

СИТУАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Фридман Александр Яковлевич

Д.т.н., профессор, в.н.с., e-mail: fridman@iimm.ru

Институт информатики и математического моделирования

Кольский научный центр Российской академии наук

184209 г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, 24А

Аннотация. В статье изложен обзор результатов, полученных автором в области ситуационного моделирования нестационарных промышленно-природных комплексов (ППК), и показана связь разработанного подхода с современными тенденциями моделирования сложных систем. В ходе исследований для иерархических ППК разработана концептуальная модель, позволяющая изучать объект в статике и динамике и количественно сопоставлять возможные альтернативы его реализации. В модели допускаются элементы трех типов: объекты (составные части ППК), процессы и ресурсы (данные), для которых назначаются связи и отношения. Концептуальная модель интегрирует основные подсистемы ситуационной системы моделирования (ССМ): ГИС, экспертную систему, библиотеку исполнителей элементарных задач и базу данных предметной области. Актуальность работы определяется современной тенденцией создания гибких (agile, ubiquitous) интеллектуализированных систем управления сложными динамическими объектами.

Предложен ситуационный подход к управлению структурой ППК, описываемого разработанной моделью, в частности:

- метод классификации и обобщения ситуаций по областям доминирования одного из критериев качества функционирования ППК в обобщенном пространстве критериев, метрика которого учитывает предпочтения экспертов, и процедуры когнитивной категоризации ситуаций по результатам этой классификации;

- методы координации и планирования взаимодействий составных частей ППК в числовых и нечисловых (на примере динамических интеллектуальных систем – ДИС) пространствах критериев качества функционирования этих частей, а также процедуры прямого синтеза плана в ДИС и ССМ.

Полученные результаты предлагается использовать как основу алгоритмического обеспечения современной системы распределенных интеллектуальных ситуационных центров для их эффективного развития и взаимодействия. ССМ могут создаваться на различных организационных уровнях (федеральном, региональном и корпоративном) с целью управления пространственными динамическими объектами соответствующих территориальных масштабов в условиях нормального функционирования и во внештатных ситуациях.

Ключевые слова: динамический пространственный объект, ситуационное управление, концептуальная модель предметной области, координация и планирование взаимодействий

Введение. Ввиду уникальности и сложности ППК экспериментальные воздействия на них невозможны либо нецелесообразны, и моделирование служит основным методом анализа, синтеза и прогноза поведения подобных объектов. Рост их стоимости и энерговооруженности в современных условиях повышает актуальность таких исследований из-за повышения ущерба от неадекватных решений по управлению ППК, нестационарность таких комплексов требует создания гибких (открытых для оперативных изменений) систем моделирования ППК, а неизбежная неполнота и не(до)определенность доступной информации заставляет инкорпорировать экспертные знания в процесс моделирования. Для борьбы с проблемой сложности описания объектов класса ППК их обычно рассматривают как организационные системы, что приводит к иерархичности моделей ППК [3].

Поскольку наибольший ущерб при функционировании ППК вызывают сложные (многократные, множественные) отказы (например, [27]), системы моделирования ППК должны, по мнению автора, строиться в рамках причинно-следственной парадигмы, использовать ситуационный подход как наиболее общий способ обеспечения и контроля полноты описания изучаемого объекта во времени, содержать средства сопоставления альтернативных вариантов реализации ППК, учитывать пространственные характеристики составных частей ППК и давать возможность прогнозировать последствия принимаемых управленческих решений в имитационном режиме. Для реализации моделей, достаточно адекватно описывающих реальные ППК с учетом их развития и накопления знаний о них, необходимо уделять большое внимание автоматизации процедур анализа консистентности модели на всех этапах ее конструирования, модификации и эксплуатации.

Каждый значительный по территории ППК может управляться несколькими ЛПР, поэтому существенную роль приобретают задачи координации и планирования взаимодействий между составными частями ППК, подчиненными этим ЛПР.

