

А.И. Власов

ГЕКСАГОНАЛЬНАЯ ПОНЯТИЙНАЯ МОДЕЛЬ ВИЗУАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Приведен анализ возможностей реализации синхронной технологии обработки конструкторско-технологической информации методами визуального моделирования. Предложена гексагональная понятийная модель представления информации о сложных производственных системах и язык VI-XML для реализации синхронной модельной среды.

E-mail: vlasov@iu4.bmstu.ru

Ключевые слова: системный анализ, визуальное проектирование, производственные системы, модели информационных потоков.

Введение. Актуальность синтеза совокупности обоснованных, воспроизводимых и системных методов и средств визуального описания процессов, протекающих в сложных социально-производственных системах, обусловлена тем, что в настоящее время при прочих равных условиях на первое место выходят возможности эффективного управления информационными потоками при решении производственных и образовательных задач.

В современной динамичной и конкурентной производственной среде недостаточно учитывать только определенные виды конструкторско-технологических знаний и данных, необходимые для проектирования и изготовления изделий. В ней значительно возрастает роль управленческих, экономических, социально-психологических знаний [1, 2]. Ведущим фактором эффективного развития, как конкретной организации, так и общества в целом становится экономический и социальный аспекты управления в тесной связи с предметными и операционными техническими знаниями. Иными словами, формируется такая социально-производственная среда, в которой каждый участник производственного процесса осознает необходимость постоянного прироста знаний и развития умения их использовать, а не просто хранить в долгосрочной памяти или сразу забывать после первого «знакомства», создаются условия делиться знаниями с окружающими, получая взамен другие знания [3—8].

Как правило, каждая организация в процессе своей деятельности накапливает огромные массивы информации. Доступ к этим информационным ресурсам часто затруднен, а поиск необходимой информации занимает много времени. При проведении исследований будем исходить из предположений, что комплексное решение проблем эффективного развития социально-производственных систем направлено на создание, передачу и применение механизмов формализации и манипулирования знаниями в единой семантической межпредметной и межвидовой иерархии, обеспечивающей полное описание процессов динамики социально-производственных систем [7].

Цель работы — решение проблемы формализации и синхронной обработки гетерогенной информации о жизненном цикле социально-производственных систем и процессах, протекающих в них, с возможностью взаимной миграции данных и знаний различных информационных групп.

Объект исследований — сложные социально-производственные системы, характеризующиеся информационными потоками, методы и средства их формализации, хранения и передачи.

Обобщенный маршрут формализации конструкторско-технологической информации с помощью синхронного визуального моделирования. Под визуальным моделированием будем понимать совокупность методов, в которых используются метафоры визуализации, предлагается представлять объект с разных точек зрения и которые могут применяться для разработки и эволюции объекта моделирования [1, 2]. Метафоры визуализации — сопоставление абстрактных или реальных объектов зрительно воспринимаемым образам. Языки визуального моделирования в свою очередь образованы фиксированными наборами метафор и правилами построения из них визуальных моделей.

Далее в качестве объекта для визуального моделирования будем рассматривать процессы жизненного цикла сложных социально-производственных систем (рис. 1).

