение подмоделей не является обязательным, и в простейшем случае работа сводится к выбору показателей и анализу доступной информации о них, первичной оценке, согласованию оценок и окончательной отладке модели.

Тем не менее, выделение подмоделей имеет серьезные достоинства:

- одну и ту же подмодель допустимо использовать в разных моделях,
- каждый «блок» может разрабатывать отдельная группа специалистов, что позволяет сократить общие сроки работ и четко определять сферы ответственности,

- подмодели удастся независимо друг от друга исследовать, уточнять, совершенствовать – это не только ускоряет, но и упрощает проводимые разработки.

Эти преимущества реализованы в многопользовательском режиме моделирования в ВСЦ на основе Н-математики.

Отладка «блоков» и модели в целом является завершающим этапом при подготовке модели к работе в СЦ. Разработка завершается внесением в них целесообразных упрощений и окончательными испытаниями. При наличии вариантов модели выбирается окончательный вариант.

Поиск упрощений не является обязательным, но при создании моделей с большим числом переменных весьма полезен. Например, в ряде случаев интервальные оценки можно без большой потери точности заменить точными значениями.

Испытания модели в многопользовательском режиме обычно включают:

- проверку работоспособности подмодели либо модели при варьировании статистических и задаваемых пользователем данных;
- анализ поведения подмодели либо модели при возможных действиях пользователя;
- накопления данных о времени вычислений и требованиях к ресурсам системы.

В работе ВСЦ могут использоваться подмодели и модели, которые обеспечивают устойчивую работу при всех вариациях статистических и задаваемых пользователем данных, совместимых друг с другом и выбранными ограничениями, работоспособны при любых реально возможных вариантах действий пользователя и могут быть реализованы с учетом технических параметров веб-сервера.

### **3.6. Методы повышения эффективности решения задач с помощью Н-моделей**

Интеграция веб-технологий и технологии Н-моделей позволила разработать методы повышения эффективности решения задач с помощью Н-моделей и автоматизации процесса вычислений. Данные методы могут применяться для оптимизационных задач.

Метод динамического создания моделей позволяет создавать динамически модели на сервере с использованием данных из различных источников (данные пользователя, Интернет, базы данных). При этом

пользователь может работать с удобным интерфейсом создания модели, а не обязательно с текстом модели.

Метод динамического подключения подмоделей различных пользователей обеспечивает возможность создания общей N-модели, включающей подмодели пользователей. Могут использоваться любые условия подключения подмодели, например фильтр по автору подмодели, времени создания, наличию и значениям переменных, дополнительным условиям. Пользователь системы имеет право выбора необходимых ему подмоделей.

Возможность задания сценария расчета при получении определенных результатов позволяет управлять процессом вычислений при вычислении N-модели. Например, может производиться корректировка модели при достижении переменной какого-либо значения, или подключение моделей других пользователей. Также метод может быть использован для решения задач оптимизации.

Полученные результаты вычислений могут использоваться для разработки логики остальной части приложения. Например, в зависимости от значения переменных могут выполняться те или иные блоки кода. Данные методы существенно повышают эффективность решения задач на основе N-моделей по сравнению с однопользовательскими системами.

## **Глава 4. Практическое использование виртуального ситуационного центра на основе недоопределенной математики**

### **4.1. Сферы применения виртуального ситуационного центра**

Разработанные в диссертации компоненты и использующая их система «Виртуальный ситуационный центр на основе N-математики» являются достаточно универсальными и применимы для решения широкого класса задач в различных сферах. Это достигается, в первую очередь, благодаря технологии N-моделей, а также интеграции с веб-технологиями и технологиями визуализации. Две последние технологии широко используются в современных СЦ, но именно за счет их интеграции с технологией N-моделей система предоставляет качественно новые возможности поддержки принятия решений.

Универсальность и мощность вычислительного ядра СЦ преодолевает многие трудности моделирования, прогнозирования, анализа ситуаций и решения обратных задач в условиях неполноты, неточности, недоопределенности данных, сложности компьютерных моделей и ограничений традиционного математического аппарата. Технология недоопределенного моделирования успешно апробирована во многих областях, таких как экономика, финансы, [26-32, 37] менеджмент, управление сложными объектами и производственными процессами, инженерные расчеты [33] и др. Работа в многопользовательском режиме в СЦ увеличивает ее применимость, то же относится и к интеграции с остальными двумя технологиями ВСЦ.

Использование веб-технологий в СЦ в настоящее время практически необходимо, в связи с большими объемами поступающей информации из внешних источников, а также для организации удаленной работы пользователей. Преимущества сети Интернет и создания веб-интерфейсов

уже хорошо осознаны, главным здесь является создание доступа к ВСЦ произвольного числа пользователей. Проникновение сети практически во все сферы деятельности человечества и относительная простота работы с сетью и веб-приложениями для большинства пользователей делают ВСЦ удобным инструментом для решения задач государственного и корпоративного управления, научных, технологических, образовательных и других задач. Решающим фактором для многих приложений является время принятия решений. Необходимое быстроедействие при коллективной работе удаленных пользователей реализуется с использованием сети.