Чтобы уменьшить сложность модели, часто используются методы декомпозиции для разделения задач моделирования на несколько более простых подзадач. В организационных системах (ППК относятся к этому классу) модель обычно становится иерархической. Теоретико-множественные методы исследования таких моделей в рамках традиционного подхода к оптимизации, начатого фундаментальными работами М. Месаровича с коллегами, привели к появлению общей теории систем [2] и теории иерархических многоуровневых систем [1], где исследуемый объект моделируется формальной системой. Альтернативный подход, называемый имитационным моделированием систем, основан на работах Р. Шеннона [23]. Еще одно направление обобщения классической теории управления было предложено Д. Поспеловым [5]. В его ситуационном управлении исследуемый объект моделируется набором (в общем случае – сетью) формальных систем и проводится специфический анализ ситуаций, чтобы выбрать одну из этих формальных систем, адекватную текущей ситуации. Однако ситуационное управление не дает формального определения ситуации и не рассматривает иерархическое описание объекта. Другой метод описания иерархии был основан на концептуальном проектировании баз данных после работ Дж. Мартина и Дж. Ульмана и далее развит Д. Россом в концепцию структурного анализа

(SADT) (см., например, [14]). В SADT модель объекта определяется его функциональной декомпозицией по одному или нескольким параметрам. К настоящему времени упомянутые подходы породили множество теорий и моделей, в том числе UML, ситуационный метод проектирования [19, 20], анализ и измерение информированности о ситуации [15], модели DF&RM и JDL [25], ситуационное исчисление [21] и т.д. В отличие от этих теорий и моделей, касающихся общих проблем и методов слияния и обработки данных, кратко описанная ниже ССМ ориентирована на программную поддержку ситуационного анализа и моделирования ППК. Таким образом, используемая далее терминология применима только к этой области. Подробности можно найти в [8, 10, 12, 13, 24]. В частности, термин «интеграция данных» означает возможность обеспечить единую и равноправную обработку информации, поступающей от расчетных модулей (имитаторов), ГИС и специальной экспертной системы (ЭС), встроенной в ССМ. Вообще говоря, ССМ реализует расширение и конкретизацию метода ситуационного управления [5] для решения проблемы комплексного анализа состояния и прогноза поведения иерархических пространственных динамических объектов.

Технологически ССМ предназначена для моделирования организационных систем в парадигме структурного подхода к построению открытой модели предметной области. Доказано [11], что в ССМ можно исследовать стратифицированные, многослойные и многоэшелонные иерархии, т.е. все основные виды иерархий, рассматриваемых в [1].

В последующих разделах на основе публикаций [8, 10, 12, 13, 24] описаны главные идеи и особенности предлагаемого подхода к ситуационному моделированию ППК. Это сделано на качественном уровне, без математических выкладок, ввиду ограниченного объема настоящей работы. Необходимые для изучения ССМ математические структуры элементов модели и подсистем ССМ, подробности и доказательства изложенных утверждений содержатся в цитированных работах. Наиболее полное (на дату издания) описание ССМ имеется в [11].

1. Базовые принципы работы ССМ. *Объекты* в ССМ формируют иерархию, отражающую организационные связи между ними. В ходе построения модели объекты связываются с электронной картой (ГИС) таким образом, чтобы обеспечить взаимно-однозначное соответствие между концептуальным и географическим представлением ППК. Связи между элементами модели формализуются с помощью *ресурсов*, моделирующих материальные и информационные взаимодействия между этими элементами и представляющих собой временные ряды данных. *Процессы* описывают сущность преобразований ресурсов внутри элементов модели. Для реализации мультимодельности в ходе развития модели допускается ряд типов процессов, в настоящее время это расчетные модули достаточно произвольной структуры (в общем случае описываемые разностными уравнениями), пользовательские функции либо наборы продукционных правил, хранящихся и обрабатываемых в специализированной ЭС ССМ. Тип процесса задается приписыванием ему *исполнителя*, определяющего компьютерную реализацию процесса. Исполнители назначаются и внешним для исследуемого ППК ресурсам, их значения в привязке ко времени могут формироваться с помощью пользовательских функций, внешних баз данных либо правил ЭС. Альтернативы реализации ППК, которые требуется сопоставить, вносятся в модель декомпозицией объектов с помощью отношения классификации (ИЛИ) и заданием нескольких вариантов получения ресурсов от порождающих их элементов ППК.

