

А.Я. ФРИДМАН, В.Г. КУРБАНОВ
**ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕГРАЦИИ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В СИТУАЦИОННУЮ
СИСТЕМУ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Фридман А.Я., Курбанов В.Г. Информационная технология интеграции пространственных данных в ситуационную систему моделирования.

Аннотация. В работе представлены основные принципы интеграции пространственных данных в ситуационную систему моделирования с целью их равноправной обработки с другими типами информации. В результате пространственный блок становится полнофункциональной управляемой подсистемой системы моделирования, то есть не только обеспечивает визуализацию, оперативное измерение графических характеристик элементов модели и выдачу их в расчетные модули, но и модификацию по результатам расчетов, а также участвует в постановке задачи моделирования и контроле корректности модели.

Ключевые слова: динамический пространственный объект, ситуационное управление, настраиваемый интерфейс, концептуальная модель.

Fridman A.Ja., Kurbanov V.G. Information Technology to Integrate Spatial Data into the Situational Modelling System.

Abstract. This paper introduces the basics of integrating spatial data into the situational modelling system (SMS) in order to provide their equitable processing together with other kinds of information. As a result, the spatial unit becomes a full-scale controlled subsystem of SMS. Besides ensuring visualization, operative measurement of graphic parameters of model elements and transferring them to calculating modules, this unit modifies these parameters according to results of calculations as well as takes part in setting modelling tasks and controlling correctness of the whole model.

Keywords: dynamical spatial object; situational control; customizable interface; conceptual model.

1. Введение. Настоящая публикация продолжает изложенную в предшествующих работах авторов тематику ситуационного моделирования динамических пространственных объектов, в частности промышленно-природных комплексов (ППК).

Ввиду сложности объектов класса ППК структура их математической модели не может быть задана априорно и, следовательно, систему моделирования нельзя строить как законченный пакет прикладных программ. Исходная модель, отражающая представления специалиста о предметной области, изменяется и уточняется в итеративном режиме по результатам проверки на реальных данных. Программное обеспечение таких систем моделирования базируется на информационной модели, отображающей семантическую связь понятий предметной области на потоки обрабатываемых данных. При построении информационных моделей сложных объектов эффективно использование различных приемов декомпозиции, с помощью которых задача моделирования сводится к совокупности более простых для формализации

и численного решения подзадач, а объект исследования представляется в виде некоторой иерархической системы. Анализ способов управления такими системами на языке теории множеств в рамках традиционного оптимизационного подхода был начат фундаментальными работами М. Месаровича и Я. Такахары и привел к появлению общей теории систем [1], где изучаемый объект моделируется некоторой формальной системой. Однако отмеченная выше необходимость многостороннего описания объектов изучаемого класса приводит к тому, что на практике их функционирование оценивается набором критериев, определенных на переменных состояния объекта. Альтернативный подход основывается на работах Р. Шеннона, а в нашей стране — Н.П. Бусленко и Н.Н. Моисеева и их последователей; этот подход был назван имитационным моделированием.

Еще одно направление отхода от классической теории управления связано с работами школы Д.А. Поспелова по ситуационному управлению, основанному на замене описания объекта формальной системой его описанием в виде набора (в общем случае — сети) таких формальных систем, причем переход от одной формальной системы к другой производится на основе анализа ситуации на объекте и применения адекватных ей правил модификации компонентов формальной системы — логико-трансформационных правил [2]. При этом, как и в прикладных системах искусственного интеллекта, целью управления становится поиск не оптимальных, а приемлемых решений. Однако методы ситуационного управления не поддерживают иерархическое описание объекта.

Другой метод построения иерархий был развит на основе работ по концептуальному проектированию баз данных (Дж. Мартин, Дж. Ульман). Он заключается в образовании новых объектов предметной области из имеющихся путем обобщения (введения объекта, для которого каждый из подчиненных ему представляет некоторый частный случай) и агрегации (конструирования объекта из компонентов). Обобщение и агрегация позволяют при многократном их применении построить иерархию концептуальных объектов. В дальнейшем, с появлением работ Э. Йодана (E. Yourdon) это направление оформилось в структурный анализ [3, 4], где модель получается декомпозицией объекта исследования по одному или нескольким параметрам и/или функциям. Школа В.В. Фильчакова дополнила методы структурного анализа методами синтеза среды исполнения и представлениями результатов исследования модели, что создало возможность комплексной автоматизации всех этапов моделирования [5]. К этой же парадигме относятся работы Е.И. Перовской и ее коллег по имитационному моделированию гибких дискретных систем (ГДС) на базе общей теории систем,

где сделаны первые шаги по интеграции геоинформационной системы (ГИС) в систему концептуального моделирования [6]. Однако в работах по ГДС не рассматриваются технологические вопросы реализации концептуальной модели.

Разрабатываемый авторами подход к моделированию ППК детализирует идеи ситуационного управления [2] для новой иерархической концептуальной модели предметной области, которая соответствует принципам общей теории иерархических многоуровневых систем [7] и открыта для оперативной модификации пользователем. В отличие от многочисленных исследований, рассматривающих методологические вопросы структурирования процессов создания и моделирования широкого класса сложных систем с точки зрения их семантики (начиная от UML и до, например, техники ситуационного метода (Situational Method Engineering) [8, 9], распознавания ситуаций (situation awareness) [10–12], общих вопросов интеграции данных, в частности моделей DF&RM и JDL [13–16] и др.), описываемая система ограничена задачами программно-алгоритмической организации имитационного моделирования сложных пространственных объектов и ориентирована на автоматизацию всех этапов моделирования, широкое применение экспертных знаний, использование ГИС-технологии для графического представления составных частей объекта, постановки задачи и представления результатов моделирования, а также для выполнения пространственно-зависимых расчетов. В рамках этого исследования разработана ситуационная система моделирования (ССМ) [17, 18]. Терминология ситуационного моделирования более конкретизирована по сравнению с перечисленными технологиями моделирования (вкратце она пояснена ниже, детали можно найти в публикациях авторов). В частности, термин «интеграция данных» тоже сужен: под ним в ССМ понимается возможность однотипно и равноправно обрабатывать информацию как от расчетных модулей ССМ, так и от встроженных геоинформационной и специализированной экспертной систем. С технологической точки зрения, ССМ должна заполнить имеющийся пробел в средствах моделирования организационных систем в рамках структурного подхода к построению открытой модели предметной области. Доказано, что ССМ позволяет моделировать все основные виды иерархий, рассматриваемых в [7] (стратифицированные, многослойные и многоэшелонные иерархии).

2. Терминология ситуационного моделирования. Чтобы использовать ССМ, ППК необходимо представить в виде иерархически упорядоченного множества *объектов* (составных частей). Эта иерархия отражает организационные взаимоотношения объектов. Каждому объекту может приписываться набор *процессов*, имитирующих преобразо-

вание некоторого набора входных *ресурсов* (или данных) в выходные. Одной из основных характеристик процесса является его *исполнитель*, который определяет его динамические свойства и способ реализации в компьютере. Исполнителя можно задать либо непосредственно (в виде функции), либо ссылкой на имя реализующего этот процесс программного модуля. Ресурсы атрибутированы списками допустимых значений, и также могут иметь исполнителей, например, порождающий их процесс или базу данных, где хранятся временные ряды значений. Списки используются и для числовых, и для ранжированных переменных, чтобы избежать вычислительных проблем, связанных с малыми изменениями данных, и обеспечить их совместную расчетно-логическую обработку. Логическая обработка данных реализуется посредством встроенной экспертной системы, которая может быть назначена исполнителем любого ресурса или процесса. Тогда этот ресурс или все выходные ресурсы этого процесса должны присутствовать в правых частях некоторого набора правил экспертной системы ССМ.