Развитие технологий 2D и 3D визуализации и аппаратных средств привело к тому, что системы визуализации в настоящее время способны удовлетворить высокие требования к качеству и реалистичности изображения и играют важную роль в комплексе СЦ. Системы визуализации также применяются практически во всех областях, число различных приложений постоянно растет. С помощью систем виртуальной реальности в ВСЦ можно решать задачи моделирования ситуаций, используя визуализацию для погружения в пространство 3D модели [40], например:

- визуализация различных образовательных курсов;
- визуализация сложных инженерных сооружений и физических установок (атомные электростанции, корабли и подводные лодки, ядерные реакторы, ускорители и экспериментальные установки физики высоких энергий);
- моделирование чрезвычайных ситуаций и катастроф с учетом конкретного рельефа местности и имеющихся зданий и сооружений (ситуационное моделирование);
- визуализация моделей космических аппаратов и создание виртуальных лабораторий в космосе;

- визуализация критичных транспортных и дорожных сооружений (газо- и нефтепроводы, тоннели и мосты, кабельные системы и инженерные коммуникации);
- визуализация в системах конструирования (CAD) и быстрого макетирования (rapid prototyping);
- визуализация в автомобильной промышленности (обтекание, окраска, интерьер, динамика разрушения при столкновении и пр.);
- визуализация в авиационной промышленности;
- конструирование молекул в физической химии и фармацевтике;
- планирование и отработка технологий сборки сложных конструкций и строительства сложных сооружений;
- создание тренажеров управления военных и гражданских движущихся средств;
- моделирование поля боя и планирование боевых операций;
- визуализация в медицине и создание медицинских тренажеров;
- синтетическое искусство, телевидение и кино;
- создание виртуальных музеев, планетариев и лекционных залов;
- реконструкция в археологии и виртуальный туризм (путешествия по древним и современным городам).

Эти возможности позволяют применять систему в перечисленных выше областях. Учитывая то, что обычно в организации уже существует корпоративная информационная система, использование ВСЦ можно считать дополнительным шагом к повышению эффективности поддержки принятия решений. Система может использоваться вместе с уже существующими, а их интеграция представляет отдельную задачу.



## **4.2. Решение практических задач в среде виртуального ситуационного центра**

### **4.2.1. Экономические и финансовые задачи**

Математическое моделирование является важным инструментом исследований и расчетов в области экономики и финансов. Оно позволяет правильно оценивать текущую ситуацию (анализ), видеть перспективы (прогноз), определять ориентиры (план) и достигать желаемых целей (управление). Предпосылкой для решения этих задач с помощью ВСЦ является необходимость совершенствовать технологию моделирования в экономике – неточности подобных прогнозов все еще часто встречаются в мировой практике. Основные преимущества, которые обеспечивает ВСЦ – эффективная технология моделирования и работа с моделью в многопользовательском режиме.

К особенностям традиционного математического моделирования в данной сфере можно отнести [39]:

- алгоритмичность,
- целевой характер модели,
- определенность значений показателей,
- определенность системы математических зависимостей,
- разграничение входных и выходных параметров модели,
- ограничительный отбор используемой информации.

Алгоритмичность предполагает разработку алгоритма модели, той последовательности вычислений, в соответствии с которой работает модель.

Целевой характер модели вызывает необходимость изменения модели при изменении задачи моделирования.

Идеальным считается решение, при котором все показатели определены точно. Остальные решения считаются приближениями. Обычно используются модели, содержащие зависимости, обеспечивающие однозначное решение. Такие модели не могут быть недоопределенными или переопределенными.

Разграничение входных и выходных параметров модели также свойственно для экономических и финансовых моделей. При этом часто отбрасывается избыточная информация и такая, использование которой затруднительно, например интервальные данные.

Однако особенности традиционного подхода во многих случаях не удовлетворяют реальным потребностям моделирования в области экономики и финансов. Изменение условий модели может приводить к необходимости изменения алгоритмов, разработки новых моделей в связи с целевым характером модели. Для экономических задач характерны недоопределенность данных, неполнота знаний об исследуемых величинах. Стремление к полностью определенной модели, не использующей недоопределенные данные, мешает адекватным образом оценить возможные состояния моделируемой системы. Деление параметров на входные и выходные может затруднять процесс моделирования, например в случае необходимости решения обратных задач.

Использование в ВСЦ технологии Н-моделей, многие свойства которой отличаются от особенностей традиционных подходов, помогает преодолеть трудности моделирования в экономических задачах. Так, для вычислений достаточно создать описание модели, но не требуется разработка алгоритма решения задачи. Задача и модель представляются как неупорядоченная совокупность отношений, которые соответствуют связям, существующим между переменными задачи. Эти отношения могут иметь вид уравнений, неравенств, логических выражений и т. п.

Для финансовых приложений особенно важны следующие свойства Н-моделей:

- возможность использования интервальных оценок показателей (наряду с точными оценками);
- допустимость работы с усложненными (неполными, избыточными, неупорядоченными) системами линейных и нелинейных уравнений и неравенств, включая неявные зависимости, связывающие рассматриваемые переменные;
- сохранение работоспособности и эффективности при «плохих» статистических данных - допустимо наличие линейно зависимых столбцов в матрицах статистических данных, позволительны пробелы в статистике, удается извлекать пользу из весьма грубых оценок;
- возможность контролировать прогнозный риск, выявлять и устранять причины чрезмерной недоопределенности;
- допустимость непосредственно задавать желаемые значения результирующих показателей;
- объективное оценивание качества информации, используемой в расчетах;
- автоматическое уточнение расчетов при поступлении дополнительных данных;
- высокая эффективность и быстродействие.

Наличие большого числа факторов недоопределенности может быть учтено в Н-модели. Тем самым устраняется проблема формальной определенности и фактической недоопределенности параметров. Кроме того, уровень обоснованности, достоверности и качества расчетов находится на более высоком уровне по сравнению с традиционными методами. Важнейшими источниками недоопределенности при выполнении экономических расчетов являются:

- принципиальная невозможность точного прогноза ситуации,

- неполнота и противоречивость статистических данных,
- различные мнения экспертов.