Концептуальная модель ППК (далее – ситуационная концептуальная модель – СКМ) строится путем декларирования иерархии объектов, задания ресурсов, порождаемых и потребляемых этими объектами, а также процессов, моделирующих преобразования ресурсов в объектах. На всех этапах создания и сопровождения СКМ ведется детальный формальный контроль ее корректности [8], что, по мнению автора, является единственным возможным средством разработки реалистичных моделей сложных систем. Для повышения эффективности контроля корректности фреймы элементов модели дополнены специальными атрибутами (типами и категориями), которые задаются пользователем либо присваиваются автоматически в ходе создания либо модификации СКМ по результатам анализа положения этих элементов в СКМ. Подобные атрибуты специфицируют требования к взаимосвязям элементов СКМ и позволяют детализировать контроль до уровня отдельного ресурса.

Чтобы обеспечить автоматизацию процесса моделирования, СКМ отображается на адекватную ей формальную систему путем формального описания каждого ее элемента. Поэтому завершение построения СКМ и процедур анализа ее корректности соответствует переходу от неформальных знаний об исследуемой предметной области к их формальному представлению, имеющему однозначную процедурную трактовку, и гарантирует автоматическую генерацию заданий на имитацию всей СКМ или ее связанных частей.

Ситуационный подход к исследованию ППК реализован в ССМ следующим образом.

Элементарной формой представления информации в ССМ является *факт*, содержащий сведения о значении некоторого ресурса. *Исходная ситуация* вводится пользователем в виде конечного набора фактов. ЭС ССМ анализирует СКМ и исходную ситуацию и доопределяет последнюю до *полной ситуации*. Каждая полная ситуация отображается связным фрагментом СКМ, в который могут входить альтернативные варианты структуры ППК. *Достаточная ситуация* есть один из безальтернативных вариантов реализации соответствующей ей полной ситуации. Достаточные ситуации можно сопоставлять друг с другом статически по заданным критериям качества, решая задачу *классификации ситуаций*, и динамически – в имитационном режиме. *Сценарий* есть последовательность достаточных ситуаций, генерируемых из одной и той же полной ситуации, он задает конкретный вариант моделирования.

Таким образом, ССМ интегрирует разные формы представления знаний (расчетные данные, графические характеристики элементов ППК, экспертные знания) для решения задачи исследования и прогнозирования поведения ППК как многоуровневых многокомпонентных пространственных объектов.

К особенностям ССМ можно отнести следующее [9]:

- 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.

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 рассмотрим вопросы обработки ситуаций в ССМ несколько детальнее.

