

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СИСТЕМ**

**Ю.Р. ВАЛЬКМАН, В.И. ГРИЦЕНКО,
А. Ю. РЫХАЛЬСКИЙ**

**МОДЕЛЬНО-
ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ
ПРОСТРАНСТВО**

ТЕОРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЕ

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 2010

В монографии предложены и обоснованы теория и практика построения баз знаний (БЗ) исследователей и проектировщиков сложных объектов (проектируемого корабля, самолета, города, организации и т.д.). Фактически, БЗ представляет собой онтологию соответствующих проблемной и предметной областей и является центральным звеном интеллектуальной компьютерной технологии. Предложен и исследован новый формальный аппарат, названный модельно-параметрическим ($\langle M, P \rangle$ -) пространством, для построения и использования соответствующей мультимодельной, гетерогенной, многомерной, сложно структурированной, семантически «насыщенной» вычислительной среды (интегрированной информационной модели) сложной системы знаний. Определены меры совместимости и согласованности моделей знаний в $\langle M, P \rangle$ -пространстве, рассмотрены свойства этих мер. Разработаны принципы построения алгебры и логики текстов и контекстов моделей. Анализируется эффективность его использования в процессах «отчуждения знаний» и в моделировании НЕ-факторов в компьютерных технологиях.

Для преподавателей и студентов, инженеров-программистов, конструкторов и проектировщиков, научных работников и аспирантов, активно занимающихся научной и проектной работой в области создания интеллектуальных технологий исследования сложных систем.

У монографії запропоновані й обґрунтовані теорія й практика побудови баз знань (БЗ) дослідників і проектувальників складних об'єктів (проектованого корабля, літака, міста, організації і т.д.). Фактично, БЗ являє собою онтологію відповідних проблемної й предметної областей і є центральною ланкою інтелектуальної комп'ютерної технології. Запропонований та досліджений новий формальний апарат, названий модельно-параметричним ($\langle M, P \rangle$ -) простором, для побудови і використання відповідного мультимодельного, гетерогенного, багатовимірного, складно структурованого, семантично «насиченого» обчислювального середовища (інтегрованої інформаційної моделі) складної системи знань. Визначені заходи сумісності і узгодженості моделей знань в $\langle M, p \rangle$ -пространстве, розглянуті властивості цих заходів. Розроблені принципи побудови алгебри і логіки текстів і контекстів моделей. Аналізується ефективність його використання в процесах «відчуження знань» і в моделюванні НЕ-чинників в комп'ютерних технологіях.

Для викладачів і студентів, інженерів-програмістів, конструкторів і проектувальників, науковців і аспірантів, що активно займаються науковою і проектною роботою в області створення інтелектуальних технологій дослідження складних систем.

In a monograph offered and grounded theory and practice of construction of bases of knowledges (KB) of researchers and designers of difficult objects (designed ship, airplane, city, organizations et cetera). Actually, KB is ontology of the proper problem and subject areas and is the central link of intellectual computer technology. Offered and investigational new formal instrument, adopted model-self-reactance ($\langle M, P \rangle$) space, for a construction and use of the proper multimodel, heterogeneous, multidimensional, difficultly structured, semantically «saturated» calculable environment (to the computer-integrated informative model) of the difficult system of knowledges. The measures of compatibility and co-ordination of models of knowledges are certain in $\langle M, P \rangle$ -prostranstve, properties of these measures are considered. Principles of construction of algebra and logic of texts and contexts of models are developed. Efficiency of his use is analysed in the processes of «alienation of knowledges» and in modelirovani not-factors in computer technologies.

For teachers and students, engineers-programmers, designers and designers, research workers and graduate students, actively engaged in the advanced and project study in area of creation of intellectual technologies of research of the difficult systems.

Утверждено к печати ученым советом Международного научно-учебного центра информационных технологий и систем НАН Украины и Министерства образования науки Украины

Рецензенты: академик НАН Украины, доктор технических наук В. И. Скурихин, член-корреспондент НАН Украины, доктор физико-математических наук А. В. Анисимов