В результате вычислений определяется область возможных значений показателей модели («коридор»). Она включает в себя все возможные состояния экономики при данных недоопределенных условиях. Каждая подобласть соответствует некоторым значениям параметров модели, при которых данное состояние реализуется. Нахождение всего пространства решений, а не только отдельных вариантов, позволяет свести к минимуму риск ситуации, когда упущен важный вариант развития событий.

При уточнении параметров модели и задании дополнительных ограничений сужаются «коридоры» не только этих, но и связанных с ними параметров модели. Интервальные оценки исходных и результирующих показателей позволяют эффективно отражать, корректировать и уточнять возможную неполноту и неточность используемой информации, погрешности статистических данных и доверительный интервал прогноза.

Н-модель позволяет использовать все основные показатели и в качестве заданных, и в качестве прогнозируемых, допускает применение зависимостей весьма сложного вида, легко настраивается на решение различных типов задач.

Использование Н-моделей в задачах экономического прогнозирования позволяет не только определять последствия принимаемых решений, но и определять решения, необходимые для достижения цели.

Перечисленные преимущества технологии значительно повышают эффективность моделирования в ВСЦ. Далее рассматриваются примеры решения задач в ВСЦ с применением технологии Н-моделей.

## **Задачи распределения финансовых, материальных и трудовых ресурсов. Учет приоритетов при распределении ресурсов**

Задача распределения финансовых, материальных, трудовых и др. ресурсов характерна для различных уровней планирования – государственного, отраслевого, корпоративного и др. Особенно часто она возникает при решении текущих финансовых проблем управления предприятиями.

Типичная постановка рассматриваемой задачи выглядит следующим образом. Имеется сумма ресурсов (например, финансовых средств), и задан перечень статей расходов, по которым ресурсы должны быть распределены. Сумма ресурсов недостаточна для удовлетворения суммы потребностей по статьям расходов. Из-за ограниченности распределяемой суммы распределение следует осуществить так, что потребности более приоритетных статей расходов будут удовлетворяться полнее, чем потребности менее приоритетных.

Технология Н-моделей позволяет сделать решение задачи распределения ресурсов простым и наглядным, обеспечив оптимальное распределение расходов в рамках необходимых ограничений и приоритетов.

Основным элементом пользовательского интерфейса являются электронные таблицы на основе Н-моделей (рис. 6). Таблица содержит данные по расходам на различные статьи, поступлениям, балансу. Пользователь получает возможность задания минимальной и максимальной суммы на каждую статью расходов и приоритетов выплат. Приоритеты задаются положительными числами, чем ниже число приоритета, тем более важной является статья расходов.

В результате расчета статьи с большими приоритетами получают значение, близкое к максимуму интервала, с меньшими приоритетами –

удаленное от максимума. Если полученное решение не удовлетворяет пользователя, могут быть изменены значения приоритетов и границы распределяемых ресурсов.

Возможны различные варианты условий данной задачи. Параметры модели могут быть заданы точно или в виде интервалов (при интервальных исходных данных или приоритетах). Величины расходов по статьям могут быть неизвестны (используется только условие положительности). Несмотря на это, модель обеспечивает нахождение интервала допустимых значений для данного параметра. Интервальное распределение ресурсов дает пользователю дополнительную свободу, позволяющую полнее учесть требования к распределению.

Интервальное распределение всегда может быть уточнено. При уточнении распределения, касающегося одной из статей, автоматически уточняются распределения и по другим статьям.

	A	B	C	D	E
1	Статьи расходов	Минимум,	Максимум,	Приоритет,	План,
2		млрд.руб	млрд.руб	баллов	млрд.руб
3	<b>ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ</b>				
4	Всего			-	
5	Лимит финансирования			-	
6	Общегосударственные вопросы			10	
7	Национальная оборона			5	
8	Национальная безопасность и правоохранительная деятельность			10	
9	Национальная экономика			7	
10	Жилищно-коммунальное хозяйство			3	
11	Охрана окружающей среды			1	
12	Образование			4	
13	Культура, кинематография и средства массовой информации			1	
14	Здравоохранение и спорт			4	
15	Социальная политика			5	
16	Межбюджетные трансферты			6	

Рис. 6. Фрагмент электронной таблицы для решения задачи распределения ресурсов с использованием приоритетов.

## **Моделирование инвестиционных проектов**

Обратиться к более эффективной технологии моделирования инвестиционных проектов (ИП) заставляют некоторые особенности, присущие данному классу задач:

- наличие в задаче инвестиционного проектирования существенных факторов неопределенности,
- потребность в рассмотрении большого числа вариантов ИП,
- необходимость оценки риска ИП,
- трудности решения обратных задач.

Среди факторов неопределенности – факторы, характерные для задач планирования производства, а также специфические для ИП факторы.

Цель рассмотрения большого числа вариантов ИП – нахождения оптимального проектного решения. Перебор большого числа вариантов обычно трудоемок и требует вычислительных ресурсов, при этом найденное решение может быть не оптимально. N-модели позволяют работать с множеством решений, которое содержит все возможные варианты ИП, совместные с данной системой ограничений.