2. Классификация и обобщение ситуаций. В пилотной версии ССМ [11] для классификации ситуаций был предложен числовой обобщенный критерий качества работы любого элемента ППК в виде взвешенной суммы скалярных (частных) критериев с коэффициентами важности, обратно пропорциональными допускам на отклонения частных критериев от их номинального значения, что соответствует здравому смыслу: чем более важен какой-либо скалярный критерий для ЛПР, тем меньший допуск целесообразно назначать на отклонения этого критерия. Достоинства предложенного обобщенного критерия в следующем: он равен единице, когда значения всех его аргументов (частных критериев) находятся на грани допусков и не превосходит единицы, если все аргументы лежат в пределах допусков; для его формирования ЛПР должен задать лишь семантически понятные величины – номинальные значения частных критериев и допуски на их отклонения; для выяснения первопричины неэффективного функционирования ППК достаточно выявить в иерархии объектов самый дальний (от корневого объекта исследуемого фрагмента модели, который в ССМ называется *объектом принятия решений* – ОПР, поскольку по сути задачи на этом объекте находится ЛПР), у которого обобщенный критерий значительно превышает единицу. Вычисляя значения этого критерия вверх по дереву объектов от листовых объектов до ОПР, можно однозначно классифицировать достаточные ситуации, относя в один класс те, в которых один и тот же частный критерий вносит минимальный вклад в обобщенный критерий, то есть этот частный критерий удовлетворяется в максимальной степени. Внутри одного класса естественно считать лучшей ту достаточную ситуацию, где величина обобщенного критерия меньше.

Однако, если необходимо перевести ППК в другой класс ситуаций, требуется предложить ЛПР такую структуру из нового класса, минимально отличающуюся по структуре от текущей ситуации, чтобы не вносить в реальную систему излишние возмущения, но все же достаточно близкую к наилучшей структуре нужного класса. Представленный выше обобщенный критерий непосредственно не пригоден для решения такой задачи, поскольку его значения зависят не только от структуры ситуации, но и от значений ресурсов. Поэтому в [7] предложен когнитивный метод классификации ситуаций в ССМ, в меньшей степени зависящий от значений ресурсов. Он базируется на новой семантической метрике близости ситуаций, использующей нормализованную модель Тверски (НМТ) [26] на каждом уровне иерархии объектов, причем иерархичность описания ситуации учитывается путем нормировки значений НМТ весовыми коэффициентами, обратно пропорциональными номеру уровня. Варьируя величины этих коэффициентов,

можно учитывать экспертные оценки важности уровней, но в общем случае, очевидно, вклад объектов более низких уровней в иерархическую модель Тверски (ИМТ) должен уменьшаться с увеличением номера уровня.

С помощью ИМТ можно выполнять и обобщение ситуаций в ССМ. Оно включает два основных этапа: поиск общих признаков ситуаций, попавших в один класс для каждого исследованного фрагмента СКМ, и поиск вхождений ситуаций в ситуации более высоких уровней (номер уровня здесь задается уровнем нахождения ОНР), который осуществляется средствами Graph Matching (например, [22]). Результаты обобщения формируются в виде правил ЭС ССМ [11], включающих как положительные, так и отрицательные примеры.

Затем оценивается эффективность предусмотренных в СКМ альтернатив. Она тем выше, чем в более широкий набор классов ситуаций попадают различные варианты каких-либо альтернатив. Затем альтернативы упорядочиваются по этому критерию, и ЛНР в первую очередь предъявляются для оценки наиболее эффективные альтернативы. Верно и обратное: некоторая альтернатива неэффективна для данного ОНР, если ни один из имеющихся вариантов выбора не переводит достаточные ситуации в другой класс. В ходе обобщения ситуаций целесообразно заранее выявить набор свойств самых эффективных альтернатив. Результаты оценки эффективности альтернатив формализуются в виде правил ЭС ССМ (в ситуационном управлении они именуются логико-трансформационными правилами [5]) и управляют процессом классификации ситуаций.