Подлежащие сопоставлению альтернативы реализации ППК вносятся в модель на этапе ее конструирования либо путем декомпозиции некоторого объекта на подобъекты по типу «или», либо заданием альтернативных наборов ресурсов на входе некоторого процесса.

После формирования иерархии объектов необходимо задать ресурсы, которыми обмениваются объекты (сформировать списки входных и выходных ресурсов объектов). Множество ресурсов включает настроечные ресурсы, передаваемые вдоль дуг графа объектов и обеспечивающие корректность иерархии объектов, а также «материальные» ресурсы, описывающие другие типы взаимодействий между объектами. Каждый входной ресурс должен либо порождаться другим объектом, либо помечаться как внешний, что означает его реализацию из некоторой базы данных или на выходе некоторой функции, заданной пользователем.

Таким образом, путем формирования иерархии объектов, описания связывающих их ресурсов и процессов, которые реализуют внутри объектов преобразование входных ресурсов в выходные, строится декларативная *ситуационная концептуальная модель* ППК. В ходе ее построения с помощью отношений иерархии любой составной объект модели однозначно сопоставляется с некоторым подмножеством ГИС-элементов (точек, дуг и полигонов), формирующих его графическое представление. Это позволяет автоматически измерять графические характеристики объектов для использования в расчетах и отображать результаты моделирования на карте.

На такой модели можно исследовать различные варианты реализации ППК и сопоставлять их в статике и динамике.

Теперь об организации моделирования ППК. Базовой формой представления информации в ССМ является *факт*, содержащий сведения о значении некоторого ресурса. *Исходной ситуацией* называется конечный список фактов о состоянии объекта исследования, вводимый пользователем. На основе анализа исходной ситуации и концептуальной модели экспертная система (задавая при необходимости дополнительные вопросы пользователю) доопределяет исходную ситуацию до *полной ситуации*, которой соответствует связный фрагмент концептуальной модели, возможно, включающий некоторые альтернативы реализации структуры объекта моделирования. *Достаточная ситуация* получается из соответствующей ей полной ситуации путем выбора альтернатив, предпочтительных по заданным критериям качества (в ходе решения задачи классификации ситуаций). Достаточная ситуация является управляющей, если требует изменения структуры объекта. При невозможности выбора единственной предпочтительной ситуации имеющиеся альтернативы могут исследоваться в имитационном режиме. *Сценарий* представляет собой последовательность достаточных ситуаций, генерируемых одним и тем же фрагментом модели, и определяет конкретный вариант моделирования.

Таким образом, ССМ решает задачу интеграции различных форм представления знаний с целью применения современных методов исследования и прогнозирования поведения сложных нестационарных природно-промышленных комплексов как многоуровневых многокомпонентных пространственных объектов.

К особенностям ССМ можно отнести следующее:

- автоматизация всех этапов моделирования;
- широкое применение экспертных знаний;
- использование семантически значимых понятий предметной области для построения ее формального описания;
- использование ГИС-технологии не только для графического представления составных частей объекта и результатов моделирования, но также для постановки задачи и выполнения пространственно-зависимых расчетов;
- поддержка современных сценарных подходов к моделированию;
- наличие средств детального формального анализа модели;
- развитый аппарат сопоставительного анализа ситуаций в статике и динамике;
- автоматический синтез исполнительной среды моделирования;
- использование единой инструментальной среды и методологии для моделирования как нормальных, так и критических режимов функционирования ППК;

– возможность интеграции знаний экспертов по различным аспектам функционирования ППК для обоснования принятия решений.

Представленная ситуационная система моделирования позволяет использовать различные формы представления знаний и методы исследования плохо формализованных комплексов, принадлежащих к классу нестационарных пространственных объектов. Она обеспечивает интеграцию уже проверенных надежных решений и анализ возможных сценариев поведения ППК.

ССМ предоставляет ЛПР алгоритмическую поддержку для обоснования его решений об изменении или сохранении структуры подчиненного ему объекта и в этом смысле является альтернативой экспертному совету.

Теперь приведем краткое описание свойств ситуационной концептуальной модели.

3. Основы метода ситуационного моделирования. Географическая информационная система является наиболее «консервативной» составной частью ССМ в плане сложности ее встраивания в систему моделирования, поскольку в традиционных применениях ГИС используются в основном для разработки покрытий и обработки графических характеристик элементов этих покрытий с помощью небольшого набора дорогостоящих (по крайней мере для российского рынка) средств пространственного анализа данных.

КМПО включает: множество объектов модели; отношения, задаваемые над этим множеством; множества атрибутов объектов и отношений; множества функций (функциональных отношений) между информационными объектами, процессами и их атрибутами, а также ресурсов (количественных характеристик) объектов и процессов.

Одно из отличий ССМ от прототипов заключается в том, что наряду с типами элементов модели, формируемыми пользователем и участвующими в контроле корректности модели, для обеспечения более детального формального анализа КМПО в описание ее элементов введены категории объектов, процессов и данных, которые не назначаются пользователем, а присваиваются автоматически. Все объекты модели имеют непосредственную или косвенную (путем задания списка их подобъектов) географическую привязку, которая обеспечивает их согласованное представление в ГИС и КМПО. Привязка объектов к картографической основе производится в ходе конструирования КМПО на этапе контроля и присвоения категорий объектам. Прежде чем рассмотреть эти процедуры, кратко опишем использующиеся в них допустимые категории элементов модели.

В ССМ допускается два вида данных. Если значения некоторого данного есть строковые константы, то такое данное называется параметром (категория PAR), а имеющее числовые значения именуется переменной. В дальнейшем, если сказанное относится к данным любого разрешенного в ССМ типа (и к переменным, и к параметрам), употребляется термин «данное». Данные являются ресурсами (количественными характеристиками) объектов или процессов (категория RES), переменные могут также использоваться как настроечные параметры функций (критериев) качества функционирования элементов КМПО (категория ADJ). При использовании в КМПО каждому данному присваивается имя и список допустимых значений. Отдельную категорию — (категию GIS) — составляют графические характеристики объектов КМПО, непосредственно вычисляемые средствами ГИС. Все они относятся к переменным и могут использоваться только как входные ресурсы объектов или процессов.

Объекты КМПО в ССМ имеют три основные характеристики: имя, функциональный тип, который определяет структуру и функции объекта и используется в процессе анализа корректности КМПО, и имя суперобъекта, который доминирует данный объект в КМПО (отсутствует для объекта верхнего уровня). Далее для простоты рассмотрена двумерная ГИС, на которой реализована исследовательская версия ССМ, хотя аналогичная организация интерфейса возможна и для 2.5 или 3-мерной ГИС, лишь бы объект моделирования имел иерархическую организационную структуру.

По положению в дереве объектов и на карте выделяются три категории объектов КМПО: примитивы (категория LEAF), структурно неделимые с точки зрения глобальной цели моделирования; элементарные объекты (категория GISC), географически связанные с одним ГИС-элементом (полигоном, дугой или точкой какого-либо покрытия); и составные объекты (категория COMP), состоящие из элементарных и/или составных объектов.

Кроме перечисленных основных характеристик объектов, используются следующие дополнительные характеристики, относящиеся к теме настоящей работы:

– положение, которое можно задавать либо непосредственно (координатами или ссылкой на имя ГИС-элемента), либо опосредованно (списком составных частей объекта — подобъектов). Как уже говорилось, примитивы КМПО также могут состоять из нескольких географически различных объектов, но их подобъектами должны быть только ГИС-элементы. Для удобства анализа тип элементарных объектов и ГИС-элементов должен начинаться тремя символами, соответствующи-

ми географическому начертанию объекта (для полигонов — *pol*, для дуг — *arc*, для точечных объектов — *dot*). Всем подобъектам некоторого элементарного объекта автоматически присваивается его положение;

- список входных данных *list_in*;
- список выходных данных *list_out*.