Редакция физико-математической литературы

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|--|
| Введение | |
| ГЛАВА 1. Анализ методов и средств представления знаний проектировщиков и исследователей сложных систем | |
| 1.1. Некоторые определения и ограничения предметной области..... | |
| 1.2. Классификация знаний | |
| 1.3. Средства представления знаний проектировщиков и исследователей | |
| 1.4. Методы представления знаний исследователей и проектировщиков | |
| ГЛАВА 2. Модели и параметры – базовые элементы построения формальных систем | |
| 2.1. Некоторые исходные ограничения и определения..... | |
| 2.2. Параметры: моделирование свойств исследуемых и проектируемых объектов | |
| 2.3. Модели: формализация отношений в исследуемых системах | |
| ГЛАВА 3. Модельно-параметрическое пространство: определение, структура, свойства | |
| 3.1. Определение $\langle M, P \rangle$ -пространства, его свойства и структура | |
| 3.2. Окрестности в $\langle M, P \rangle$ -пространстве | |
| 3.3. Расстояния в $\langle M, P \rangle$ -пространстве | |
| 3.4. Операции над $\langle M, P \rangle$ -окрестностями | |
| 3.5. Методики, параметрические базисы, модельные покрытия в $\langle M, P \rangle$ -пространстве | |
| 3.6. Целостность, непротиворечивость, связность, согласованность, сбалансированность, полнота, целесообразность $\langle M, P \rangle$ -пространства..... | |
| ГЛАВА 4. Анализ и формализация отношений между моделями: определения, свойства, классификация, решетки | |
| 4.1. Тексты моделей и неявные их контексты: уровень информативности параметров..... | |
| 4.2. Отношения между моделями на уровне тестов и контекстов | |
| 4.3. Определения совместимости и согласованности текстов, контекстов моделей и функциональных зависимостей | |
| 4.4. Отношения между функциональными зависимостями..... | |
| 4.5. Решетки $\langle M, P \rangle$ -пространства..... | |

ГЛАВА 5. На пути к исчислению моделей:

| | |
|--|--|
| алгебра и логика текстов и контекстов моделей | |
| 5.1. Основы предлагаемого подхода | |
| 5.2. Логические многообразия в исследовании сложных систем | |
| 5.3. Принципы построения аппарата исчисления моделей..... | |
| 5.4. Принципы построения алгебры и логики текстов и контекстов моделей..... | |

Глава 6. НЕ-факторы в исследовании сложных систем:

от наивной формализации к естественной прагматике

| | |
|--|--|
| 6.1. Определение свойств НЕ-факторов | |
| 6.2. Интервальный анализ - средство моделирования НЕ-факторов на уровне параметризации свойств | |
| 6.3. Тексты и контексты в моделировании НЕ-факторов на уровнях синтеза моделей, их интеграции и интерпретации | |

ГЛАВА 7. Системы управления базами данных и знаний для информационных технологий исследований сложных систем

| | |
|--|--|
| 7.1. Особенности реализации программно-информационных комплексов | |
| 7.2. Технология создания и общая структура информационной технологии исследовательского проектирования | |
| 7.3. Спецификация проблемно-ориентированной системы управления базами данных и знаний моделей исследуемых процессов и объектов | |
| 7.3.1. Назначение системы МАМОД-М. Общая структура баз данных и знаний $\langle M, P \rangle$ -пространства | |
| 7.3.2. Классификация параметров, математических моделей и отношений между ними..... | |

Заключение

Литература.....

ВВЕДЕНИЕ

Нужно перестать поступать так, будто природа делится на дисциплины, как программа в университетах

Р. Акофф

Разработка новых структур предполагает и полет фантазии, и синтез опыта и знаний: все то, что необходимо художнику для реализации своего замысла на холсте или бумаге. После того, как этот замысел созрел в голове инженера-художника, он обязательно должен быть проанализирован с точки зрения применимости данного научного

метода инженером-ученым со всей тщательностью, присущей настоящему ученому

Генри Петроски (Henry Petroski)

Проектирование как человеческая деятельность

(To Engineer is Human)

Научно-исследовательские (НИР) и опытно-конструкторские разработки (ОКР) в настоящее время – главный фактор ускорения экономического роста развитых промышленных стран. Наблюдается значительный рост всех структур, связанных с НИР и ОКР; сложность структуры технических систем удваивается каждые 10-15 лет. Считается, что объем обрабатываемой информация, связанной с исследованием и проектированием таких систем, растет экспоненциально с ростом их сложности.

В настоящее время разработано множество формализмов для представления знаний в виде моделей. Известно, что конструктор сложного изделия в состоянии обработать и использовать не более 5%, релевантной его проблеме, информации. В сети ИНТЕРНЕТ сложно найти необходимые данные, т.к. представленная там информация не ориентирована на использование, соответствующее целям проектировщика или исследователя.

О специфике исследовательского проектирования. Исследовательское проектирование (ИП) для нас представляет особый интерес, так как. в соответствующих процессах отражается и исследование (построение моделей существующих объектов), и проектирование (синтез моделей пока несуществующих систем).

В жизненном цикле сложной технической системы *исследовательское проектирование* (ИП) важнейшая и сложнейшая стадия.

Первое обусловлено тем, что именно на уровне ИП принимаются ответственные концептуальные решения, от которых зависит не только эффективность технологии ее создания и эксплуатации, но и жизнеспособность в целом.