3. Координация и планирование взаимодействий составных частей ППК. Как уже отмечалось, проблема координации возникает при наличии нескольких ЛНР, ответственных за функционирование различных составных частей одного ППК. Для ее решения требуется найти условия, при которых все ЛНР достигают своих локальных целей и одновременно решают задачу верхнего уровня, для решения которой создавалась вся система. Традиционно эта проблема рассматривается для двухуровневой системы, поскольку возможность обобщения на большее количество уровней очевидна [1]. Координация имеет два аспекта: координируемость задач ЛНР нижнего уровня относительно задачи Координатора (ЛНР верхнего уровня) и координируемость относительно глобальной цели. В ССМ на основе принципа прогнозирования взаимодействий [1] найдены необходимые условия координируемости для обоих этих аспектов путем анализа градиентов (приращений – для дискретной постановки задачи) представленного в предыдущем разделе обобщенного критерия качества по номинальным значениям частных критериев [6, 16]. В работах [17, 18] тот же подход применен для координации коллективов динамических интеллектуальных систем (ДИС) [4]. ДИС принципиально отличаются от «классических» динамических систем тем, что реализуются с помощью баз данных и знаний и допускают наличие нечисловых компонент в векторе состояния. Тем не менее, принцип прогнозирования взаимодействий оказался пригоден и в этом случае, только вместо градиентов критерия необходимо анализировать отношение включения для векторов состояния ДИС, входящих в коллектив.

С применением того же подхода и понятия N -достижимости [4] удалось решить задачу планирования в ССМ и в коллективе ДИС, то есть предложить алгоритмы выбора управлений, переводящих систему из начального состояния в целевое [6]. Планирование является необходимым этапом, предшествующим любому управлению.

Заключение. В процессе разработки ССМ рассмотрен и решен широкий круг вопросов, касающихся эффективности моделирования и принятия решений на его основе:

классификация и обобщение ситуаций, координирования и планирование и т.д. Это показывает перспективность ситуационного подхода для создания современных интеллектуализированных систем управления сложными динамическими объектами.

Поддержка исследований. Работа частично поддержана РФФИ (проекты №№ 16-29-04424-офи_м, 16-29-12901-офи_м, 18-07-00132-а, 18-01-00076-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир. 1973.
2. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир. 1978.
3. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981.
4. Осипов Г. С. Лекции по искусственному интеллекту. М.: КРАСАНД, 2009.
5. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986.
6. Фридман А. Я. Координация и планирование управлений в локально организованных иерархических системах // Шестая Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2015 (15-20 июня 2015 г., г. Светлогорск, Россия): Труды конференции. В 2-х т. Т. 1. М.: ИСА РАН. С. 115 – 124.
7. Фридман А. Я., Кулик Б. А. Когнитивная категоризация в многокритериальных задачах ситуационного управления // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3-7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия). Труды конференции. В 3-х томах. Т. 2. С. 225 – 234.
8. Фридман А. Я., Курбанов В. Г. Информационная технология интеграции пространственных данных в ситуационную систему моделирования // Труды СПИИРАН. 2016. Вып. 4(47). С. 163 – 189.
9. Фридман А. Я., Курбанов В. Г. Ситуационное моделирование надежности и безопасности промышленно-природных систем // Информационно-управляющие системы. 2014. № 4(71). С. 1 – 10.
10. Фридман А. Я. Ситуационная концептуальная модель пространственного динамического объекта как семиотическая формальная система // Когнитивно-семиотические аспекты моделирования в гуманитарной сфере. Казань: Изд-во НИИ «Прикладная семиотика» АН РТ. 2015. С. 37 – 60.
11. Фридман А. Я. Ситуационное управление структурой промышленно-природных систем. Методы и модели. – Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2015.
12. Фридман А. Я. Формализация экспертных знаний в информационно-аналитической системе моделирования пространственных объектов // Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем: сборник научных трудов IX Международной школы-симпозиума АМУР-2015, Севастополь, 12-21 сентября 2015. – Симферополь: КФУ имени В.И. Вернадского. 2015. С. 388 – 395.
13. Фридман А. Я. Экспертное пространство для ситуационного моделирования промышленно-природных систем // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте, № 1 (4). 2014. С. 233 – 245.