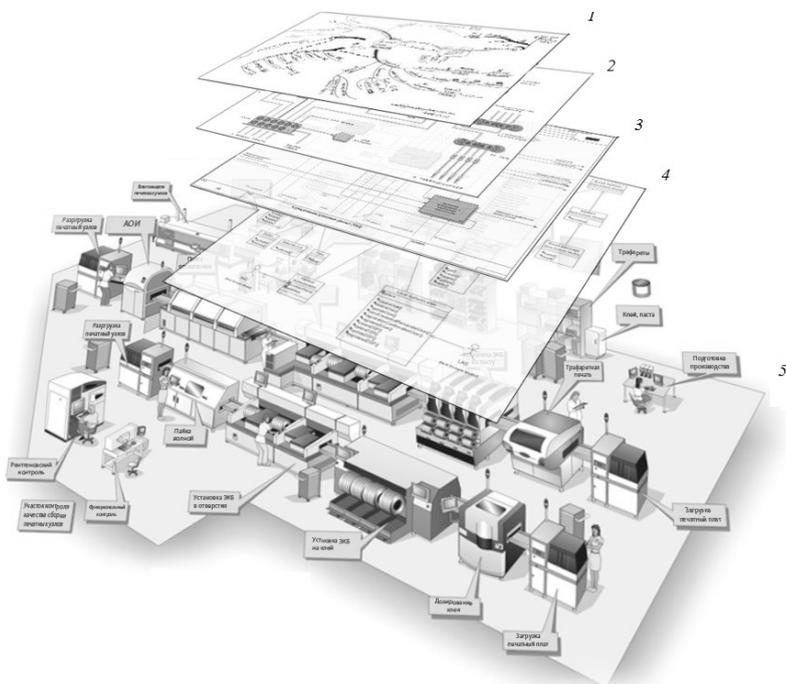


Рис. 1. Пирамида инкапсуляции уровней моделирования:
уровни: 1 — концептуальный; 2 — логический; 3 — структурно-функциональный; 4 — объектный; 5 — физический

Производственная система — интегрированная система, которая, в общем случае, охватывает все компоненты жизненного цикла изделий от технической идеи, проектирования, производства, сбыта, эксплуатации и до утилизации.

Социальная система — целостное образование, основными элементами которого являются индивидуумы, а также их устойчивые связи, взаимодействия и отношения, формирующиеся на основе совместной деятельности.

Каждый из «социальных» и «производственных» компонентов жизненного цикла находит свое отражение в единой информационно-управляющей производственной инфраструктуре, что и обеспечивает информационную прозрачность, воспроизводимость, управляемость и надежность всей социально-производственной системы [5].

Следовательно, используемые инструменты визуального моделирования должны быть способны:

— представлять информацию о конструкциях электронных средств (ЭС), под которыми понимается совокупность элементов и деталей с различными физическими свойствами и формами, находящимися в определенной пространственной, механической, тепловой, электромагнитной и энергетической взаимосвязи. Эта взаимосвязь определяется системотехнической, схемотехнической, конструкторской и технологической документацией и обеспечивает выполнение электронной аппаратурой (ЭА) заданных функций с необходимой точностью и надежностью в условиях воздействия на нее разных факторов (эксплуатационных, производственных, социальных);

— иметь возможность описания процессных моделей технологических процессов, т. е. определенных действий, направленных на изменение исходных свойств объекта производства (в данном случае ЭА) и достижения им требуемого состояния, соответствующего технической документации. Конструирование и технология производства представляют собой отдельные части сложного процесса разработки ЭА, однако они не могут выполняться в отдельности, без учета взаимосвязей между собой и с другими этапами разработки. Являясь этапами более общего процесса разработка — производства — эксплуатация — утилизация (жизненного цикла изделия), конструирование и технология определяют в конечном счете общие потребительские свойства ЭА.

При таком подходе используемые среды визуального моделирования должны предоставлять синхронный инструментарий описания функционально законченных компонентов, материалов, элементной базы, синтеза технологических процессов их изготовления, исследования физических и физико-химических явлений в процессах их получения, проектирование и конструирование, методы разработки и применения диагностического и технологического оборудования в рамках комплексной сквозной информатизации.

Современный характер рассмотрения сложных социально-производственных систем определяет проблемы анализа протекающих процессов, трудоемкости построения информационных систем для формального описания, хранения и обработки знаний об их объектах и процессах. В настоящее время поиск решения данных проблем построен вокруг использования визуального моделирования и проектирования в качестве основного инструмента генерации, хранения и обработки знаний в данной предметной области.

Под *визуализацией* проектирования сложных систем понимается феномен формального описания системного процесса проектирования и готового проекта в виде универсального каллиграфа с возможностью декомпозиции и моделирования вариантов. Для этого создаются методики (нотации) использования графических моделей (графическая нотация) и методики формального текстового описания (текстовая нотация), в совокупности со средствами человекомашинного интерактивного взаимодействия. Этим обеспечивается наглядное и подробное представление характеристик объектов в процессе проектирования, экспертный анализ и оперативное принятие решений.

Термин «визуальное проектирование» подразумевает использование в процессе проектирования визуальных выражений (графиков, рисунков, пиктограмм, таблиц), являющихся элементами графического языка. Этот термин применим к тем системам, которые позволяют представлять знания об объекте проектирования в двумерном или n -мерном виде [1, 2].