Второе – необходимостью использования больших объемов самых разнообразных данных и знаний (в том числе о новых и новейших достижениях в данной предметной области).

И здесь же представляется целесообразным пояснить значения некоторых терминов.

К сложным системам и объектам относятся изделия новой техники (примерами таких объектов являются корабли, самолеты, вычислительные комплексы, компьютерные технологии и т. д.) и социально-экономические системы (города, предприятия, транспортные системы и т.д.). Для них характерны:

- *мультимодельность представления данных и знаний;*
- *многосвязность информационных компонент;*
- *необходимость привлечения к процессам проектирования специалистов различных предметных областей;*
- *высокая степень неопределенности и неполноты исходных данных и т.п. (соответствующие свойства рассматриваются в первой главе предлагаемой монографии).*

К процессам исследовательского проектирования относятся операции синтеза и анализа локальных и интегральных моделей (архитектуры и функционирования) создаваемых сложных изделий (и их компонент), построения параметрических базисов проводимых исследований, принятия конструкторских решений с учетом технологий создания и функционирования проектируемого объекта и т.д.

Для построения множества альтернатив и их оценки на стадиях принятия проектных решений необходима *формальная спецификация "контекстов"* различных "семантически" близких моделей агрегатов и процессов сложных изделий.

Модели, используемые на стадиях исследований, часто создаются в одних организациях, а используются в других; вследствие неполного «отторжения» их не всегда корректно.

Ввиду изложенного значительный интерес представляет решение проблемы реализации специального формального аппарата, обеспечивающего единообразное представление моделей – результатов научных, проектных и экспериментальных исследований – в вычислительной среде.

Часто, и методы моделирования разрабатываются одними специалистами, а используются другими. Здесь уместно привести высказывания известных ученых по этому поводу.

«Проектировщики не осознают, что им надо научиться отличать утверждение, которое они считают истиной, от утверждения, истинность которого может быть доказана, а ученые в области естественных наук, математики и другие специалисты не осознают, что задача, которая кажется им четко сформулированной, может утратить смысл в новых ситуациях, которые непрерывным потоком проходят перед мысленным взором любого опытного проектировщика» (Дж. К. Джонс).

«Инженеры зачастую обращаются к ученым, как к шаманам, которые должны освятить своими заклинаниями уже принятое решение...» (Н. Н. Непейвода).

«Прагматики правы, по крайней мере с точки зрения методологии, – безусловно, нет лучшего способа обоснования метода, чем установить, что «он работает» для каких-то конкретных задач» (Н. Решер).

«Универсальные методы – это такие специализированные методы, создатели которых не дали себе труда подумать, для каких конкретных задач они годятся» (Н. Н. Непейвода). Нет лучше способа дискредитации метода, чем использование его за границами его применимости.

Теперь становится ясным, что «узким» местом при реализации и использовании интеллектуальных технологий ИП является создание таких баз знаний конструкторов сложных объектов и разработчиков методов моделирования, в которых отражаются соответствующие средства со всеми контекстами их реализации и применения. Ввиду очевидной недостаточности для этого формальных систем, возникает потребность использования методологии прикладной семиотики. Именно последняя может обеспечить поддержку необходимых «мостиков» между разработчиками и пользователями методов и средств моделирования (тем самым, максимально сократить «дистанцию» между ними).

Творческий характер ИП приводит к широкому использованию в их процессах методов и средств искусственного интеллекта (ИИ). С дру-

гой стороны, в ИП для определения количественных характеристик свойств объекта успешно применяются самые разнообразные пакеты прикладных программ (ППП). Поэтому, предъявляются особые требования к интеграции эвристических и формальных методов в рамках операций ИП, а эффективность такого симбиоза в первую очередь определяется уровнем единообразия представления моделей в вычислительной среде и унификацией операций их обработки.

Ориентация ИП на создание новых изделий выдвигает в качестве основного требования к банкам данных и знаний сложного изделия их *открытость для пополнения* (номинально и структурно) новыми моделями агрегатов и методами (алгоритмами) их синтеза и анализа.

Как известно, одним из основных методов ИП является анализ аналогов. Поэтому, модели, хранимые в базах данных должны корректироваться в процессе проведения научных и экспериментальных исследований аналогичных процессов, агрегатов, изделий в целом.

Эти специфические требования в настоящее время, с нашей точки зрения, не находят должного отражения в компьютерных *информационных технологиях* (ИТ) ИП, т.к. не разработаны соответствующие теоретические основы и методология формальной спецификации интеграции моделей сложных изделий.