14. Dickover M. E., McGowan C. L., and Ross D. T. Software design using SADT. In: ACM Annual Conference. 1977. Pp. 125 – 133.
15. 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.
16. Fridman A. and Fridman O. Gradient Coordination Technique for Controlling Hierarchical and Network Systems / Systems Research Forum Vol. 4, No. 2 (2010) – pp. 121-136.
17. Fridman A. Planning and Coordination in Hierarchies of Intelligent Dynamic Systems // TELKOMNIKA. Vol.14. No.4. December 2016. Pp. 1408 – 1416.
18. Fridman A. Ya. SEMS-Based Control in Locally Organized Hierarchical Structures of Robots Collectives. In: A.E. Gorodetskiy, V.G. Kurbanov (Eds.) Smart Electromechanical Systems: The Central Nervous System. Vol. 95, Chapter 3. Pp. 31 – 50.
19. Gericke A. et al. Situational method engineering for governance, risk and compliance information systems // 4th Int. Conf. on Design Science Research in Information Systems and Technology. New York, NY, USA. ACM Press. 2009. no. 24.
20. Henderson-Sellers B. and Ralyté J. Situational method engineering: state-of-the-art review // Universal Computer Science. 2010. vol. 16. no. 3. Pp. 424 – 478.
21. Reiter R. Knowledge in action: logical foundations for specifying and implementing dynamical systems. MIT Press. 2001.
22. Sambhoos K., Nagi R., Sudit M., and Stotz A. Enhancements to High Level Data Fusion using Graph Matching and State Space Search // Information Fusion. 2010. vol. 11. no. 4. Pp 351 – 364.
23. Shannon R. E. System simulation: the art and science. Prentice-Hall. 1975.
24. Sokolov B., Ivanov D., and Fridman A. Situational Modelling for Structural Dynamics Control of Industry-Business Processes and Supply Chains // Intelligent Systems: From Theory to Practice. SCI 299 / Vassil Sgurev, Mincho Hadjiski, Janusz Kacprzyk (Eds.). – London: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2010. Pp. 279 – 308.
25. Steinberg A. N. Foundations of situation and threat assessment. In: Handbook of Multisensor Data Fusion, M.E. Liggins, D.L. Hall and J. Llinas, Eds., chapter 18. London: CRC Press., 2009.
26. Tversky A. Features of similarity. Psychological Review. 1977. vol. 84. no. 4. Pp. 327 – 352.
27. Yakovlev S. Yu., Isakevich N. V., Ryzhenko A. A., Fridman A. Ya. Risk Assessment and Control: Implementation of Information Technologies for Safety of Enterprises in the Murmansk Region // Barents Newsletter on Occupational Health and Safety. Helsinki. 2008. Vol. 11. No. 3. Pp. 84 – 86.

SITUATIONAL MODELING OF HIERARCHICAL DYNAMIC SYSTEMS

Alexandr Ya. Fridman

Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher

Institute for Informatics and Mathematical Modelling

Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences

184209, Apatity, Murmansk region, Fersman str., 24A

e-mail: fridman@iimm.ru

Abstract. The article contains an overview of the results obtained by the author in the field of situational modeling of non-stationary industrial-natural complexes (INS), and shows the relationship of the developed approach with modern trends in modeling complex systems. In the course of research, a hierarchical conceptual model of non-stationary INSs was proposed. The model is focused on the study of static and dynamic properties of an object, taking into account possible alternatives to its implementation. The model comprises three sets of elements: objects (components of the INS under investigation), processes and resources (data) as well as relations defined upon these sets. Conceptual models of the main subsystems of the situational modeling system (SMS) cored with the proposed model are described. They are GIS, expert system, library of executors of elementary tasks and database of the subject domain. The relevance of the work is determined by the current trend of creating flexible (agile, ubiquitous) intelligent control systems for complex dynamic objects.

A situational approach to the management of the INS structure is developed on the basis of this model of the studied object. A method is proposed for classifying and generalizing situations by dominance domains of one of the quality criteria for the functioning of the object under study. Such domains are induced by comparable alternatives in a generalized criterial space whose metric can be synthesized with consideration of expert's preferences.