При обычном подходе к инвестиционному проектированию риск оценивается с помощью специальных показателей (например, коэффициенты финансовой устойчивости ИП) и доверительных интервалов. Однако расчет доверительных вероятностей в большинстве ИП практически невозможен. Технология N-моделей использует другой способ оценки риска – с помощью интервалов для всех показателей модели. Эти интервалы включают все возможные при рассматриваемых условиях значения показателя и учитывают связи переменных и интервальность других показателей модели

Трудности рассмотрения обратных задач связаны с неоднозначностью решения. Например, задача обеспечения прибыли в заданных границах в общем случае имеет множество решений. При изменении условий решение может стать единственным или вообще отсутствовать. С помощью Н-моделей задача решается легко, и определяются границы параметров, необходимые для достижения требуемых значений основных показателей ИП. При наличии единственного решения или его отсутствии пользователь получит соответствующее сообщение.

Чаще всего в моделях ИП используются следующие группы показателей:

- структура компании,
- структура продукции,
- сроки выполнения проекта,
- прогноз объемов производства и сбыта,
- расчетная динамика издержек,
- данные о финансовом состоянии компании в начале проекта и об условиях финансирования (кредит, продажа акций, лизинг и др.),
- ставка дисконтирования и прогноз инфляции,
- движение денежных средств в ходе проекта,
- ожидаемые прибыль и убытки,
- динамика финансового баланса компании,
- показатели эффективности проекта,
- показатели реализуемости (устойчивости, чувствительности и риска) проекта.

Список этих показателей может меняться в зависимости от конкретного проекта. Обязательной считается следующая информация:



- отчет о движении денежных средств (кэш-фло), где выделяется операционная (производство и сбыт), инвестиционная и финансовая деятельность,
- отчет о чистой прибыли (отчет о финансовых результатах и их использовании),
- проектный баланс (динамика баланса активов и пассивов в период реализации проекта),
- показатели экономической эффективности проекта.

При моделировании ИП на основе N-моделей в ВСЦ можно выделить два класса ИП:

- ИП с заданной исходной ситуацией, в которой заранее определены производственные нормативы, а также цены на потребляемые ресурсы и производимую продукцию.
- ИП с прогнозируемой ситуацией, в которых цены на потребляемые ресурсы, производимую продукцию и производственные нормативы являются недоопределенными.

В проектах первого класса все расчетные зависимости могут быть точными. Например, это обычные для бухгалтерского учета выражения объемов реализации, прибыли и налоговых выплат. Единственным источником недоопределенности в этом случае являются параметры ИП.

В проектах с прогнозом ситуации возможна недоопределенность расчетных зависимостей – обычно присутствует изменение во времени цен на потребляемые ресурсы и производимую продукцию, а также изменения производственных нормативов, показатели эластичности рынка и прогнозы конкурентной ситуации.

Возможны следующие варианты работы с моделью ИП в ВСЦ:

- пользователями принимается решение об одобрении или неодобрении проекта или его части на основании данных модели и значений критериев оценки ИП;

- на основании данных модели и значений критериев оценки ИП пользователями производится изменение исходных показателей для улучшения оценок ИП.

С помощью Н-моделей могут быть изменены любые показатели проекта, в том числе обычно считающиеся результирующими. Например, могут быть заданы требования к финансовой устойчивости проекта.

Первоначально задаются основные связи между показателями и интервальные значения показателей. Далее происходит постепенное уточнение показателей, ввод новых условий, обеспечивающих желаемый результат. В итоге формируется ИП, удовлетворяющий всем условиям, либо условия являются несовместными, и необходимо изменение части условий. Итоговый вариант проекта может быть точным или интервальным. Интервальный вариант может быть уточнен в ходе реализации проекта.

### **Задачи производственного планирования**

К числу задач производственного планирования относятся задачи:

- разработки и сопровождения планов выпуска продукции,
- разработки прогнозов рынка,
- разработки комплексных прогнозов развития производства,
- формирования стратегических и оперативных планов,
- контроля исполнения плановых заданий и актуализации планов,
- анализа и прогнозирования финансовой эффективности и устойчивости производства.

Основным отличием при производственном планировании на основе Н-моделей является возможность разработки интервальных планов.

Интервальные планы могут работать в течение длительного времени, отклонения же от точных планов обычно происходят довольно быстро.

В Н-моделях производственного планирования различаются хозяйственно-производственные и финансовые показатели. К первым относятся:

- объемы производства и реализации продукции,
- износ основных средств и нематериальных активов,
- запасы сырья и материалов,
- запасы готовой продукции,
- потребление финансовых, трудовых и материальных ресурсов,
- показатели технологической эффективности.

К финансовым показателям относятся:

- денежные оценки хозяйственно-производственных показателей
- цены на продукцию и потребляемые ресурсы
- стоимость основных средств и нематериальных активов
- налоговые выплаты и начисления
- финансовый баланс предприятия (активы и пассивы)
- характеристики прибыли и доходности (балансовая прибыль, чистая прибыль, чистый доход и др.), а также показатели использования прибыли и акционерной деятельности,
- коэффициенты финансовой устойчивости, ликвидности, платежеспособности и показатели экономической эффективности.

Математические зависимости, входящие в Н-модель, описывают ситуацию на рынке, потребности в ресурсах, условия баланса, эффективность и устойчивость производства. Работа в многопользовательском режиме позволяет снизить сложность разработки модели и упростить сбор информации для модели, в том числе статистических данных. Обычно наиболее сложной частью разработки модели является задание прогнозируемых зависимостей, таких как цены на

ресурсы и продукцию. Получение прогнозов облегчается из-за возможности использовать в этих зависимостях недоопределенные данные.