Таким образом, проблема повышения эффективности процессов исследовательского проектирования, по сути, всегда была *актуальна*. Однако, только в настоящее время появилась возможность принципиально изменить технологию ИП. Это обусловлено, с одной стороны, развитием вычислительных и операционных средств, с другой – разработкой новых методов и технологий (объектно-ориентированного проектирования, прикладной семиотики, когнитивной графики и т.д.).

Но, тут же остро встала проблема разработки целостной идеологии создания интегрированных программно-информационных комплексов, базирующихся на новых концепциях и принципах.

Об интегральной информационной модели. Для представления моделей сложных объектов в компьютерных технологиях характерны *мульти-модельность, гетерогенность вычислительной среды, многопараметричность, сложноструктурированность, семантическая «насыщенность» информационного пространства*. Такую модель мы называем интегральной.

Интегральная информационная модель строится на системе взаимосвязанных моделей, построенных на различных языках: от естественного до математических.

Интеграция различных моделей в рамках одной системы всегда вызывала известные затруднения, а создание сложных объектов машиностроения по определению носит междисциплинарный характер. Известные системы представления знаний и компьютерные технологии проблемно-ориентированы (см. MATLAB, IDL, Mathematic и др.) и не решают проблем объединения разнородных знаний. CADS-технологии обеспечивают современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоёмкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и современных информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия. Но, они не поддерживают этапов исследовательского проектирования, на которых строятся и анализируются модели различных подсистем, узлов, агрегатов новых сложных изделий машиностроения. Кроме этого, модели, используемые на стадиях анализа и синтеза новых изделий, часто создаются в одних организациях, а используются в других; вследствие неполного "отторжения" их не всегда корректно.

Ввиду изложенного весьма актуальна разработка информационной технологии, обеспечивающей единообразное интегрированное представление моделей (которые синтезированы посредством различных методов и средств) разных компонентов сложного изделия в вычислительной среде, а затем, и реализация соответствующего компьютерного инструментального комплекса.

Предлагаемый аппарат представления знаний в вычислительной среде назван **модельно-параметрическим пространством**. С помощью соответствующего инструментального комплекса обеспечивается построение, поддержка и использование интегрированной модели сложной системы в процессах исследований и/или проектирования сложного объекта.

Построенное модельно-параметрическое пространство знаний исследователей, по сути, является проблемно-ориентированной и предметно-ориентированной онтологией исследуемого и/или проектируемого сложного объекта. Проблемная ориентация означает поддержку в компьютерной среде системы решаемых проблем и задач и методов и технологий их решения. Предметная ориентация заключается в поддержке

в вычислительной среде интегрированной модели исследуемого и\или проектируемого сложного объекта.

Несколько слов о языке изложения материала. Для представления формальных предложений и выводов использовался аппарат дискретной математики (теория графов, логика, теория множеств). Но мы не стремились к строгому математическому изложению и законченности (пусть нас простят математические ортодоксы и пуристы). Главная наша цель – это «достаточность формальной точности и законченности» понимания сути подхода и для реализации соответствующего программного продукта. Именно поэтому мы говорим об утверждениях, а не о теоремах. И в монографии так много графического материала (кстати, графические образы – это тоже формализмы) для обеспечения понимания нетривиальных положений предлагаемого аппарата. Вместе с тем, мы считаем уровень формальности, принятый в книге, в некоторой степени, оптимален с учетом категорий читателей, на которые ориентировано данное издание.

При подготовке материала авторы старались, прежде всего, учесть интересы читателей четырех основных категорий:

- преподавателей и студентов, которым необходимо учебное пособие, охватывающее основные темы исследования и проектирования баз знаний в интеллектуальных системах исследования сложных систем;
- инженеров-программистов, нуждающихся в теоретико-методологических материалах создания компьютерных технологий исследований и проектирования сложных объектов техники и технологии;
- конструкторов и проектировщиков, разрабатывающих и исследующих сложные системы;
- научных работников, студентов и аспирантов, активно занимающихся научной работой в области создания интеллектуальных технологий.

Предлагаемая вниманию читателей монография посвящена разработке теоретико-методологических основ создания компьютерных технологий исследований и проектирования сложных систем. Она включает семь глав.

Теория построения модельно-параметрического пространства рассматривается в 1-5 главах, а ее приложения к решению конкретных проблем – в 6-7 главах.

В **первой главе** проведен обзор известных, в настоящее время, методов и средств представления знаний в интеллектуальных системах. На его основании определены специфические требования к методам и средствам представления знаний исследователей сложных систем. Обоснована целесообразность разработки принципиально нового формального аппарата для представления знаний этой категории пользователей с соответствующими функциями.