В основе методов визуального проектирования лежат визуальные языки и методики (правила-нотации) разработки моделей. Визуальный язык определен как язык, систематически использующий визуальные значения для описания своих основных объектов в текстовой и графической нотациях [2]. Уровни моделирования подразделяются на концептуальные, структурно-функциональные, логические, объектные и физические уровни моделирования (см. рис. 1). При этом на каждом из уровней существуют объекты одной природы, но представленные описания модели разного уровня не синхронизированы (*проблема синхронизации*). Синхронизировать параметрический и структурный состав взаимосвязанных объектов различных уровней одна из основных задач развития комплексных систем визуального моделирования.

Проблема когнитивности обусловлена разнородностью используемых методов в современных визуальных моделях для получения и хранения знаний о предметной области.

Проблема конвергенции (от англ. convergence — схождение в одной точке) обусловлена сложностью взаимопроникновения технологий (концептуальный, структурно-функциональный, логический и физический уровни моделирования), когда границы между отдельными уровнями стираются, а многие интересные решения находятся на стыке уровней моделирования. Новые средства визуального моде-

лирования можно смело отнести к NBIC-системам, которые будут включать в предмет своей деятельности почти все уровни организации материи: от молекулярной природы вещества (N — нано) до природы жизни (B — био), природы разума (C — когно) и процессов информационного обмена (I — инфо).

Проблема инкапсуляции обусловлена фрагментарностью визуального анализа и изолированностью его от применения при проектировании разных этапов жизненного цикла. Это приводит к низкой эффективности применения визуальных методов, в частности при анализе технологических процессов. Однако такие методы обеспечивают описание отдельных модулей социально-производственной системы и не имеют средств миграции данных моделей на различных уровнях экспертизы.

Если найти способы решения перечисленных проблем на основе методов визуального проектирования и системного анализа, то можно предложить адекватную методiku для формализованного комплексного представления и управления техническими, производственными, экономическими, социально-психологическими знаниями в сложных социально-производственных системах, обеспечивив высокий уровень интерпретации знаний на каждом из уровней экспертизы.

Создание правил описания понятий и суждений позволит разработать язык для описания конструкторско-технологических знаний. Представим такой язык как подмножество XML и назовем его I-XML (Intelligence XML), ориентирував на визуальное представление NBIC-систем.

Современные средства визуального моделирования сочетают графическую нотацию (библиотека элементов визуального языка, графический редактор с репозиторием, браузером модели и т. п.) и текстовую нотацию, связанную с компонентами визуального языка, в которой представлено описание атрибутов данных компонентов. Сочетание графической и текстовой нотаций должно обеспечивать синтез полнотекстовых документов по разработанным моделям. В последнее время популярность приобретает DSM-подход (Domain-Specific Modeling — предметно-ориентированное моделирование). Существует ряд средств для разработки графических редакторов с возможностью задания собственной графической нотации, создания в автоматизированном режиме самого графического редактора с репозиторием и браузером модели. К таким DSM-пакетам можно отнести: Eclipse/GMF, Microsoft DSL Tools, Microsoft Visio 2003 и т. п. Основной недостаток данных решений — практически полное отсутствие текстовой нотации модели. Известны инструментальные средства для решения задач описания, совершенствования и проектирования производственных процессов (AllFusion Process Modeler, ARIS, MagicDraw, Microsoft Visio, FPT for Windows и т. п.). Однако все они могут решать какую-то одну задачу и, как правило, не имеют средств для передачи результатов (миграции мо-

дели) на следующий уровень проектирования (либо имеют, но с крайне ограниченными возможностями).

В настоящий момент крайне актуальной стало решение проблемы по преодолению **семантического разрыва** между уровнями описания моделей жизненного цикла (производственными, информационными и т. п.), т. е. для каждого класса задач и процессов их решения введем компонентные обобщения, связанные между собой с помощью стандартизованных интерфейсов. При этом каждый компонент может иметь возможность описывать задачу и методы ее решения на своем собственном языке. Все компоненты в комплексе образуют специфическое отражение окружающего мира в сознании человека, с помощью которого он решает задачу естественным путем на основе обобщений и ассоциаций, двигаясь к эффективному результату по прогнозируемому градиенту эмоциональной оценки ситуации. Процесс мышления рассматриваем как способность сведения многоэкстремальной задачи, которую можно решать только методом перебора, к градиентной, одноэкстремальной задаче. Проблемную область представим как совокупность предметной области и решаемых в ней задач (проблем), где под предметной областью понимается фрагмент реальной (виртуальной) действительности (некоторая совокупность принадлежащих ему сущностей).