Для составных и элементарных объектов также задается список подобъектов, из которых они состоят.

Каждому объекту сопоставляется в КМПО фрейм следующего вида (часть слотов, не относящихся к теме настоящей работы, опущена):

$$o_i ::= \langle \alpha _ \beta _ \text{имя} \rangle, f_o, [t_h, \langle \text{list_comp} \rangle / \langle \text{area} \rangle], \langle \text{list_in} \rangle, \langle \text{list_out} \rangle, \langle \text{cat}_o \rangle, \rangle, \quad (1)$$

где: α — номер уровня дерева объектов, на котором расположен данный объект, β — его порядковый номер на этом уровне;

f_o — определяет функциональный тип объекта;

$\langle \text{cat}_o \rangle ::= \text{LEAF} \mid \text{COMP} \mid \text{GISC}$ — категория объекта, вносимая в его фрейм в ходе анализа КМПО;

$\langle \text{list_comp} \rangle$ — список имен подобъектов нижележащего уровня декомпозиции, из которых состоит данный объект. Если этот список не задается, то объект рассматривается как примитив КМПО (категория LEAF). То же происходит в случае, когда в список подобъектов входят только ГИС-элементы. Возможен и обратный случай, когда составной объект имеет тип ГИС-элемента (категория GISC). Тогда всем подчиненным ему объектам автоматически присваивается положение его самого. В общем случае, если некоторый объект введен в КМПО с помощью списка его подобъектов, то их графические атрибуты автоматически связываются с графическими ресурсами этого объекта (см. ниже). Альтернативный способ определения объекта КМПО состоит в задании опции $\langle \text{area} \rangle$, которая связывает объект с именем некоторого служебного ГИС-покрытия, определяющего территорию данного объекта. При наличии этой опции в состав объекта автоматически включаются все элементы КМПО, находящиеся на его территории, соответственно, не допускается пересечение территорий различных объектов, имеющих опцию $\langle \text{area} \rangle$;

t_h — тип отношения иерархии, связывающий объект с его подобъектами и обязательный при наличии $\langle \text{list_comp} \rangle$.

Таким образом, декомпозиция объектов в КМПО отражает их взаимное пространственное расположение и организационные связи.

Процессы в КМПО отображают преобразования данных и реализуются в КМПО различными способами в зависимости от присвоенной процессу одной из трех следующих категорий: внутренние про-

цессы (категория INNER), все их входные и выходные данные относятся к одному объекту; внутриуровневые процессы (категория INTRA), связывающие объекты одного уровня КМПО; межуровневые процессы (категория INTER), описывающие передачу данных между объектом и подобъектами или между объектом и суперобъектом. Введенное категорирование процессов несколько усложняет процесс создания КМПО (в некоторых случаях может потребоваться создавать фиктивные процессы, обеспечивающие такую типизацию), но позволяет сделать процедуры формального контроля КМПО значительно более полными и детальными.

Основными характеристиками процессов являются: уникальное имя, характеристика исполнителя процесса и функциональный тип процесса, который определяет тип преобразований, им осуществляемых, и используется в процессе анализа корректности КМПО; дополнительно используются список входных данных и их допустимых граничных значений; список выходных данных и их допустимых граничных значений.

Исполнитель процесса определяет его динамические свойства и способ реализации в компьютере. Исполнитель можно задать либо непосредственно (в виде разностного уравнения), либо косвенной ссылкой на имя реализующего этот процесс программного модуля.

Этап спецификации связей объектов КМПО считается завершенным, когда для каждого входного ресурса (кроме внешних данных) любого объекта модели $o_i \in O$ назначены порождающие этот ресурс объекты:

$$[res_p \in list_in(o_i)] \Leftrightarrow [res_p \in list_out(o_j)], j \neq i$$

и каждому уже описанному в модели ресурсу res_p назначены исполнители.

Значения ресурсов могут поступать в ССМ извне либо вычисляться в ходе моделирования. В первом случае это могут быть только входные ресурсы объектов или процессов КМПО, им назначается исполнитель типа DB, если значения ресурса хранятся в базе исходных данных (БИД) или GEN, если они генерируются некоторой функцией или программой. Кроме того, входные ресурсы элементов КМПО могут иметь тип исполнителя GIS, если относятся к графическим характеристикам объектов модели и вычисляются средствами ГИС, и ES, если вычисляются экспертной системой.

При разработке ССМ, как уже отмечалось, значительные усилия были направлены на детализацию автоматического контроля корректности модели, чтобы избежать потери ее обзорности при росте и/или

модификации. Ниже описано применение категорий элементов модели для контроля ее корректности.

4. Оперативный контроль корректности модели. После присвоения категорий ресурсам автоматически запускается приведенный далее алгоритм, присваивающий и контролирующей категории объектов. Его основной задачей является не первичное присвоение категорий объектам, которые ее еще не имеют, что достаточно легко сделать, а выявление ошибок присвоения категории, могущих возникнуть при редактировании КМПО. Поэтому он, как и другие алгоритмы автоматического присвоения атрибутов в ССМ, может показаться несколько избыточным. По той же причине все конфликты, возникающие при автоматическом категоризировании, не разрешаются автоматически, а выдаются для разрешения пользователю. Для упрощения анализа алгоритм нумерует однотипные элементы одного уровня декомпозиции непосредственно друг за другом.

Алгоритм категоризирования и присвоения уровней объектам КМПО.

Шаг 1. Найти все объекты, имеющие в качестве входных ресурсов только внешние данные (ресурсы с типами исполнителя DB, GEN или GIS). Если какой-либо из этих объектов имеет подобъект типа, отличающегося от типов ГИС-элементов, то стоп — конфликт категоризирования объектов. Иначе присвоить всем этим объектам категорию LEAF.

Шаг 2. Найти все еще не имеющие категории объекты, имеющие тип ГИС-элементов. Присвоить категорию GISC им и всем объектам, входящим в их множества подчиненности в дереве объектов и еще не имеющим категории.

Шаг 3. Найти объект $o_0 \in O$, ни один выходной ресурс которого, кроме настроечных параметров, являющихся входными ресурсами его непосредственных подобъектов, не является входным ресурсом ни одного объекта из множества O . Если таких объектов нет или их несколько, то стоп — конфликт категоризирования объектов.

Шаг 4. Присвоить объекту o_0 уровень декомпозиции 0, изменив соответственно его имя в его во фрейме (1). Если список его подобъектов пуст, то стоп — конфликт категоризирования объектов. Если этот список не пуст, то внести все входящие в него объекты во множество M , $\alpha := 1$, $\beta := 1$ и присвоить объекту o_0 категорию COMP.

Шаг 5. Выбрать объект o_i из множества M , внести α и β в его фрейм, зафиксировать его тип $f_o := f_o(o_i)$, $\beta := \beta + 1$.

Шаг 6. Исключить объект o_i из множества M . Если o_i имеет категорию LEAF, то перейти к шагу 10. Если o_i имеет категорию GISC,

то перейти к шагу 8. Если o_i имеет категорию COMP, то стоп — конфликт категоризирования объектов.

Шаг 7. Если o_i не имеет подобъектов без категории, то стоп — конфликт категоризирования объектов. Если имеет, то присвоить ему категорию COMP.

Шаг 8. Если o_i имеет подобъекты без категории или с категорией COMP, то стоп — конфликт категоризирования объектов.

Шаг 9. Включить все подобъекты объекта o_i во множество Q.

Шаг 10. $\beta := \beta + 1$. Если во множестве M есть еще объекты типа f_0 , то выбрать один из них в качестве o_i и перейти к шагу 6.

Шаг 11. Если во множестве M есть еще объекты, то перейти к шагу 5.

Шаг 12. Если множество Q пусто, то перейти к шагу 13. Если нет, то $M ::= Q$, $Q ::= \emptyset$, $\beta := 1$, $\alpha := \alpha + 1$, и перейти к шагу 5.