Во **второй главе** формально определены базовые компоненты любых формальных структур: *параметры* и *модели*. Детально анализируется категория *параметр* с привлечением методологии прикладной семиотики, выделяются характеристики и свойства параметров, и строится обобщенная их модель. Затем исследуется понятие *модель*, также с использованием идеологии прикладной семиотики. Определяются категории *текстов* и *контекстов* моделей. Строится обобщенная структура модели с ориентацией на анализ совместимости моделей, представленных в различных нотациях, их интеграцию, построение целостных и целесообразных систем моделей. Построенные структуры *моделей* и *параметров*, принципы и методы легли в основу построения модельно-параметрического пространства, разработки технологии использования построенных формальных структур и создания соответствующего программно-информационного комплекса.

Третья глава в теоретическом аспекте является центральной в этой книге. Здесь представлен разработанный формальный аппарат построения и анализа модельно-параметрического $\langle M, P \rangle$ -пространства. Определены понятие, структура и свойства $\langle M, P \rangle$ -пространства знаний, полученных и систематизированных в процессах исследований и проектирования сложных объектов. Построены $\langle M, P \rangle$ -окрестности, исследованы их свойства, определены операции их объединения, пересечения, введена метрика в $\langle M, P \rangle$, определены понятия параметрических базисов, модельных покрытий, методик в $\langle M, P \rangle$ -пространстве. Определены и исследованы такие свойства $\langle M, P \rangle$ как *целостность*, *непротиворечивость*, *связность*, *согласованность*, *полнота*, *целесообразность*.

Четвертая глава посвящена исследованию и систематизации возможных отношений между двумя моделями знаний исследователей и проектировщиков на уровне текстов и контекстов этих моделей. Проанализированы и классифицированы все возможные отношения между моде-

лями знаний, определенными в форме функциональных зависимостей. Определены меры (в количественном выражении) совместимости и согласованности моделей в $\langle M, P \rangle$ -пространстве, рассмотрены свойства этих мер. На основе проведенного исследования построены решетки отношений между моделями. Введен принципиально новый тип решетки и, показано, что общая решетка отношений является произведением четырех решеток.

В **пятой главе** исследуется методология прикладной семиотики и теория логических многообразий с целью их использования в создании информационной технологии исследований и проектирования сложных объектов. Разрабатываются принципы построения аппарата исчисления моделей, синтезируемых и анализируемых в процессах исследований и проектирования сложных объектов. Разработаны концепции построения механизмов поддержки $\langle M, P \rangle$ -пространства в актуальном и целостном состоянии в форме операций алгебры и логики текстов и контекстов моделей.

Материал этой главы во многом лишь обозначает проблемы, которые мы намерены решать в дальнейшем. Но уже здесь обосновываются некоторые принципы. И, хотелось бы узнать мнение научной общественности по изложенным концепциям. Особенно это касается четвертого подраздела, по-видимому, во многом носящей дискуссионный характер, о чем авторы знают из конференций, на которых обсуждались соответствующие материалы.

В **шестой главе** определяются и исследуются НЕ-факторы (неточности, неполноты, нечеткости и т.п. характеристик данных и знаний) в исследовательском проектировании сложных объектов и разрабатываются механизмы их моделирования в компьютерных технологиях. Авторы вообще считают, что компьютерная технология не может считаться интеллектуальной, если в ней не моделируется хотя бы один НЕ-фактор.

В **седьмой главе** разработана методология создания информационной технологии исследовательского проектирования сложных объектов и базовых программно-информационных комплексов ее поддержки. Разработаны принципы и методы реализации проблемно-ориентированной системы управления базами данных и знаний (БДиЗ) для поддержки в вычислительной среде модельно-параметрического пространства исследуемых объектов и процессов. Разработана технология практического

использования программно-информационных комплексов в процессах исследовательского проектирования сложных систем и объектов.

На основе изложенных в монографии принципов, концепций и методов реализованы программно-информационные комплексы МАМОД (система управления базами данных и знаний математических моделей) и ГРАММ (система синтеза-анализа графических образов моделей). В настоящее время в системе баз данных и знаний (каталогов) параметров хранится и обслуживается информация (около 40 атрибутов) более, чем о 800 взаимосвязанных свойствах и характеристиках кораблей и среды их функционирования, а в БДиЗ моделей – информация о 1500 взаимосвязанных моделях, на которых построены методики определения значений интегральных показателей структуры и функционирования сложных изделий кораблестроения. Используется, при этом, около 30 математических и формальных языков. Заметим, что при вводе «текста» новой модели в модельную среду (БДиЗ), с одной стороны, анализируется ее «контекстное (семантически связанное) окружение», с другой – автоматически строится «ее вычислительный модуль». В частности, это – одна из функций интеллектуализации соответствующей компьютерной технологии исследований сложных систем, которая реализуется на основе логики текстов и контекстов математических моделей.