Для графической иллюстрации проблемной области введем плоскую **гексагональную структуру**, образованную треугольником Фреге (сущность — имя — понятие) и треугольником проблематика — прагматика — семантика (рис. 2).

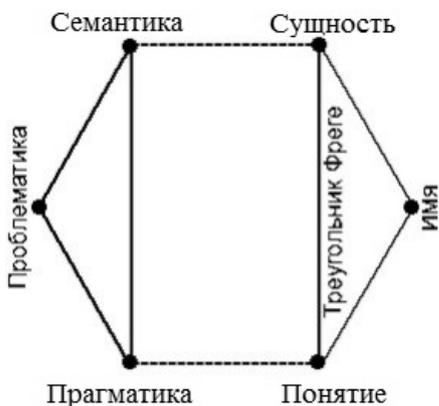


Рис. 2. Гексагональное представление концептуально-онтологической концепции системного анализа предметной области

В треугольнике Фреге под **сущностью** понимается устойчивое и уникальное представление предметной области, воспринимаемое некоторой совокупностью признаков (атрибутов). Признак, как именованная сущность, характеризуется множеством своих проявлений (значений) и имеет некоторую проблемную интерпретацию (семантическую роль).

Понятие — множество сущностей (т. е. между ними существует связь обобщение), объединенных на основе общности признаков. Понятия будем задавать схемой, интенционалом и экстенционалом.

Имя, или знаковое представление понятия, — языковая единица, несущая некоторый смысл — в семантическом плане, или обозначающая некоторую конкретную сущность в синтаксическом плане.

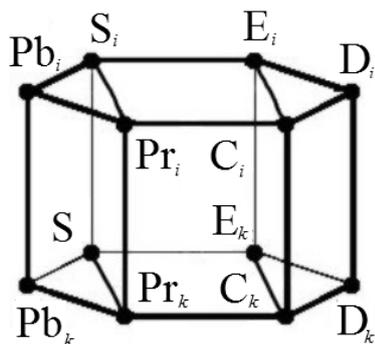
Схема понятий — набор признаков, на которых понятие определено. Признаки будем интерпретировать как понятия, на которых определяются схемы. Интенционал, или содержание понятия, — набор значений взаимосвязанных признаков, позволяющий отличать сущности, принадлежащие понятию, от других сущностей предметной области. Экстенционал, или объем понятия, — множество сущностей, принадлежащих понятию.

Сущности различаются при помощи признаков: множество допустимых значений понятия-признака образует его экстенционал или домен, а интенционал вырождается в семантическую роль. В случае если у понятия единичный объем, то имеем именованную сущность, т. е. имена могут использоваться не только для обозначения понятий, но и для обозначения сущностей (см. рис. 2). В итоге под сущностью будем понимать понятие с единичным объемом, понятие будем рассматривать как общую категорию, а сущность и признак — как ее частные случаи.

Обычно понятия используются не в абсолютном, а в относительном смысле, называемом — **прагматикой**. Прагматика понятия (см. рис. 2) выявляется при знании предметной области. Проблематика конкретизирует семантику понятия до его прагматики. Содержательная интерпретация понятия в некоторой предметной области может быть представлена в виде гексагонального концептуально-онтологического представления (см. рис. 2). Для каждой предметной области существует гексагональная схема интерпретации понятия. При анализе сложных систем, в частности сложных социально-производственных систем, приходится иметь дело с различными компонентами (технологическими, социальными, материальными, информационными и т. п.). Каждый компонент образует свою предметную область и, следовательно, обобщенная схема интерпретации понятий при анализе сложных социально-производственных систем может быть представлена в виде **многоуровневой гексагональной структуры** (рис. 3), каждая из плоскостей которой характеризует конкретную предметную область.

Рис. 3. Концептуально-онтологическое представление предметной области в виде многоуровневой гексагональной структуры:

Pb — проблематика (Problematic); S — семантика (Semantic); Pr — прагматика (Pragmatic); C — понятие (Concept); D — имя (Designat); E — сущность (Entity); i, k — уровни областей