	A	B	C	D	E
1		ВСЕГО	Продукт1	Продукт2	Продукт3
2	Полная прибыль	[-210, 937]			
3	Прибыль без учета не прямых затрат	[0, 1147]	[0, 278]	[0, 250]	[0, 619]
4	Макс монопродуктовая прибыль	[40, 409]	67.8	40,00	409,00
5	Объем продукции за период				
6	Кол-во единиц продукции		[0, 55.6]	[0, 250]	[0, 23.9]
7	Цена реализации произведенной продукции	[0, 2183]	[0, 612]	[0, 500]	[0, 1071]
8	Затраты предприятия	[210, 1246]			
9	Прямые затраты по видам продукции	[0, 1036]	[0, 334]	[0, 250]	[0, 453]
10	Прочие затраты	210			
11	БАЗОВЫЕ НОРМАТИВЫ				
12	Цена единицы продукции		11	2	45
13	Прямые затраты на единицу продукции		6	1	19
14	Загрузка мощностей единицей пр-ции, %				
15	Линия 1		0.4	0.1	2.1
16	Линия 2		0.3	0.4	4.2
17	Линия 3		0.8	0.03	0
18	Линия 4		1.8	0.2	3
19	Линия 5		1	0	0.5
20	Линия 6		1.4	0.2	3.5
21	ЗАГРУЖЕННОСТЬ, %				
22	Линия 1	[0, 97.3]	[0, 22.3]	[0, 25]	[0, 50]
23	Линия 2	[0, 100]	[0, 16.7]	[0, 100]	[0, 100]
24	Линия 3	[0, 52]	[0, 44.5]	[0, 7.5]	0
25	Линия 4	[0, 100]	[0, 100]	[0, 50]	[0, 71.5]
26	Линия 5	[0, 67.5]	[0, 55.6]	0	[0, 11.9]
27	Линия 6	[0, 100]	[0, 77.8]	[0, 50]	[0, 83.4]
28	ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ, ед пр-ции		55.6	250	23.8
29	Линия 1		250	1000	47
30	Линия 2		333	250	23.8
31	Линия 3		125	3333	1000
32	Линия 4		55.6	500	33
33	Линия 5		100	100	200
34	Линия 6		71	500	29

Рис. 7. Модель оперативного плана производства с интервальными данными.

На рис. 7 показана электронная таблица с моделью оперативного плана производства. Модель описывает производство продукции с учетом интервальных ограничений по загрузженности и пропускной способности. Цель состоит в максимизации полной прибыли.

## **Аудит крупных инвестиционных проектов**

Основные цели аудита крупных инвестиционных проектов – мониторинг, анализ текущей ситуации, реализуемости проектов. Существующие подходы не позволяют решать эту задачу в полном объеме из-за наличия фактора недоопределенности, сложности разработки моделей инвестиционных проектов на базе имеющихся программных средств и математического аппарата. Применение Н-моделей обеспечивает качественный скачок в технологии решения задач данной области. Несмотря на большую степень недоопределенности и недоступность многих параметров модели для аудиторов, успешный мониторинг возможен, так как в моделях данного класса обычно присутствует большое количество связей между параметрами модели, что приводит к нахождению достаточно узких интервалов для переменных. Возможность создания моделей и аудита в многопользовательском режиме дополнительно увеличивает эффективность ВСЦ при решении данной проблемы.

Примером решения задачи аудита с использованием ВСЦ является аудит подготовки инженерных объектов городского хозяйства г. Сочи к олимпийским мероприятиям 2014 г. Задача решается в рамках исследования возможностей ВСЦ в Счетной Палате РФ. При работе с системой (рис.8) пользователи указывают данные по индикаторам мероприятий (отражают выполненную часть работ), по финансам (поступившие и потраченные средства). В результате оцениваются степень готовности и отклонения от плана, а также прогнозируются финансовые показатели и индикаторы мероприятий. В процессе аудита возможно задание интервальных данных (их наличие характерно в данном случае), модель работает даже в случае неполной информации.

Многопользовательский режим позволяет распределить работу между лицами, отвечающими за различные мероприятия и финансы.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		ВСЕГО	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
2	<b>БАЗОВЫЙ ПЛАН МЕРОПРИЯТИЙ</b>									
3	<b>ФИНАНСИРОВАНИЕ, млн.руб</b>									
4	Финансирование всего									
5	мощности электроэнергетики									
6	прочее									
7	Федеральный бюджет									
8	мощности электроэнергетики									
9	прочее									
10	Бюджет Краснодарского края и г.Сочи									
11	мощности электроэнергетики									
12	прочее									
13	Внебюджетные средства									
14	мощности электроэнергетики									
15	прочее									
16	<b>ИНДИКАТОРЫ МЕРОПРИЯТИЙ</b>									
17	Установленная мощность эл. энергии, МВт									
18	в том числе резервные мощности, МВт									
19	Канализационные мощности, тыс.куб.м/сутки									
20	Мощности забора воды, тыс.куб.м/сутки									
21	Интенсивность подачи воды, тыс.куб.м/сутки									
22	Магистральные сети водоснабжения, км									
23	Газоснабжение, тыс. куб. м в сутки 15									
24	Центральное теплоснабжение, тыс.куб.м/сутки									
25	Теплофикация жилья, тыс. Гкал									
26	<b>СТЕПЕНЬ ГОТОВНОСТИ, %</b>									
27	Инженерная инфраструктура в целом									
28	Установленная мощность электроэнергетики									
29	в том числе резервные мощности									
30	Канализационные мощности									
31	Мощности забора воды									
32	Интенсивность подачи воды									
33	Магистральные сети водоснабжения									
34	Газоснабжение									
35	Центральное теплоснабжение									
36	Теплофикация жилья									
37	<b>ПРИРОСТ % СТЕПЕНИ ГОТОВНОСТИ</b>									
38	Инженерная инфраструктура в целом									
39	Установленная мощность электроэнергетики									

Рис. 8. Структура электронной таблицы (фрагмент) для аудита подготовки объектов к олимпийским мероприятиям 2014 г.