Изложенные материалы исследований прошли широкую апробацию на почти сотне международных конференций и семинаров.

Авторы высказывают благодарность рецензентам академику НАН Украины Владимиру Ильичу Скурихину и члену-корреспонденту НАН Украины Анатолию Васильевичу Анисимову, за их кропотливую работу по анализу материалов и за критические замечания, которые помогли улучшить изложение материала. Также мы благодарны всем коллегам и друзьям, имеющим прямое и косвенное отношение к нашим работам.

Авторы будут признательны всем, кто пришлет критические замечания, пожелания и предложения по адресу: yur@valkman.kiev.ua

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ И ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

*Если единственный инструмент,
которым Вы располагаете, это молоток,
то множество различных предметов покажутся Вам гвоздями*
М. Твен

1.1. Некоторые определения и ограничения предметной области

Здесь под сложной системой будем понимать [131, 67, 89, 61, 9, 135, 3, 53] комплексную модель проектируемого или исследуемого сложного объекта (самолета, корабля, здания, теплотрассы, города, энергосети и т.д.)

Характерными свойствами систем этого класса являются следующие характеристики.

1. Ввиду сложности невозможность представить объект в форме одной модели. Всегда такая «супермодель» строится как система моделей. Поэтому возникают проблемы согласованности, непротиворечивости, полноты соответствующего «мультимодельного пространства».

2. Синтезом-анализом моделей сложной системы занимаются специалисты различных предметных областей. Такая коллективная деятельность требует согласования различных точек зрения и принятия компромиссных решений в конфликтных ситуациях. Поэтому модельное пространство сложного объекта является гетерогенным. Необходима интеграция разнородных моделей в целостную систему.

3. Исследовательский характер процессов синтеза-анализа моделей приводит к необходимости учета НЕ-факторов (неопределенности, нечеткости, неполноты, противоречивости исходных данных). Принципиальное отсутствие аналитических зависимостей, связывающих параметры (свойства) сложных систем требует использования эвристических моделей. Поэтому в построении модельного пространства сложной системы целесообразно применять методы и средства искусственного интеллекта [29, 105, 116, 130].

1.2. Классификация знаний

Первые классификаторы знаний в интеллектуальных технологиях начали появляться при широком распространении экспертных систем (см., например, [121]). Конечно, знания можно классифицировать по самым раз-

личным критериям. Это, фактически, является отражением многообразия и разнообразия наших знаний.

Здесь обсуждаются проблемы представления знаний исследователей и проектировщиков. И эти знания используются в процессах синтеза-анализа моделей сложных объектов.

Поэтому, в данном случае представляется целесообразным разделить знания на три класса:

- *знания исследователей (проектировщиков, конструкторов) сложных систем (1);*
- *знания технологий, методов, средств синтеза-анализа моделей сложных систем (2);*
- *знания о моделируемых системах и/или объектах (3);*

Естественно, все три класса тесно взаимосвязаны; в частности, второй и третий классы являются компонентами первого класса.

В каждом классе можно выделить:

- *общие и специфические;*
- *поверхностные и глубинные;*
- *четкие и нечеткие;*
- *формализованные и неформализованные;*
- *декларативные и процедурные знания.*

Знания «первого» класса иногда делят на имплицитные и эксплицитные, а знания «третьего» класса – на структурные и функциональные. Последнее здесь особо значимо, поскольку в проектируемой и/или исследуемой сложной системе всегда рассматриваются две взаимосвязанные компоненты: *морфологическая и функциональная*. И для их представления в вычислительной среде используются различные методы и, как следствие, средства.

Желательно ввести в рассмотрение «условный» четвертый класс – «чужие знания». К ним будем относить методы и технологии, используемые исследователями, не являющимися «собственными». Это «чужой» опыт. По определению эти знания – поверхностны. Но, человек не может все знать! Таковыми (по отношению к пользователям) являются все базы знаний (БЗ) и экспертные системы (ЭС) в целом. И, этот класс знаний, видимо, является наиболее ценным в компьютерных технологиях моделирования сложных систем.

Поэтому, вообще, видимо, в начале необходимо знания делить на «свои» и «чужие».

1.3. Средства представления знаний проектировщиков и исследователей

Здесь под средствами представления знаний понимаются инструментальные программно-информационные комплексы, используемые при разработке интеллектуальных технологий синтеза-анализа моделей сложных систем.