Понятия одной предметной области часто коррелируют с понятиями другой, или наоборот, понятия с одинаковыми именами в разном контексте обладают различными признаками. Обеспечение четкой взаимосвязи и единства интерпретации понятий — одна из важнейших задач, решаемых на начальных концептуальных этапах моделирования. Образование понятий происходит в результате абстрагирования, при котором между понятиями выявляются отношения независимости, дифференциации и интеграции. Понятия независимы, если их признаки не пересекаются. Если у двух понятий имеются общие признаки, то наблюдается дифференциация понятий. Если все признаки одного понятия являются признаками другого понятия, то происходит их интеграция. Известны следующие абстракции: обобщение (специализация); типизация (конкретизация); агрегация (декомпозиция); ассоциация (индивидуальность). Обобщение и типизация, и обратные им специализация и конкретизация, выражают общность понятий, возникающую при дифференциации. Агрегация и ассоциация, и обратные им декомпозиция и индивидуализация, раскрывают интеграцию понятий (см. рис. 3). При **обобщении** происходит порождение нового понятия на основе одного или нескольких подобных понятий, когда порождаемое понятие сохраняет общие признаки исходных понятий, но игнорирует их более тонкие различия. Обобщение — порождение понятия на основе пересечения схем обобщаемых понятий и расширенного объединения их экстенсионалов. При **специализации** из понятия-обобщения выделяется одно из обобщенных в нем понятий. **Типизация** — частный случай обобщения, при котором есть возможность для каждой сущности из экстенционала понятия-типа узнать ее исходное понятие по множеству признаков, называемых **ключевыми**. Под типизацией понимается порождение понятия на основе пересечения схем типизируемых понятий и объединения их экстенсионалов. При конкретизации понятия-типа фиксируется одно из типизированных в нем понятий по ключу. При **ассоциации** устанавливается взаимосвязь между сущностями одного и того же или разных понятий. Ассоциация выражает специфическое соединение сущностей. Это соединение позволяет от сущностей одного понятия перейти к одной или нескольким сущностям других понятий. Ассоциация — порождение понятия на основе объединения схем ассоциируемых понятий и ограниченного декартового произведения их экстенсионалов. При ассоциации из понятия-ассоциации выделяются ассоциированные в нем понятия. Для перехода между сущностями этих понятий применяется набор признаков, называемых связью. При **агрегации** понятие формируется как совокупность других понятий. Процесс, противоположный агрегации, — декомпозиция. Агрегация — порождение понятия на основе объединения схем агрегируемых понятий и декартового произведения их экстенсионалов. При **декомпозиции** понятие-агрегат делится на входящие в него агрегированные понятия. Агрегация — предельный

случай ассоциации, при котором присутствуют все возможные связи (при ассоциации устанавливается только часть связей): на одном и том же множестве понятий можно задать несколько ассоциаций, в то время как их агрегация единственна.

Понятийная структура — совокупность понятий, для которых заданы способы их образования (абстрагирования). Носителем понятийной структуры является множество понятий, а ее сигнатурой — множество отображений обобщения, типизации, агрегации и ассоциации. В отличие от семантической сети и концептуально-онтологического подхода, где на понятиях задаются разные типы отношений с различной семантической нагрузкой, понятийная структура определена множеством понятий с четырьмя видами отображений, единственное назначение которых показать способ образования понятия. Понятийная структура близка к расширенной ER-модели (модели сущность — связь), однако в ER-модели элементами являются не понятия, а типы данных. Для обеспечения непрерывного процесса моделирования (от понятийного до информационного) необходимо реализовать механизм перевода компонентов понятийной структуры в компоненты модели данных. При этом сама понятийная структура должна удовлетворять требованиям полноты и непротиворечивости. Понятийную структуру будем называть неполной, если существуют понятия, используемые в понятийной структуре, но явно в ней не определенные. Понятийная структура противоречива, если существует сущность, описанная как принадлежащая, так и не принадлежащая одному и тому же понятию. Чтобы сократить время на устранение противоречий на следующих этапах проектирования, синтезированная понятийная структура должна быть подвергнута верификации. Разработка методик верификации понятийных структур — одна из важных задач построения комплексных средств визуального моделирования.

Понятийный анализ определяется как методика построения и верификации понятийной структуры. Как правило, для вычисления схем понятий используется следующая классическая рекуррентная процедура:

Схема простого понятия, состоящая из одного понятия \Leftrightarrow Схема понятия, полученного в результате дифференциации признаков, равная пересечению схем дифференцируемых понятий \Leftrightarrow Схема понятия, полученного при интеграции признаков, равная объединению схем интегрируемых понятий.