The issues of coordination and planning of interactions among the components of the modeled object are considered. Practical coordination schemes are proposed for both numerical and non-numerical (on the example of dynamic intellectual systems - DIS) quality operation criteria for these components, as well as procedures for direct synthesis of the plan in DIS and SSM.

The obtained results are reasonable to be used as a basis for brainware support of a modern system of distributed intelligent situational centers for their effective development and cooperation. SSMs can be created at various organizational levels (federal, regional and corporate ones) to manage spatial dynamic objects of appropriate territorial scales under conditions of normal functioning and in emergencies.

Key words: dynamic spatial object, situational control, conceptual model of the subject domain, coordination and planning of interactions

References

- 1 Mesarovich M., Mako D., Takaxara I. [Theory of hierarchical multilevel systems]. Teoriya ierarxicheskix mnogourovnevnyx sistem. M.: Mir Publ. 1973. (In Russian).
- 2 Mesarovich M., Takaxara Ya. [General theory of systems: mathematical basics]. Obshhaya teoriya sistem: matematicheskie osnovy. M.: Mir Publ. 1978. (In Russian).
- 3 Moiseev N. N. [Mathematical problems of systems analysis]. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. M.: Nauka Publ. 1981. (In Russian).
- 4 Osipov G. S. [Lectures in artificial intelligence]. Lekcii po iskusstvennomu intellektu. M.: KRASAND Publ. 2009. (In Russian).
- 5 Pospelov D. A. [Situational Control: Theory and Practice] Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika. M: Nauka. 1986. (In Russian).
- 6 Fridman A. Ya. [Control coordination and planning in locally organized hierarchical systems]. Shestaya mezhdunarodnaya konferenciya «sistemnyj analiz i informacionnye texnologii» SAIT-2015 (15-20 Iyunya 2015 g., g. Svetlogorsk, Rossiya): trudy konferencii. [Proc. of the Sixth intern. conf. “Systems analysis and information technologies” (SAIT-2015 (15-20 July 2015, Svetlogorsk, Russia)]. M.: ISA RAS. 2015. vol. 1. Pp. 115 – 124. (In Russian).
- 7 Fridman A. Ya., Kulik B. A. [Cognitive categorization in multicriteria problems of situational control] Trudy Pyatnadcataya nacionalnaya konferenciya po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem KII-2016 (3-7 October 2016, Smolensk, Russia) . [Proceedings of the Fifteenth national conf. on artificial intelligence]. 2016. vol. 2. Pp. 225 – 234. (In Russian).
- 8 Fridman A. Ya., Kurbanov V. G. [Information technology to integrate spatial data into the situational modeling system]. Informacionnaya texnologiya integracii prostranstvennyx dannyx v situacionnuyu sistemu modelirovaniya // [SPIIRAS Proceedings] Trudy SPIIRAN. 2016. Vol. 4(47). Pp. 163 – 189. (In Russian).
- 9 Fridman A. Ya., Kurbanov V. G. [Situational modeling of safety and reliability of industrial-natural systems]. Situacionnoe modelirovanie nadezhnosti i bezopasnosti promyshlenno-prirodnix sistem // [Informational control systems] Informacionno-upravlyayushhie sistemy. 2014. Vol. 4(71). Pp. 1 – 10. (In Russian).
- 10 Fridman A. Ya. [Situational conceptual model of spatial objects as a semiotic formal system]. Situacionnaya konceptualnaya model prostranstvennogo dinamicheskogo obekta kak semioticheskaya formalnaya sistema // Kognitivno-semioticheskie aspekty modelirovaniya v gumanitarnoj sfere. Kazan: NII «Prikladnaya semiotika» AN RT Publ. 2015. Pp. 37 – 60. (In Russian).
- 11 Fridman A. Ya. Situacionnoe upravlenie strukturuj promyshlenno-prirodnix sistem. Metody i modeli. [Situational structure control of industry-nature systems]. Saarbrucken, Germany: LAP, 2015. (In Russian).
- 12 Fridman A. Ya. [Formalization of expert knowledge in information-analytical system to model spatial objects]. Formalizaciya ekspertnyx znaniy v informacionno-analiticheskoy sisteme modelirovaniya prostranstvennyx obektov // Analiz, modelirovanie, upravlenie, razvitie socialno-ekonomicheskix sistem: sbornik nauchnyx trudov ix mezhdunarodnoj shkoly-simpoziuma AMUR-2015, Sevastopol, 12-21 Sentyabrya 2015. Simferopol: KFU imeni V. I. Vernadskogo. 2015. Pp. 388 – 395. (In Russian).