Как известно, инструментальные средства классифицируются по следующим параметрам:

- *уровень используемого языка;*
- *парадигма программирования;*
- *способ представления знаний;*
- *механизм вывода и моделирования;*
- *средства приобретения знаний;*
- *технология разработки приложения.*

Трудозатраты на разработку интеллектуальной системы и эффективность ее функционирования в значительной степени зависят от уровня используемого языка. Выделим следующие уровни:

1. Традиционные языки программирования: C++, Pascal;
2. Символьные языки программирования: LISP, ProLog и их разновидности;
3. Некоторые компоненты инструментария инженерии знаний (САКЕ-Computer Aided Knowledge Engineering): OPS 5, ИЛИС и др;
4. «Оболочки» интеллектуальных систем, содержащие все компоненты САКЕ: ЭКО, Leonardo, Kappa, Nexpert Object и др. Заметим, в настоящее время вместо термина «оболочки» (shell) все чаще используется более широкий термин «среда разработки» (development environment).

Если хотят подчеркнуть, что средство используется не только на стадии разработки, но и на стадиях использования и сопровождения, то употребляют термин «полная среда» (complete environment). Примерами таких систем являются: ProKappa, ART*Enterprise, Level 5 Object и др.

5. Предметно/проблемно ориентированные оболочки (среды):

- предметно-ориентированные средства (domain-specific), включающие знания о некоторых типах предметных областей: МАВР, ПРИЗ (ориентированные на объекты машиностроения), RTEXPERT (для проектирования ферменных конструкций), Fortran, Tribon, Catia (для проектирования судов и кораблей)

- проблемно ориентированные средства (problem-specific), ориентированные на некоторый класс решаемых задач: SACON (для задач анализа структуры конструкции), GEPSE (для инженерных задач), PANDA (для расчета массогабаритных характеристик изделия), CDA (для анализа и синтеза композиционных материалов), OPDEM (для синтеза моделей оптимального проектирования), FEMOD (для использования метода конечных элементов), ЭС Альтернатива (для моделирования в представлении знаний различных НЕ-факторов - неполноты, нечеткости и т. п.) и т. д.

Многие из приведенных примеров инструментальных средств представления знаний рассмотрены в [121, 5, 123, 140].

В представленной классификации инструментальные средства перечислены в порядке, с одной стороны, убывания трудозатрат, необходимых для создания конкретной интеллектуальной технологии синтеза-анализа сложных систем, с другой стороны, роста специализации. Действительно, при использовании инструментария первого, второго и третьего типов в задачу разработчика входит программирование всех компонентов на языке довольно низкого уровня. Но, разработчик не ограничен (на 3-м уровне почти не ограничен) в выборе структурного представления знаний.

При применении четвертого и пятого типов инструментальных средств разработчик приложения полностью освобождается от работ по созданию программ, его основные трудозатраты связаны с наполнением БЗ общими и/или специфическими знаниями. Но, при использовании средств четвертого уровня язык представления знаний, принятый в инструментарии, может не подходить для данного приложения. А средства пятого уровня вообще жестко ориентированные на конкретные предметные и/или проблемные области.

В разработке технологий исследования и/или проектирования сложных систем (объектов) представляется целесообразным выделить еще шестой тип инструментальных программно-информационных средств.

Ранее их называли интеллектуальными пакетами прикладных программ. Иногда их создают в форме БЗ или ЭС. Отличительной их особенностью является то, что разработчик вообще не настраивает их на свою предметную область. В этом отношении они являются «замкнутыми». Средства этого типа также можно разделить проблемно-ориентированные и предметно-ориентированные.

Ввиду того, что в моделировании сложных систем широко используются математические методы, в этом классе средств необходимо выделить

системы аналитических преобразований. К таким системам относят: Eureka, MathCAD, MatLAB, TK Solver Plus, Derive, Maple V, Mathematic и др. [105, 98, 97, 135, 3, 53]. С помощью этих систем считаются интегралы, проводятся аналитические преобразования, решаются полиномиальные и дифференциальные уравнения, строятся графики, реализуются операции алгебры матриц и т. д.

В настоящее время системы этого класса многофункциональны, развиты и эффективны в использовании. Краткий обзор некоторых средств этого класса представлен в [66].

Существует целый спектр инструментальных средств, синтеза-анализа статистических и экспериментально-статистических моделей: ПАРИС, МГУА, STATGRAPHICS, SPSS, BMDP и т. п. (см., например, [134, 98, 97]).

Некоторые из этих систем имеют «экспертную надстройку», обеспечивающую пользователя выбором адекватного его проблемам метода синтеза модели и технологической поддержкой процессов синтеза-анализа.

При проектировании новых сложных систем (объектов) часто необходимо решать изобретательские задачи. В настоящее время разработаны ЭС, помогающие исследователю в этой деятельности: ТРИЗ (технология решения изобретательских задач), КОМПАС, АРИЗ (системы морфологического синтеза-анализа структур новых изделий) и т.д. (см., например, в [8]). Там же описана БЗ технических решений и банк данных физических и химических эффектов. В этих хранилищах представлены весьма обширные объемы соответствующей информации.