Шаг 13. Если во множестве O не осталось объектов, не имеющих категории, то алгоритм успешно завершен, иначе конфликт: КМПО не является связанной по иерархии объектов.

Теорема. Алгоритм категоризирования объектов и предшествующий ему контроль КМПО ССМ выявляют все возможные ошибки категоризирования объектов модели.

Доказательство. Для доказательства достаточно показать ситуации, в которых будут выявлены любые ошибочно присвоенные категории объектов КМПО.

Если некоторому объекту присвоена категория LEAF вместо категорий GISC или COMP, то будет выявлен конфликт при проверке типов исполнителей его входных ресурсов, которые не все будут относиться к внешним данным.

Если некоторому объекту присвоена категория GISC вместо категории COMP, то будет выявлен конфликт на шаге 8 алгоритма категоризирования объектов.

Если некоторому объекту присвоена категория GISC или COMP вместо категории LEAF, то будет выявлен конфликт при проверке типов его подобъектов, не все из которых будут ГИС-элементами.

Если некоторому объекту присвоена категория COMP вместо категории GISC, то будет выявлен конфликт на шаге 7 алгоритма категоризирования объектов. Конец доказательства.

В ходе категоризирования объектов КМПО формируется их ГИС-представление. Данные об объектах КМПО в ГИС заключаются в файл базы данных (БД) следующей структуры. Первая запись этого файла содержит данные об объекте самого высокого уровня проблемной области. В поле «Name» занесено имя объекта (аргумент $\langle \alpha_ \beta_ \text{имя} \rangle$ фрейма

объектов), в поле «Type» — категория объекта (аргумент <cat,> фрейма объектов). Числовое поле «Num» содержит количество его подобъектов, и мето-поле «Objects» включает список имен подобъектов нижележащего уровня декомпозиции, из которых состоит данный объект (аргумент <list_comp> фрейма объектов). Имеются также два поля « α » и « β », которые отражают вспомогательные данные: номер уровня декомпозиции, на котором находится данный объект (α), и номер местоположения объекта внутри этого уровня (β).

Следующие n записей файла содержат вышеперечисленные данные о каждом из подобъектов вершины (n равно количеству подобъектов). Следующие m записей представляют данные об m объектах нижележащего уровня и так далее. Таким образом описаны все уровни проблемной области КМПО. Объектами самого нижнего уровня, представленными в файле, должны быть элементарные объекты (категория GIS). Для объекта категории GIS в поле «Objects» хранится значение идентификатора ГИС, что находится в соответствии со структурой фрейма объектов.

5. Привязка концептуальной модели к карте. Взаимодействие ГИС с КМПО начинается на стадии конструирования последней: при задании одному из объектов модели типа, определенного для ГИС-элементов, пользователю предлагается выбрать этот объект на карте. Результат выбора сохраняется в справочнике «ГИС-элементы КМПО». Одно из условий адекватности модели объекта исследования состоит в наличии ГИС-привязки всех его составных частей — объектов КМПО, то есть в возможности однозначного сопоставления любого составного объекта модели с некоторым подмножеством ГИС-элементов. Процесс привязки имеет дополнительную ветвь при задании для некоторого объекта модели опции «agea». В таком случае пользователь создает и сообщает системе имя специального ГИС-покрытия, содержащего изображение границы объекта. Это имя заносится в БД «Связи объектов», и ГИС осуществляет выборку всех ГИС-элементов, полностью или в большей части находящихся в пределах указанной границы. Для отобранных элементов с помощью разработанного алгоритма выявляются все «старшие» объекты, не имеющие суперобъектов среди отобранных. Множество «старших» объектов предьявляется пользователю для утверждения в качестве подобъектов объекта, имеющего опцию «agea».

На этапе определения ресурсов КМПО происходит формирование множества данных, используемых ГИС [18], для чего предварительно, с учетом особенностей языка ГИС, формируются функции разрешенных типов графических характеристик для различных типов

объектов, рассматриваемых как аргументы этих функций. Далее без потери общности приводится описание интерфейса для широко распространенных языков ГИС Avenue и SML.

Получить графические характеристики или координаты объекта (пары объектов) можно, посылая ему (им) на языке Avenue запросы.

Из-за ограниченных возможностей макроязыков ГИС в ССМ не предусмотрена автоматическая модификация графических характеристик ГИС-элементов (для такой модификации необходимо применение ручных операций). Однако в языках ГИС имеются некоторые средства автоматической генерации новых элементов на основе имеющихся ГИС-элементов. Получающиеся при этом элементы (назовем их трансформированными ГИС-элементами — ТГЭ) являются результатами применения к одному или нескольким (в исследовательской версии ССМ — двум) элементам множества графических объектов выбранной пользователем ГИС-операции из набора допустимых операций, которые рассмотрены ниже. Общий формат команды применения операции имеет вид:

```
<операция> ::= <код_операции> <код_ГИС-элемента> [<код_ГИС-элемента>] <параметры_операции> [<легенда>] [<комментарий>],
```

где: <код_операции> — значение кода из справочника доступных ГИС-операций;

<код_ГИС-элемента> — коды одного или двух ГИС-объектов, к которым применяется операция;

<параметры_операции> — список кодов ресурсов — параметров операции в соответствии с полями $N_{\text{пар}}$ и $\text{list}_{\text{пар}}$ справочника ГИС-операций;

<легенда> — строка, используемая для надписи на ГИС-изображении результата операции;

<комментарий> — пользовательский текст, используемый в качестве комментария для результата операции.

Основные ГИС-операции для исследовательской версии ССМ приведены в таблице 1.

Применение ГИС-операций задается пользователем на этапе конструирования связей элементов модели путем выбора ГИС в качестве потребителя того или иного ресурса. В таком случае пользователю предлагается выбрать на карте ГИС-элемент(ы) — участник(и) операции, по их ГИС типам формируется список допустимых операций, после выбора желаемой операции задаются остальные ее параметры.

Таблица 1. ГИС-операции для исследовательской версии ССМ

Служебный тип ресурса	Назначение ресурса	Допустимые типы объектов
are	площадь	полигон
arem	площадь объединения	любая пара, состав.объект
areo	площадь непересекающихся частей	2 полигона
areo1	площадь непересекающейся части первого	2 полигона
ares	площадь пересечения	2 полигона
cen	координаты геометрического центра	линия, полигон
cene	координаты геом. центра экстента	любая пара, состав.объект
cenm	коорд. геометрического центра объединения	любая пара
cens	коорд. геометрического центра пересечения	линия-полигон, 2полигона
cox	координата X	точка
coy	координата Y	точка
dis	минимальное расстояние	любая пара
disc	расстояние между центрами	любая пара
disb	расстояние между началами	точка-линия, 2 линии
dise	расстояние между концами	точка-линия, 2 линии
disf	миним. расст. между границами экстентов	2 составных объекта
disfc	расстояние между центрами экстентов	2 составных объекта
end	координаты конца	линия
ext	описывающий прямоугольник (экстент)	линия, полигон
extm	описывающий прямоугольник объединения	любая пара, состав.объект
len	длина линии	линия, граница полигона
lene	длина границы экстента	составной объект
lenm	длина объединения	2 линии, 2 полигона
leno	длина непересекающейся части линии	2 линии, линия-полигон
leno1	длина непересекающейся части первого	2 полигона
lens	длина линии пересечения	2 линии, линия-полигон
per	положение точки на линии в %	точка-линия
sec	координаты точек пересечения	2 линии, линия-полигон, 2 полигона
sta	координаты начала	линия

Результатом ГИС-операции в общем случае является некоторый ТГЭ, его реализация зависит от категории ресурсов — параметров операции его создания. Если они имеют категорию ТМР, то ТГЭ создается только в оперативной памяти ГИС, если задана категория СМР, то создается специальное ГИС-покрытие, отображающее результат операции и сохраняемое в базе соответствующего сценария для использования при сопоставлении результатов моделирования различных сценариев. При назначении операций в соответствии с принципами построения организационных иерархий предполагается, что некоторый объект КМПО имеет право применять ГИС-операции только к объектам из его множества подчиненности.