#### 4.2.2. Моделирование с использованием трехмерной визуализации

Значительное число задач, решаемых с помощью СЦ, требует визуализации результатов моделирования. Моделируемые явления обычно характеризуются большим числом параметров, и простого представления результатов вычислений (например, в текстовом виде) недостаточно. Для

полного погружения в рассматриваемую ситуацию создается трехмерная модель, отражающая основные свойства ситуации.

Этапу визуализации предшествует этап создания и вычисления N-модели рассматриваемой предметной области. Характерной особенностью является наличие большого числа параметров модели, и для упрощения разработки она может проводиться в многопользовательском режиме. После разработки окончательного варианта модели она становится доступной в сети Интернет для проведения моделирования с использованием различных значений параметров. На основании результатов моделирования создается трехмерная модель рассматриваемого явления. Параметры этой трехмерной модели (размеры, цвет и другие характеристики объектов, алгоритмы их поведения и т.п.) связаны с полученными результатами вычислений.

Таким образом, сеанс работы пользователя в ВСЦ состоит из работы с N-моделью и трехмерным окружением. Результаты взаимодействия с трехмерным окружением (совершение событий, изменение характеристик модели и т.п.) могут затем учитываться при следующем вычислении модели, передаваться в модели других пользователей. Многопользовательский режим работы позволяет генерировать модель с учетом действий конкретных пользователей.

Далее рассматриваются примеры приложений ВСЦ с использованием трехмерной визуализации.

### **Визуализация поверхности Земли и разработка виртуальных городов**

Во многих задачах, связанных с исследованием Земли, проектированием расположенных на ней объектов, моделированием развития ситуации важна возможность непосредственного погружения в трехмерную модель

изучаемых объектов. Виртуальное окружение позволяет перейти на качественно более высокий уровень представления и обработки данных, моделирования и проектирования. Результаты, достигнутые в этой области ведущими разработчиками (Google, Microsoft), показывают стремительное развитие технологий и значимость данной проблемы.

К числу характерных задач, связанных с визуализацией Земли, относятся:

- моделирование чрезвычайных ситуаций и катастроф с учетом конкретного рельефа местности и имеющихся зданий и сооружений,
- визуализация критичных транспортных и дорожных сооружений (газо- и нефтепроводы, тоннели и мосты, кабельные системы и инженерные коммуникации),
- планирование и отработка технологий сборки сложных конструкций и строительства сложных сооружений,
- городское планирование и разработка виртуальных городов.

Решение задач данного класса в ВСЦ разбивается на два этапа. На первом этапе после постановки задачи разрабатываются Н-модели предметной области; соответствующим образом настраивается функциональность веб-приложения, позволяющего работать с моделью в сети (Интернет или локальной). Результатом первого этапа служит веб-приложение, позволяющее моделировать развитие ситуации на основе аппарата Н-вычислений. После выполнения моделирования пользователь получает доступ к файлу трехмерной модели. Этот файл содержит модель, состоящую из рассматриваемых объектов и представляющую текущую ситуацию. Данные об объектах передаются в файл после вычислений в качестве параметров.

Второй этап состоит в исследовании созданной трехмерной модели, а затем пользователями СЦ принимаются решения по моделируемой проблеме. Работа с 3D моделью ведется с помощью специальных



программ, визуализирующих Землю и объекты модели, или с помощью веб-браузера.

Применение Н-моделей предоставляет возможность моделирования при наличии недоопределенных переменных, недоопределенных систем ограничений. Среди вычислительных задач – поиск решения систем ограничений, оптимизационные задачи. Полученный результат моделирования отражает все пространство решений и позволяет работать не только с отдельными вариантами решений. Так как для данной предметной области характерно наличие недоопределенностей, эффективность моделирования может быть значительно повышена при использовании технологии Н-моделей.

При наличии недоопределенности в найденном решении для визуализации выбирается конкретное решение, например с максимальным значением какого-либо параметра или со значениями параметров, лежащими в середине найденных для них интервалов.

Примером моделирования с использованием визуализации Земли является оптимизация городского квартала при строительстве железной дороги (рис.9). Модель содержит данные о пространственном расположении объектов, характеристики поверхности и др. Цель вычислений – определение оптимального с некоторой точки зрения расположения объектов.



Рис. 9. Визуализация городского квартала при строительстве железной дороги.

При проектировании транспортных сооружений визуализация позволяет оценить критически важные характеристики будущего объекта и совершить виртуальное ознакомление с объектом с любой точки. После выполнения оптимизационных расчетов, определяющих оптимальный вариант объекта, происходит создание его трехмерной модели. В модели используются найденные параметры, также учитывается рельеф местности и другие важные данные (рис.10).



Рис. 10. Визуализация проектируемой автомобильной трассы с учетом рельефа местности.