Результаты понятийного анализа легко формализуются и могут быть подвергнуты элементарной проверке на полноту и непротиворечивость. Как было отмечено ранее, для исследования бизнес-процессов чаще применяется концептуально-онтологический или структурно-функциональный подход, для описания информационных потоков и систем — объектный анализ. Чтобы создать универсальную методику проектирования, учитывающую все аспекты, следует оценить степень взаимосвязи понятийного и объектного анализов.

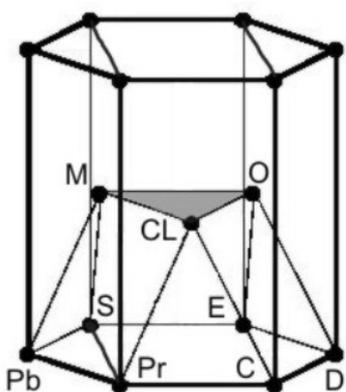


Рис. 4. Представление взаимосвязи понятийной и объектной модели предметной области в виде гексагональной плотноупакованной решетки:

O — объект (Object); M — метод (Method); CL — класс (Class)

Понятийный анализ — некоторое обобщение объектного анализа и, следовательно, истинно утверждение о возможности синтеза механизма преобразования понятийной модели в объектную с сохранением полноты и непротиворечивости. Графически связь компонентов понятийной и объектной модели может быть представлена в виде гексагональной плотноупакованной решетки (рис. 4), которая определяет принципы функционирования механизмов преобразования моделей. На рисунке показан только один сегмент решетки, в общем плане он синтезируется для каждого подпространства понятийной области. Горизонтальные связи определяют связи между компонентами модели отдельного предметного подпространства, а вертикальные — образуют обобщения компонентов всей предметной области в целом.

В итоге можно утверждать, что для полного описания предметной области достаточно использовать понятийную модель (и ее частные реализации, структурно-функциональные, объектные модели и т. п.). В качестве ядра системы используем понятийную модель, дополненную описанием решения одной или нескольких прикладных задач:

Программа := Понятийная модель (Структура + Синтаксис + Семантика) + Решение задачи.

Понятийную структуру и синтаксис понятий опишем на декларированном в контекстной технологии метаязыке, а семантику и решаемые задачи — на специализированном предметном языке, определяемом в понятийной модели.

Синхронная технология формализации конструкторско-технологической информации на основе языка VI-XML. Язык формализованного описания синхронных визуальных моделей создадим на основе языка XML, приведя их к унифицированной графовой структуре. Вершины графа VI-модели будут представлены в виде понятия, описывающего объекты и их параметры, а ребра графа — в виде суждения, описывающего взаимоотношения объектов. Тогда визуальную модель можно описать на языке XML, элементами которого являются понятия и суждения (рис. 5).

В общем случае структура языка I-XML приведена на рис. 6. Корневой элемент knowledge содержит по одному элементу ideas и opinions, которые, в свою очередь, могут включать в себя любое число элементов idea или opinion. Проанализировав структуру языка I-XML можно сделать вывод: этот язык эффективен для описания знаний, но не полно-

стью отвечает задачам их визуального представления. Визуально I-XML-документ можно изобразить только в виде древовидной структуры. Необходимо модифицировать язык I-XML так, чтобы содержащуюся в нем информацию можно было представить в виде графических нотаций, используемых в маршрутах проектирования технических систем. Предлагаемый язык назовем Visual Intelligence XML (VI-XML).

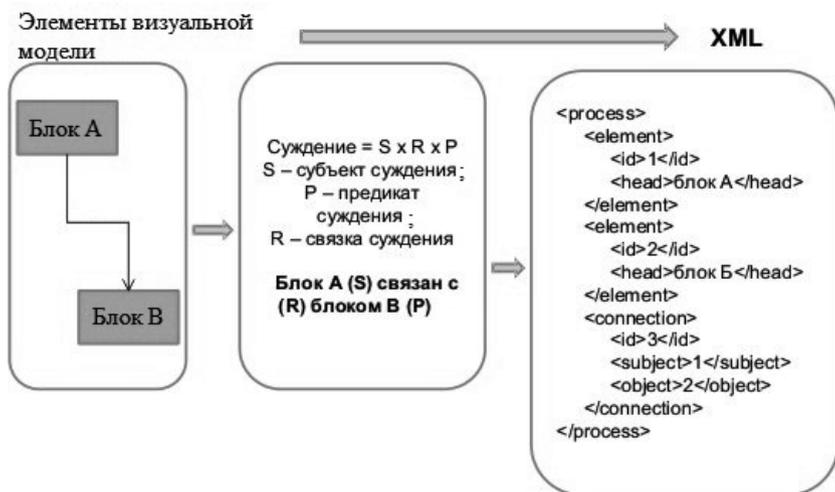


Рис. 5. Синхронная технология формализации конструкторско-технологической информации средствами языка VI-XML