Для представления результатов моделирования на картографической основе, используется описанный выше набор ГИС-операций над ГИС-элементами КМПО, который зависит от языка используемой ГИС. Для применения этих операций в БД ГИС имеется справочник «ГИС-операции», связывающий служебный код операции ($код_{оп}$) с ее именем на языке ГИС ($имя_{оп}$), количеством участвующих в операции объектов $N_{оп}$ (в исследовательской версии ССМ это число равно 1 или 2) и списком их ГИС-типов ($типы_{о}$), а также количеством параметров операции ($N_{пар}$) и списком их ГИС-имен ($list_{пар}$).

После того как описание проблемной области КМПО полностью завершено, файл БД сохраняется на внешнем запоминающем устройстве для последующего чтения и интерпретации ГИС-приложением. На основе этого файла ГИС-приложение создает объект виртуальной таблицы, к которому могут быть направлены запросы в ходе моделирования.

Предварительный этап интерпретации данных состоит в упорядочивании таблицы. На первом шаге она индексируется по полю « α », чтобы установить численные значения уровней декомпозиции в порядке возрастания. На втором шаге — по полю « β », чтобы упорядочить внутриуровневые номера объектов. Затем при помощи поля «Туре» осуществляется выборка объектов, имеющих категорию GISC. Формируется список имен этих объектов, полученных из поля «Name». Также составляется словарь, где ключами являются имена ГИС-объектов, а ассоциированными с ними значениями — их идентификаторы. Далее выборка инвертируется, вследствие чего выбранными становятся объекты других категорий КМПО — COMP и LEAF. В новой выборке процесс считывания информации осуществляется сверху вниз по записям таблицы. Имена объектов также объединяются в список. Параллельно идет процесс составления словаря-справочника,

где ключом является имя, а ассоциированным значением — список подобъектов из поля «Objects».

Записи, относящиеся к составным объектам (COMP) или примитивам КМПО (LEAF), выполняют в ГИС только вспомогательную функцию. Имена этих объектов используются на заключительном этапе ГИС-сеанса в качестве названий для пунктов меню, таблиц, полей, подписей к графикам, диаграммам. Такой справочный материал дает возможность правильно сгруппировать результаты и обеспечить удобство их представления на экране. Списки имен подобъектов поля «Objects» послужат для формирования различных выборок пространственных данных на основе элементарных объектов, что существенно в многоступенчатых задачах.

Всю основную для себя информацию ГИС-приложение считывает из множества записей элементарных объектов. Как уже было упомянуто, объекты категории GIS являются ГИС-элементами и имеют конкретную географическую привязку. Эти объекты распознаются средой ГИС при помощи их служебных идентификаторов. Каждый идентификатор уникален и состоит из имени покрытия и внутреннего номера, который приписан каждому объекту на этом покрытии. На первом этапе процедуры распознавания определяется количество и поименный список всех покрытий ГИС-приложения, участвующих в решении конкретной задачи. Каждому выбранному покрытию назначается статус видимого и активного. Это означает, что только эти покрытия (помимо базового) будут отображены на карте.

На втором этапе распознавания производятся выборки объектов из каждого покрытия по их внутренним номерам. Выборки осуществляются при помощи ряда запросов и могут систематизироваться тематически (по отдельным покрытиям) либо отбираются элементарные объекты ГИС, относящиеся к тому или иному составному объекту или примитиву. Как правило, это несколько элементов ГИС, представленных на разных покрытиях, но расположенных близко друг к другу в географическом отношении. Прежде всего, покрытиям назначается статус активных. Затем перебираются атрибутивные таблицы этих покрытий с выделенными объектами, в результате создается новый графический объект *gr*. Список всех созданных графических объектов заносится в выборку *grList*. На основе списка графики *grList* и словаря-справочника составных объектов и примитивов формируется новый словарь для объектов категорий COMP и LEAF, ключами в котором будут служить также имена этих объектов, а ассоциированными значениями — тождественные их подобъектам графические объекты из списка *grList*. Этот графический справочник необходим на завершающем этапе представления

результатов. Он дает возможность быстрого доступа к готовым наборам ГИС-объектов, которые по-разному группируются на соответствующих картах в зависимости от их принадлежности тем или иным объектам более высокого уровня декомпозиции.

Так же составляются списки и формируются выборки объектов, для которых требуется определить графические или другие характеристики, если эти атрибуты будут использоваться внешними программами или расчетными модулями. Графические характеристики ГИС-объектов включают в себя:

- X и Y — координаты точки;
 - Dimension — размерность, точке соответствует размерность 0, линии — 1, полигону — 2;
 - Length — длина, периметр или окружность графического объекта (только с размерностью 1 или 2 для двумерной ГИС);
 - Area — площадь двумерных объектов (полигонов);
 - Center — точка, представляющая собой математический центр объекта, который не обязательно находится внутри объекта;
 - Extent — наименьший прямоугольник, полностью содержащий в себе графический объект.
- Получить графические характеристики или координаты объекта можно, посылая ему специальные запросы на языке Avenue: GetX, GetY, GetDimension, ReturnArea, ReturnCenter, ReturnExtent, ReturnLength.

К графическим характеристикам также могут быть отнесены и графические результаты, получаемые при преобразовании или взаимодействии элементарных объектов:

- запросы LineIntersection, PointIntersection и ReturnIntersection возвращают графический объект, являющийся результатом пересечения двух объектов;
- запросы ReturnMerged и ReturnUnion — возвращают объединение двух объектов;
- запрос ReturnClipped(Rect) — возвращает графический объект, вырезанный прямоугольником Rect;
- при помощи запроса ReturnBuffered можно построить вокруг объекта буферную зону;
- при помощи запроса Distance — определить минимальное расстояние между двумя объектами.

Для линейных объектов к атрибутам можно причислить и графические решения двух обратных задач: возврат положения точки на линии в процентном отношении от ее начала по запросу PointPosition и получение точечного объекта, заданного на линии в процентах P_r по

запросу `Along(Pr)`, а также расстояние между линией и точкой по запросу `QueryPointDistance`, который возвращает отрицательное числовое значение, если точечный объект находится слева от линейного.

Выборки элементарных объектов и их графические атрибуты записываются в специальные текстовые или табличные файлы, которые хранятся вне ГИС-приложения и доступны любому программному средству. В случае необходимости выборки экспортируются в новые шейп-файлы и впоследствии могут добавляться на карту в виде самостоятельных покрытий, содержащих только объекты выборки.

При определении географической зоны, связанной с решаемой задачей, в ГИС-приложении широко используется графическая характеристика `Extent` (экстент). Она имеет существенное значение, так как непосредственно применяется для определения и коррекции границ проблемной области при подготовке картографического материала и визуализации его на экране монитора.

Как правило, ситуационная модель для конкретного варианта моделирования строится на основе многоуровневого фрагмента КМПО. Поэтому для полного отображения ситуации в ГИС-приложении требуется предоставление нескольких экранов картографической информации с разными наборами подобъектов проблемной области. Эта задача решается при помощи ранее составленных списков и словарей-справочников для разных категорий объектов, а также списка и справочника графических шейпов.

Для каждого составного объекта или примитива уже сформирована выборка подобъектов категории `GISC` и соответствующая ей выборка графики, для которой может быть определен `Extent`. Для начала необходимо получить в графическом справочнике ассоциированный с именем объекта набор графических шейпов и установить при помощи запроса `SetSelected` каждому элементу этого набора статус выбранного. Затем выполняется ряд запросов для сформированного ранее списка графики `grList`, которые увеличивают экстент (`ext`) выбранной графики (`grSel`) до размера картографического окна ГИС-приложения. В результате на экране монитора отображаются в оптимальном масштабе все элементарные объекты, входящие в составной объект или примитив, вместе с частью прилегающей географической зоны.