Для мониторинга ситуации на опасных объектах необходима детальная визуализация текущей ситуации. При переходе ситуации в чрезвычайный режим в СЦ производится моделирование возможных вариантов развития ситуации, и обстановка в районе визуализируется (рис. 11). Преимуществом использования недоопределенного моделирования является возможность получения всего пространства решений, что позволяет определить возможные пути развития ситуации, а не только отдельные варианты. Кроме того, возможно определение пути выхода из опасной ситуации путем задания требуемых значений параметров модели.



Рис. 11. Визуализация обстановки на опасном объекте.

При коллективной работе пользователей ВСЦ над проектированием сложных технических объектов производится разбиение проекта на подзадачи, над каждой из которых работает группа пользователей. Согласовывается необходимая детализация моделей, а затем формируется

общая модель из подмоделей пользователей. Общий принцип работы с моделью может состоять в постепенном уточнении составляющих ее блоков, либо в объединении небольших блоков.

Например, проектирование сложного сооружения (рис.12) с помощью Н-моделей вначале определяет его основные параметры, а затем оно переходит на более детальный уровень (рис.13).



Рис. 12. Визуализация сложного технического объекта (основной план).



Рис. 13. Визуализация сложного технического объекта (детализированный план).

## **Заключение**

### **Результаты и выводы**

Задачи, поставленные в диссертационной работе, полностью выполнены.

В работе получены следующие **основные результаты**:

- проведено исследование разработок в области СЦ, выявлены основные направления развития СЦ, сформулированы цели и задачи, подлежащие решению при создании ВСЦ;
- предложена концепция и архитектура ВСЦ на основе Н-математики – системы, качественно повышающей эффективность поддержки принятия решений;
- осуществлена интеграция технологии Н-моделей, веб-технологий и виртуальной реальности, и на их базе разработаны компоненты ВСЦ;
- предложены методы повышения эффективности решения задач с использованием ВСЦ;
- исследованы возможности ВСЦ при решении практических задач.

Разработанная экспериментальная система «Виртуальный ситуационный центр на основе недоопределенной математики» обладает следующими преимуществами:

- система обеспечивает широкий спектр решаемых задач в различных предметных областях благодаря универсальности используемых технологий.
- используемая в системе вычислительная технология Н-моделей снимает многие ограничения традиционного математического аппарата и

расширяет классы решаемых системой вычислительных задач. Среди них задачи с недоопределенными данными и обратные задачи.

- высокое быстродействие системы. Обеспечивается мощностью технологии Н-моделей.
- возможность работы в многопользовательском режиме, в том числе разработки математических моделей на основе технологии Н-моделей.
- простота работы с системой. Пользователи работают с ней с помощью веб-браузера, современные компоненты пользовательского интерфейса обеспечивают эффективность работы.
- возможность интеграции с существующими системами и веб-приложениями.
- система может служить технологической основой (ядром) современных СЦ.

Совершенствование СЦ для повышения эффективности управления является актуальной задачей. Разработанная в диссертации технология создания ВСЦ обеспечивает переход на более высокий уровень поддержки принятия решений и представляет собой одно из перспективных направлений развития СЦ и других систем.

## Список литературы

1. Ситуационные центры — решения и проблемы. Взгляд экспертов: тезисы выступлений научно-практической конференции. 30–31 октября 2002 г. М.: Polymedia, 2002.
2. Информационно-аналитические средства поддержки принятия решений и ситуационные центры. Материалы научно-практической конференции/ Под общ. ред. А.Н. Данчула. М.: Изд-во РАГС, 2006.
3. Ситуационные и ситуационно-аналитические центры. [http://www.planarcontrolroom.ru/assets/files/downloads/rus/Command\\_centres\\_DeLight2000.pdf](http://www.planarcontrolroom.ru/assets/files/downloads/rus/Command_centres_DeLight2000.pdf)
4. Время ситуационных центров // Мир ПК. 2002. №12.
5. Бекренев В. Ситуационные центры и социально-экономическое моделирование // Управление персоналом. 2000. № 12.
6. Панов А.В. Разработка управленческих решений: информационные технологии. М., «Горячая линия – Телеком», 2004 г., с. 27-30.
7. Назад в будущее. "СЮ" №4, 18 апреля 2005 года.
8. Ситуационный центр: магия высоких технологий.  
[http://www.kaskad.ru/downloads/vestnik\\_kas\\_07/vestnik\\_kas\\_04\\_2007\\_n\\_04.pdf](http://www.kaskad.ru/downloads/vestnik_kas_07/vestnik_kas_04_2007_n_04.pdf)
9. Роль ситуационных центров в повышении эффективности государственного управления: взгляд SAS.  
[http://www.sasconference.ru/sasforum2007/pdfs/3\\_2.pdf](http://www.sasconference.ru/sasforum2007/pdfs/3_2.pdf)
10. Прогнозирование по-якутски.  
[http://www.pcweek.ru/themes/detail.php?ID=83336&THEME\\_ID=13874](http://www.pcweek.ru/themes/detail.php?ID=83336&THEME_ID=13874)
11. Центр ситуационного анализа и прогнозирования ЦЭМИ РАН.  
<http://data.cemi.rssi.ru/GRAF/center/news.htm>
12. Ситуационный центр «КАНТ». Описание системы. БалтикСофт. 2002.
13. Ситуационный центр российской консалтинговой компании «Глобал С. Консалтинг», входящей в корпорацию «Группа». Описание системы. 2002. <http://www.polymedia.ru>
14. Ситуационный центр Министерства природных ресурсов РФ. Описание системы, 2002.
15. Терещенко И.С. Региональный ситуационный центр // Информационные процессы и системы. 2000. №10.
16. Триумф-Аналитика. Описание системы, 2002.  
<http://www.ta.interrussoft.com>
17. Центр поддержки принятия решений IBS. Описание системы. 2002.  
<http://www.ibs.ru/content/rus/36/360-article.asp>
18. Колесов А. Управление предприятием из Ситуационного центра. PC Week, 2000, №47.