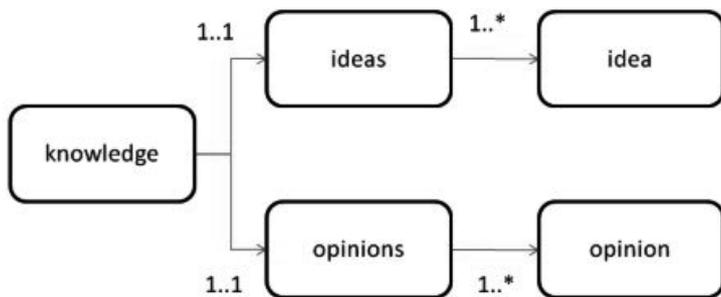


Рис. 6. Структура языка I-XML

Моделируемую систему можно определить как совокупность объектов и связей между ними. Широко распространенные нотации IDEF0 и UML в графическом отношении являются диаграммами, где компоненты представлены различными блоками (например, работы (activity) IDEF0), а связи — разными типами линий (стрелки (arrow) или интерфейсные дуги IDEF0) или вложенностью объектов.

С точки зрения языка I-XML объекты на диаграммах представляют собой понятия, а связи — связки суждений. В этом случае различие нотаций заключается в том, что каждая из них разбивает систему на понятия и суждения по разным критериям.

Такая конструкция языка описания моделей положена в основу универсальной среды визуального моделирования, предоставляющей единый интерфейс для создания и редактирования визуальных моделей на распространенных и новых графических языках. Предлагаемый подход определяет возможность соединять все уровни визуального моделирования в единую замкнутую иерархию, сопутствующую как анализу процессов, так и построению информационных и управляющих модулей.

Рассмотренный подход хорошо зарекомендовал себя и при решении образовательных задач по передаче знаний в легко интерпретируемой учащимися (в том числе иностранными) визуальной форме.

Заключение. Разработана среда визуального моделирования, предоставляющая единый интерфейс для создания и редактирования визуальных моделей на базовых графических языках и описывающая связи между ними. Разработан и реализован язык формализованного описания визуальных моделей VI-XML. Совместно созданные решения обеспечивают синхронность технологии моделирования и позволяют преодолеть фрагментарность и изолированность применения визуального анализа на разных уровнях моделирования социально-производственных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов А.И., Кирбабин О.Е., Шепель А.С. Методология визуального проектирования как инструмент организации поддержки учебного процесса // Новые информационные технологии и менеджмент качества (NIT&MQ'2008). Материалы международного симпозиума. — М.: ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика». ЭГРИ, 2008. — С. 110—112.
2. Кознов Д.В. Языки визуального моделирования: проектирование и визуализация программного обеспечения. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. — 143 с.
3. Шахнов В.А., Власов А.И., Зинченко Л.А. О методическом обеспечении инженерного образования в современных условиях // Высшее образование в России. 2012. № 3. — С. 104—108.
4. Резикова Е.В., Власов А.И. Перспективы применения концепт-карт для построения базы знаний ТРИЗ // Конференции «ТРИЗ. Практика применения методических инструментов»: Сб. трудов. — М., — С. 140—145.
5. Верейнов К.Д., Власов А.И., Дудко В.Г., Тимошкин А.Г. Концепция комплексной автоматизации систем управления производством и разработками на базе современного аппаратного и программного обеспечения // Вопросы Радиоэлектроники. Сер. АСУПР. 1994. № 2. — С. 50—66.
6. Власов А.И., Зинченко Л.А., Макачук В.В., Родионов И.А. Автоматизированное проектирование наносистем. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 184 с.
7. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. — М.: Высш. шк., 1989. — 79 с.
8. Власов А.И., Овчинников Е.М. Вопросы автоматизации управления производством и проектированием на базе современных информационных технологий // XX научно-техническая конференция ЦНИИ «Комета». Новые технологии создания и испытаний глобальных информационно-управляющих систем (ГИУС). Диверсификация систем оборонного назначения. М., 1997. — С. 13.

Статья поступила в редакцию 4.07.2012