Аналогичная процедура проделывается для всех объектов категорий `COMP` и `LEAF`. Соответственно, общее количество подготовленных картографических окон будет соответствовать числу этих объектов. Окна систематизируются в логические группы по принадлежности отображаемых объектов к одному и тому же уровню декомпозиции и графически передают все ступени иерархии ситуационной модели.

Для того чтобы визуализировать картографические окна, средствами ГИС подготавливается система временных пунктов меню, которая также имеет свою иерархическую структуру.

На этом шаге процесс интерпретации и подготовки данных заканчивается. Завершающим этапом становится просмотр полученных результатов и расчетов по анализируемой ситуации. Помимо описанных выше картографических данных, представление результатов может заключаться в таблицах БД, диаграммах, графиках, схемах и т.д., содержащих возможно полную информацию о ситуационной модели. Вся информация поступает в ГИС-приложение из внешней базы данных и расчетных программ в виде текстовых файлов и файлов БД. Она распознается и систематизируется по принадлежности к ГИС-объектам.

Выше описан случай, при котором для постановки задачи использовалась КМПО. Другой, визуальный, вариант постановки задачи осуществляется в ГИС-приложении при непосредственном использовании карты. На ней «мышью» выбирается интересующая географическая зона и назначаются покрытия, которые будут принимать участие в моделировании ситуации. Элементарные объекты, заключенные внутри указанной зоны, идентифицируются ГИС-приложением. К их именам и идентификаторам, организованным в текстовый файл, получает доступ КМПО, которая интерпретирует и систематизирует данные своими внутренними средствами. В результате вновь имеется фрагмент КМПО, описывающий проблемную область, и дальнейшее решение задачи сводится к тому, что уже было описано ранее.

6. Пример применения ГИС-интерфейса. Рассмотрим алгоритм геокодирования, использованный для операций с протяженными (линейными) объектами в программной системе, которая описана в [19]. Задача этого алгоритма — обеспечить поиск и отображение (при необходимости — в увеличенном масштабе) окрестности определенных участков линейных объектов, имеющих на одном из покрытий ГИС-приложения. В описанной там первой версии упомянутой системы моделирования линейные объекты представлены линиями электропередач (ЛЭП), целью поиска является поиск аварийных участков ЛЭП и отображение подъездных путей к ним для удобства работы ремонтных служб.

Информация о неисправностях ЛЭП поступает с дистанционных датчиков и может быть двух типов: неисправность возникла на таком-то километре некоторой ЛЭП, либо одновременно появились неисправности двух ЛЭП, обычно это связано с замыканием между ними. Поэтому реализованы два варианта поиска: по заданному рас-

стоянию от крайнего узла выбранного объекта и поиск окрестности точки пересечения двух линейных объектов по их именам.

Такие задачи не решались внутренними средствами модуля отображения покрытий и макроязыка SML используемой ГИС. Потребовалось разработать процедуру адресации внутренних участков линейных объектов, для этого был применен дополнительный пакет ГИС, который поддерживает функцию геокодирования.

Геокодирование — механизм для создания непосредственной связи между объектами покрытия и их адресами на уровне базы данных. Для того чтобы воспользоваться его возможностями, требуется некоторая подготовительная работа.

В первую очередь необходимо создать адресный файл [info_file]. Для этого ЛЭП на всем своем протяжении условно рассматривается как цепь отрезков фиксированной длины. Всем узлам, полученным при разбиении, дается собственное наименование. После этого можно создать файл БД и заполнять таблицу атрибутов адресными компонентами. Имена полей БД таковы:

- name — наименование узла разбиения;
- number — номер этого узла;
- LEP_name — наименование ЛЭП;
- LEP_type — характеристика типа ЛЭП.

Количество записей в базе данных равно количеству участков, на которые условно разделена сеть линий электропередач.

Когда адресный файл подготовлен, выполняется команда:

```
APARSE [info_file] [out_item] [number_house_numbers],
```

которая форматирует адресные составляющие в единую запись.

Аргумент [number_house_numbers] определяет структуру адресной записи. В геокодировании существует четыре вида адресов, которые различаются по количеству числовых составляющих. Для каждого вида поддерживается определенный набор и порядок расположения адресных элементов. В созданном файле базы данных присутствует только один числовой компонент для отдельно взятой записи. Такая структура соответствует аргументу [number_house_numbers], равному 1.

После выполнения команды APARSE в адресном файле появляется новое поле [out_item]. В нем содержатся в корректной форме адреса всех существующих узлов разбиения ЛЭП. В дальнейшем, при использовании команды AMATCH, результирующее поле [out_item] используется как адресное поле [address_item].

На втором этапе строится адресное покрытие. Прежде всего, нужно добавить в таблицу атрибутов объектов несколько новых полей, которые содержат следующие адресные компоненты:

– `from_num` — номер первого узла при разбиении ЛЭП на условные равновеликие отрезки (все значения этого поля равны единице);

– `to_num` — номер последнего узла при разбиении ЛЭП на отрезки;

– `LEP_name` — наименование ЛЭП;

– `LEP_type` — характеристика типа ЛЭП.

В данном случае в ряду адресных компонентов для каждого линейного объекта (ЛЭП) используются две числовые составляющие — номера начального и конечного узлов разбиения. Такой форме записи соответствует аргумент `[number_house_numbers]`, равный 2.

Новые поля необходимо заполнить таким образом, чтобы в каждой строке таблицы наименованию данной ЛЭП соответствовал номер ее пользовательского идентификатора, который находится в поле `cover_ID`. После этого можно приступать к построению адресного покрытия при помощи команды:

```
ACREATE [cover] [LINE] [number_house_numbers].
```

После ее выполнения налаживается взаимодействие между адресными атрибутами и соответствующими элементами покрытия `[cover]`. В базе данных `[cover]` создается специальный файл `Cover.ADD`, который сохраняет атрибуты адресного покрытия.

Для того чтобы перестроить существующие взаимоотношения покрытий с учетом вновь созданного, служит команда:

```
ABUILD [cover] [LINE] {SOUNDEX}.
```

После ее применения адресное покрытие может полноправно использоваться в ГИС.

Аргумент `SOUNDEX` указывает на то, что этой командой будет создано определенным образом поле эквивалентных значений для `LEP_name`. Оно позволит ускорить процесс сравнения адресов, который рассматривается ниже.

Наличие отдельного покрытия дает ряд преимуществ при работе с адресами. В файле `Cover.ADD` можно сохранять для каждого объекта любое количество записей, а также все связи между ними. Это делается при помощи внутреннего индекса `Cover_` и пользовательского `Cover_ID`, которые, соответственно, равны во всех записях, сделанных для одного объекта. Назначение уже существующему адресу псевдо-

нима (или альтернативного адреса) позволяет значительно облегчить обращение к нему в адресном покрытии и, как следствие, идентификацию объекта, расположенного по этому адресу.

Последний шаг подготовительной работы состоит в сопоставлении записей, сделанных в поле [address_item] адресного файла [info_file], и аналогичных атрибутов адресного покрытия [match_cov]. Делается это при помощи команды:

```
AMATCH [info_file] [address_item] [match_cov] [out_cov] ##  
{NOREJECTS/REJECTS}.
```

Процесс сравнения осуществляется поэтапно. Разработан его алгоритм и специальная тестовая таблица, в которой подсчитываются очки, набранные каждым кандидатом. Сначала сопоставление происходит для поля SOUNDEX и числовых значений адресных компонентов. Всем выявленным при этом возможным кандидатам присваивается минимальный счет — 100 очков. Далее сравнению подвергаются LEP_name и LEP_type. При каждом совпадении счет остается прежним, а при несовпадении — уменьшается на обусловленное счетной таблицей количество очков. Для того чтобы сопоставление прошло успешно, возможному кандидату нельзя терять ни одного очка, т.е. в результате тестирования сохранить все 100.