- 19.Зырянов М. "Галактическая" ситуационная комната". ComputerWorld Россия 1999, №43.
- 20.Зырянов М. "Почти как у президента, только на ноутбуке". ComputerWorld Россия. 1999, №6.
- 21.Нариньяни А.С. Недоопределенность в системе представления и обработки знаний // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1986. № 5. С. 3-28.
- 22.Нариньяни А.С. Недоопределенные модели и операции с недоопределенными значениями. – Новосибирск, 1982. – 33 с. (Препр./ АН СССР. Сиб. отд-ние. ВЦ; №400).
- 23.Нариньяни А.С. Недоопределенные множества – новый тип данных для представления знаний. – Новосибирск, 1980. – 28 с. (Препр./АН СССР. Сиб. отд-ние. ВЦ; №232).
- 24.Нариньяни А.С., Телерман В.В., Ушаков Д.М., Швецов И.Е. Программирование в ограничениях и недоопределённые модели // Информационные технологии – 1998. №7. С. 13-22.
- 25.Телерман В.В., Дмитриев В.Е. Технология программирования на основе недоопределенных моделей. – Новосибирск, 1995. – 43 с. (Препр./ РАН. Сиб. отд-ние. ИСИ; № 25).
- 26.Напреенко В.Г., Нариньяни А.С., Юртаев А.В. Недоопределенные модели – нетрадиционный подход к математическим исследованиям экономики // Информационные технологии. – 1999. №4. С.36-41.
- 27.Напреенко В.Г., Нариньяни А.С., Айгазин Ж.Ж. Компьютерная модель управления национальной экономикой на примере Республики Казахстан // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды VII международной конференции. – Самара: Самарский Научный Центр РАН, 2005. С. 233-238.
- 28.Напреенко В.Г., Нариньяни А.С.. Недоопределенные балансовые модели производства // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды III международной конференции. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2001. С. 102-108.
- 29.Козлов А.С., Напреенко В.Г., Нариньяни А.С. Банкир в пространстве выбора: система ориентации // Банковские Технологии. – 2001. №6. С. 38-42.
- 30.Напреенко В.Г., Евтихий Н.И. Математическое моделирование крупного промышленного региона современной России // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды V международной конференции. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2003. С. 367-373.
- 31.Напреенко В.Г., Нариньяни А.С., Кузин Ю.А., Яковлев Н.Е. Оптимизация политики цен и налогов с помощью компьютерной модели региона (на примере Томской области) // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды VI-й

- международной конференции. – Самара: Самарский Научный Центр РАН, 2004. С. 314-321.
32. Напреенко В.Г., Нариньяни А.С. Опыт недоопределенного моделирования экономики // 9-й Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2004. Труды конференции. В 3-х т. Т.1. – М.: Физматлит, 2004. С.412-419.
33. Telerman V.V. Using Constraint Solvers in CAD/CAM Systems // Ershov Memorial Conference. – 2001. P. 446-456.
34. Нариньяни А.С. Модель или алгоритм: новая парадигма информационной технологии // Информационные технологии. – 1997. № 4. С. 11-16.
35. Hyvonen E. Constraint Reasoning Based on interval Arithmetic: the tolerance propagation approach // Artificial Intelligence. – 1992.V.58. P. 71-112.
36. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. – М.: Мир, 1987. – 260 с.
37. Shvetsov I., Kornienko V., Preis S. Interval spreadsheet for problems of financial planning // РАСТ`97. – England, London, April 1997.
38. Кашеварова Т.П., Семёнов А.Л. Некоторые вопросы сходимости метода недоопределённых вычислений // Проблемы представления и обработки не полностью определенных знаний / Под ред. И.Е. Швецова. – Москва – Новосибирск: Рос НИИ Искусственного Интеллекта, 1996. С. 31 – 37.
39. Напреенко В.Г. Моделирование инвестиционных проектов с использованием Н-моделей. Труды IX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара, 2007.
40. С.В.Клименко, И.Н.Никитин, Л.Д.Никитина. Аванго: система разработки виртуальных окружений. – Москва-Протвино. Институт физико-технической информатики, 2006. 252 с.
41. Аванго – объектно-ориентированная система разработки приложений виртуальной реальности. <http://www.avango.org>
42. М.Л.Кричевский. Интеллектуальные методы в менеджменте. СПб.: Питер, 2005.
43. И. А. Чубукова. Data Mining. Бином. Лаборатория знаний, 2008 г.
44. Business Intelligence: The IBM Solution: Data Warehousing and OLAP. Springer, 1999 г.
45. Питер Уэйнрайт. Apache для профессионалов. Wrox Press Ltd, 2001 г.
46. Puget, J.-F., A C++ Implementation of CLP. Plog Solver Collected papers, Technical report, 1994.
47. Essential Silverlight. O'Reilly. 2007.
48. Christian Wenz. Programming ASP.NET AJAX. O'Reilly. 2007.
49. Rasmus Lerdorf et al. Programming PHP. O'Reilly. 2006.

50.Е.Наумов, А. Шовкун. Создание ситуационного центра как задача системной интеграции. <http://www.setevoi.ru/cgi-bin/text.pl/magazines/2004/9/46>