- 13 Fridman A. Ya. [An expert space for situational modeling of industrial-natural systems]. Ekspertnoe prostranstvo dlya situacionnogo modelirovaniya promyshlenno-prirodnix sistem // Vestnik moskovskogo universiteta im. S. Yu. Vitte. Vol. 1 (4), 2014, Pp. 233 – 245. (In Russian).
- 14 Dickover M. E., McGowan C. L., and Ross D. T. Software design using SADT. In: ACM Annual Conference, Pp. 125 – 133, 1977.
- 15 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.
- 16 Fridman A. and Fridman O. Gradient Coordination Technique for Controlling Hierarchical and Network Systems / Systems Research Forum Vol. 4, No. 2 (2010) – Pp. 121-136.
- 17 Fridman A. Planning and Coordination in Hierarchies of Intelligent Dynamic Systems // TELKOMNIKA, Vol.14, No.4, December 2016, Pp. 1408 – 1416.
- 18 Fridman A. Ya. SEMS-Based Control in Locally Organized Hierarchical Structures of Robots Collectives. In: A.E. Gorodetskiy, V.G. Kurbanov (Eds.) Smart Electromechanical Systems: The Central Nervous System. Vol. 95, Chapter 3, Pp. 31 – 50.
- 19 Gericke A. et al. Situational method engineering for governance, risk and compliance information systems. 4th Int. Conf. on Design Science Research in Information Systems and Technology, article no. 24. New York, NY, USA: ACM Press, 2009.
- 20 Henderson-Sellers B. and Ralyté J. Situational method engineering: state-of-the-art review. Universal Computer Science, vol. 16, no. 3, Pp. 424 – 478, 2010.
- 21 Reiter R. Knowledge in action: logical foundations for specifying and implementing dynamical systems. MIT Press, 2001.
- 22 Sambhoos K., Nagi R., Sudit M., and Stotz A. Enhancements to High Level Data Fusion using Graph Matching and State Space Search // Information Fusion. 2010. vol. 11, no. 4. Pp. 351 – 364.
- 23 Shannon R. E. System simulation: the art and science. Prentice-Hall, 1975.
- 24 Sokolov B., Ivanov D., and Fridman A. Situational Modelling for Structural Dynamics Control of Industry-Business Processes and Supply Chains // Intelligent Systems: From Theory to Practice. SCI 299 / Vassil Sgurev, Mincho Hadjiski, Janusz Kacprzyk (Eds.). – London: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. Pp. 279 – 308.
- 25 Steinberg A. N. Foundations of situation and threat assessment. In: Handbook of Multisensor Data Fusion, M.E. Liggins, D.L. Hall and J. Llinas, Eds., chapter 18. London: CRC Press, 2009.
- 26 Tversky A. Features of similarity. Psychological Review. 1977. vol. 84, no. 4. Pp. 327 – 352.
- 27 Yakovlev S. Yu., Isakevich N. V., Ryzhenko A. A., Fridman A. Ya. Risk Assessment and Control: Implementation of Information Technologies for Safety of Enterprises in the Murmansk Region // Barents Newsletter on Occupational Health and Safety. - Helsinki, 2008. Vol. 11. No. 3. Pp. 84 – 86.