Если сравнение удалось, и испытуемые адреса полностью совпали, то устанавливается взаимодействие между адресным файлом и адресным покрытием. По итогам сравнения строится покрытие [out_cov]. Положительные результаты заносятся в таблицу атрибутов файла Out_cover. PAT, а отрицательные — в Out_cover. REJ.

В случае, когда стопроцентное совпадение не достигнуто, можно использовать опцию REJECTS. Указание этого аргумента в команде AMATCH вызывает к действию интерактивную программу Reject processing (Обработка отказов). Эта программа выводит на экран поочередно все несовпавшие адреса, сопровождая их диагностическими сообщениями, что позволяет оценить и попытаться решить проблему.

Применение программы Reject processing позволяет, в большинстве случаев, устранить все неудачи сопоставления и добиться успешного выполнения команды AMATCH.

Поиск по полученному покрытию производится с помощью команды:

```
WHEREIS [LIST / symbol] [address /street /intersection].
```

Эта команда идентифицирует адресные записи и обозначает на электронной карте местоположение точечного адреса [address], линей-

ного объекта [street] или точки пересечения двух протяженных объектов [intersection]. Выделение указанных адресов происходит при помощи цветowych меток и символов [symbol], назначаемых пользователем.

Опция LIST выдает в верхней строке экрана монитора адресную запись (или несколько записей) из таблицы атрибутов объектов покрытия, которая соответствует заданному второму аргументу команды WHEREIS.

Отображение на экране и выделение искомых объектов происходит вместе с частью окружающей местности сразу же на самой подробной крупномасштабной карте, имеющейся в наличии. Для реализации процесса автоматического увеличения используется ряд команд языка SML.

7. Заключение. С помощью описанных в настоящей работе команд ГИС создаются картографические слои, содержащие ГИС-объекты КМПО ССМ, и строится набор идентификаторов, которые позволяют взаимно однозначно связывать фрагменты концептуальной модели с наборами графических атрибутов, входящих в эти фрагменты объектов, и использовать указанные атрибуты при моделировании.

На примере ГИС PC ARC/INFO, использованной при реализации исследовательской версии ССМ, ее макроязыка SML и более гибкого языка Avenue, предназначенного для разработки графических интерфейсов пользователя, показана организация запросов к данным ГИС, а также особенности применения указанных языков для решения типичных задач, возникающих при моделировании нестационарных пространственных объектов: выборки объектов вручную или по логическому условию; просмотра графических и других атрибутов объектов; определения относительного расположения и длин участков линейных объектов с применением механизма геокодирования.

ГИС является эффективным инструментом для автоматической обработки пространственных характеристик промышленно-природных систем и выборки необходимых параметров для имитационного моделирования. Она также обеспечивает возможность постановки задачи анализа сценариев и представления результатов моделирования в наглядной форме непосредственно на географической карте или масштабном плане объекта управления.

В целом имеющийся опыт применения ситуационного подхода в моделировании различных аспектов функционирования ППК позволяет утверждать, что эта разработка может представлять интерес в научно-практической деятельности по исследованию природно-промышленных комплексов и поддержке принятия решений по управлению объектами такого класса. ССМ способна служить основой для

разработки многоуровневых систем регионального управления, работающих в единой среде и не предъявляющих жестких требований к компьютерной квалификации пользователей.

Литература

1. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы // М.: Мир. 1978. 312 с.
2. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика // М.: Наука. 1986. 288 с.
3. Йодан Э. Структурное проектирование и конструирование программ // М.: Мир. 1979. 360 с.
4. Yourdon E. Modern Structured Analysis // Prentice-Hall. 1989. 688 p.
5. Бржезовский А.В., Фильчаков В.В. Концептуальный анализ вычислительных систем // СПб: ЛИАП. 1991. 78 с.
6. Перовская Е.И. Основы гибкой автоматизации // Л.: ЛИАП. 1986. 32 с.
7. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем // М.: Мир. 1973. 344 с.
8. Henderson-Sellers B., Ralyté J. Situational Method Engineering: State-of-the-Art Review // J. of Universal Computer Science. 2010. vol. 16. no. 3. pp. 424–478.
9. Gericke A., Fill H.-G., Karagiannis D., Winter R. Situational Method Engineering for Governance, Risk and Compliance Information Systems // Proceedings of the 4th Int. Conf. on Design Science Research in Information Systems and Technology: ACM Press. 2009. pp. 24.
10. Попович В.В., Прокаев А.Н., Сорокин Р.П., Смирнова О.В. О распознавании ситуации на основе технологии искусственного интеллекта // Труды СПИИРАН. 2008. № 7. С. 93–104.
11. Endsley M.R. Theoretical underpinnings of Situation Awareness: a critical review // Situation awareness analysis and measurement. 2000. pp 3–32.
12. Endsley M.R. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures // J. of Cognitive Engineering and Decision Making. 2015. vol. 9. no. 1. pp. 101–111.
13. Steinberg A.N., Bowman C.L. Revisions to the JDL data fusion model // Handbook of Multisensor Data. 2009. pp. 45–68.
14. Steinberg A.N. Foundations of Situation and Threat Assessment // Handbook of Multisensor Data. 2009. pp. 437–502.
15. Steinberg A.N., Bowman C.L. Rethinking the JDL data fusion model // Proceedings of the MSS National Symposium on Sensor and Data Fusion. 2004. vol. 1. pp. 79–97.
16. Bowman C.L. The Dual Node Network (DNN) Data Fusion & Resource Management (DF&RM) Architecture // Proceedings of AIAA Intelligent Systems Conference. 2004. vol. 50. pp. 134.
17. Фридман А.Я., Курбанов В.Г. Формальная концептуальная модель промышленно-природного комплекса как средство управления вычислительным экспериментом // Труды СПИИРАН. 2014. № 6(37). С. 424–453.
18. Фридман А.Я., Курбанов В.Г. Ситуационное моделирование надежности и безопасности промышленно-природных систем // Информационно-управляющие системы. 2014. № 4(71). С. 1–10.
19. Сагидова М.Л., Фридман А.Я. Реализация интерфейса ГИС и концептуальной модели в ситуационной системе вычислительного эксперимента // Модели социальных, технологических и образовательных процессов. 2001. С. 93–98.

References

1. Mesarovic M., Takahara Ya. *Obshchaia teoriia sistem: matematicheskie osnovy* [General systems theory: mathematical foundations]. Moscow: Pub. Mir. 1978. 312 p. (In Russ.).
2. Pospelov D.A. *Situatsionnoe upravlenie: teoriia i praktika* [Situational control: theory and practice]. Moscow: Pub. Nauka. 1986. 288 p. (In Russ.).
3. Yourdon E. *Strukturnoe proektirovanie i konstruirovaniye programm* [Structural design and programs construction]. Moscow: Pub. Mir. 1979. 360 p. (In Russ.).
4. Yourdon E. *Modern Structured Analysis*. Prentice-Hall. 1989. 688 p.
5. Brzhezovskii A.V., Fil'chakov V.V. *Kontseptual'nyi analiz vychislitel'nykh sistem* [Conceptual analysis of computer systems]. Saint-Petersburg: Pub. LIAP. 1991. 78 p. (In Russ.).
6. Perovskaia E.I. *Osnovy gibkoi avtomatizatsii* [Basics of flexible automation.]. Leningrad: Pub. LIAP. 1986. 32 p. (In Russ.).
7. Mesarovich M., Mako D., Takahara Ya. *Teoriia ierarhicheskikh mnogourovnevnykh sistem* [The theory of hierarchical multilevel systems]. Moscow: Pub. Mir. 1973. 344 p. (In Russ.).
8. Henderson-Sellers B., Ralyté J. Situational Method Engineering: State-of-the-Art Review. *J. of Universal Computer Science*. 2010. vol. 16. no. 3. pp. 424–478.
9. Gericke A., Fill H.-G., Karagiannis D., Winter R. Situational Method Engineering for Governance, Risk and Compliance Information Systems. Proceedings of the 4th Int. Conf. on Design Science Research in Information Systems and Technology: ACM Press. 2009. pp. 24.
10. Popovich V.V., Prokaev A.N., Sorokin R.P., Smirnova O.V. [On recognition of the situation, based on artificial intelligence technology]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2008. vol. 7. pp. 93–104. (In Russ.).
11. Endsley M.R. Theoretical underpinnings of Situation Awareness: a critical review. *Situation Awareness Analysis and Measurement*. 2000. pp. 3–32.
12. Endsley M.R. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures. *Cognitive Engineering and Decision Making*. 2015. vol. 9. no. 1. pp. 101–111.
13. Steinberg A.N., Bowman C.L. Revisions to the JDL data fusion model. *Handbook of Multisensor Data*. 2009. pp. 45–68.
14. Steinberg A.N. Foundations of Situation and Threat Assessment. *Handbook of Multisensor Data*. 2009. pp. 437–502.
15. Steinberg A.N., Bowman C.L.. Rethinking the JDL data fusion model. Proceedings of the MSS National Symposium on Sensor and Data Fusion. 2004. vol. 1. pp. 79–97.
16. Bowman C.L. The Dual Node Network (DNN) Data Fusion & Resource Management (DF&RM) Architecture. Proceedings of AIAA Intelligent Systems Conference. 2004. vol. 50. p. 134.
17. Fridman A.Ya., Kurbanov V.G. [Formal Conceptual Model of Industry-Natural Complexes as a Mean to Organize Computing Experiments]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2014. vol. 6(37). pp. 424–453. (In Russ.).
18. Fridman A.Ya., Kurbanov V.G. [Situational Modeling of Reliability and Safety for Industry-Natural Systems]. *Informatsionno-upravliaushchie sistemy — Information and Control Systems*. 2014. vol. 4(71). pp. 68–77. (In Russ.).
19. Sagidova M.L., Fridman A.Ya. [The implementation of a GIS interface and the conceptual model of situational system of computational experiment]. *Modeli sotsial'nykh, tekhnologicheskikh i obrazovatel'nykh protsessov – Models of social, technological and educational processes*. 2001. pp. 93–98. (In Russ.).

Фридман Александр Яковлевич — д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий управления промышленно-природными системами, Институт информатики и математического моделирования

технологических процессов Кольского научного центра Российской академии наук. Область научных интересов: моделирование комплексных технологий и их воздействия на окружающую среду, прикладные интеллектуализированные системы. Число научных публикаций — 260. fridman@iimm.kolasc.net.ru; 184209, Мурманская обл., Апатиты, ул.Ферсмана, 24а; р.т.: +7(81555) 79782.

Fridman Alexander Jakovlevich — Ph.D., Dr. Sci., professor, leading researcher of information technologies for nature-industrial systems control laboratory, Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes of the Kola Science Center of Russian Academy of Sciences. Research interests: modeling of complex technologies and their impact on the environment, application intellectualized system. The number of publications — 260. fridman@iimm.kolasc.net.ru; 24A, Fersman st., 184209, Apatity, Murmansk Region, Russian Federation; office phone: +7(81555) 79782.

Курбанов Вугар Гариб оглы — доцент, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник, Институт проблем машиноведения Российской Академии Наук (ИПМАШ РАН). Область научных интересов: общие вопросы математики, математическая кибернетика, математическое моделирование, оптимальные системы. Число научных публикаций — 70. vugar_borchali@yahoo.com; Большой пр. В.О., 61, Санкт - Петербург, 196135; р.т.: +7(812)3219007.

Kurbanov Vugar Garib ogli — Ph.D., associate professor, senior researcher, Institute of Problems in Mechanical Engineering of Russian Academy of Sciences (IPME RAS). Research interests: general questions of mathematical cybernetics, mathematical modeling, optimum systems. The number of publications — 70. vugar_borchali@yahoo.com; 61, Bol'shoi av. V.O., Saint-Petersburg, 199178, Russian Federation; office phone: +7(812)3219007.

Поддержка исследований. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №№ 14-07-00256-а, 14-07-00257-а, 14-07-00205-а, 13-07-00318-а)

Acknowledgements. This research is supported by RFBR (grants 15-07-04760, 15-07-02757, 16-29-04424, 16-29-12901)

РЕФЕРАТ

Фридман А.Я., Курбанов В.Г. **Информационная технология интеграции пространственных данных в ситуационную систему моделирования.**

Настоящая публикация продолжает тематику ситуационного моделирования динамических пространственных объектов, в частности промышленно-природных комплексов (ППК), изложенную в предшествующих работах авторов. Ядром системы моделирования является иерархическая концептуальная модель (ИКМ) ППК, которая применяется не только для фиксации структуры объекта и статического контроля взаимосвязей его компонентов, но и как основное средство обработки ситуаций на всех этапах моделирования. На этапе постановки задачи моделирования ИКМ управляет выбором релевантных исходных данных, участвует в процедурах пополнения и доопределения ситуаций. При реализации имитационного режима ИКМ диспетчирует вызов программных модулей и управление потоками данных. По завершении расчетов эта модель организует распределение результатов по модулям хранения и представление результатов моделирования. Такой подход обеспечивает автоматизацию всех этапов вычислительного эксперимента с возможностью равноправной обработки информации от расчетных модулей, имитирующих составные части ППК, и интегрированных с ней ГИС и экспертной системы. Особенности предложенного подхода состоят в широком применении экспертных знаний, поддержке современных сценарных подходов к моделированию. В данной статье представлены основные принципы организации взаимодействия геоинформационной системы с другими составными частями системы ситуационного моделирования. При этом ГИС используется не только для визуализации результатов моделирования, но является полнофункциональной управляемой подсистемой, то есть обеспечивает оперативное измерение графических характеристик элементов модели, выдачу их в расчетные модули и модификацию по результатам расчетов. Кроме того, ГИС участвует в постановке задачи моделирования и контроле корректности модели.

SUMMARY

Fridman A.Ja., Kurbanov V.G. **Information Technology to Integrate Spatial Data into the Situational Modelling System.**

This paper continues to describe the situational approach to modelling of dynamic spatial objects, in particular industry-nature complexes (INC), introduced in earlier publications of the authors. A hierarchical conceptual model (ICM) of INC is at the core of our modelling system. This model not only formalizes the INC structure and implements static control of interconnections among the INC elements, but also provides situations processing during all stages of modelling. At the stage of modelling task setting, ICM controls the choice of relevant source data, takes part in completion of situations. During simulation, ICM dispatches invoking of program modules and controls data flows. When calculations are over, ICM manages distribution of the calculated results among storages and provides for their visualization. The described approach to modelling provides for automation of every modelling stage and for equitable processing of the information from calculating modules which simulate some INC components, embedded geographic information (GIS) and expert systems. Distinctive features of this approach include the wide use of expert knowledge and support of modern scenario-based implementation of modelling.

The given paper introduces the main principles of GIS interaction with other components of the situational modelling system. Besides ensuring visualization of modelling results, the GIS also functions as a full-scale controlled subsystem. It provides for the operative measurement of graphical parameters of model elements, transfers them to calculating modules and modifies them according to results of calculations. Above this, the GIS takes part in the setting of modelling tasks and in the correctness control of the whole model.