Представляется очевидным, что все инструментальные программно-информационные комплексы шестого типа ориентированы исключительно на представление в вычислительной среде «чужих знаний».

Особый интерес в представлении знаний исследователей сложных систем представляют CALS-технологии (англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла) – *современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоёмкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и современных информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия, обеспечивающая единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции, поставщиков/производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала, реализованная в соответствии с требованиями системы международных стандартов, регламентирующих пра-*

вила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными [93].

Русскоязычный аналог понятия CALS – ИПИ (информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий). Применение CALS-технологий, помимо прочего, существенно облегчает решение проблем интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации, специализации проектных организаций и т. п. Предполагается, что успех на рынке сложной технической продукции будет немислим вне технологий CALS.

Среди несомненных достижений CALS-технологий следует отметить лёгкость распространения передовых проектных решений, возможность многократного воспроизведения частей проекта в новых разработках и др.

Построение открытых распределенных автоматизированных систем для проектирования и управления в промышленности составляет основу современных CALS-технологий. Главная проблема их построения – обеспечение единообразного описания и интерпретации данных, независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных. Структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, языки её представления должны быть стандартизированными. Тогда становится реальной успешная работа над общим проектом разных коллективов, разделённых во времени и пространстве и использующих разные CAD/CAM/CAE-системы. Одна и та же конструкторская документация может быть использована многократно в разных проектах, а одна и та же технологическая документация – адаптирована к разным производственным условиям, что позволяет существенно сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства. Для обеспечения информационной интеграции CALS использует стандарты IGES и STEP в качестве форматов данных. В CALS входят также стандарты электронного обмена данными, электронной технической документации и руководства для усовершенствования процессов. Многие методы и средства CALS-технологий [93] адекватны требованиям нашей системы. Но, информационные модели сложных систем, которые создаются и поддерживаются средствами CALS-технологий, ориентированы на создание соответствующих объектов. А в данной работе внимание акцентируется на процессах исследований и исследовательского проектирования сложных систем. Эти процессы не поддерживаются CALS-технологий. Процессы CALS-технологий начинаются тогда, когда соответствующая про-

ектируемому объекту система моделей уже построена, верифицирована, сбалансирована.

Проведенный комплексный анализ программно-информационных систем показал, что инструментальные средства, обеспечивающие представление в компьютерных технологиях моделей, определенных в различных формах, их интеграцию в единую вычислительную среду, отсутствуют. Поэтому, такие операции, как согласование моделей, определение их полноты и непротиворечивости в настоящее время остаются без компьютерной поддержки. Отметим, при проектировании корабля используются около тридцати математических языков и осуществляется синтез-анализ более 1500 моделей на 800 параметрах [50].

Поэтому необходима разработка оригинальных методов представления знаний проектировщиков и исследователей сложных систем.

1.4. Методы представления знаний исследователей и исследований

Представляется целесообразным разделить этих методов на два класса:

- *традиционные языки представления знаний;*
- *специализированные (оригинальные) методы отображения знаний в вычислительной среде.*

Эти методы предназначены в основном для представления «своих знаний» и знаний о проектируемом и/или исследуемом объекте.

Широко известна традиционная классификация языков представления знаний (ЯПЗ):

- *формально-логические системы;*
- *фреймы;*
- *семиотические сети;*
- *продукционные системы;*
- *гибридные системы.*

С использованием этих методов и инструментальных средств первого и второго уровня разрабатываются специализированные системы для представления знаний исследователей и проектировщиков сложных объектов.

Наиболее известными методами второго класса являются следующие формальные аппараты:

- *И-ИЛИ-графы;*
- *Q-сети;*
- *пирамидальные сети;*

- *алгоритмические сети;*

Здесь не будут анализироваться эти методы (см. [121, 27, 140, 130, 29]). Заметим лишь, что характерной особенностью методов представления знаний исследователей сложных систем является необходимость симбиоза алгоритмической (формальной) и семантической (интерпретационной, неформальной) компонент. Все представленные методы или слабо представляют в вычислительной среде семантику или процедурную (вычислительную) компоненту. В основном, эти методы хорошо отображают в компьютерной среде структуру (строение сложного объекта) и поддерживают операции синтеза-анализа морфологии сложных систем. Видимо, следует ожидать разработку адекватных методов в рамках парадигмы прикладной семиотики [50].

Рассмотрим особенности представления знаний проектировщиков и исследователей посредством классических ЯПЗ.

В [50] выделены, определены и исследованы базовые объекты проблематики синтеза-анализа сложных систем: параметр, модель, методика расчета интегральных показателей (свойств, характеристик), облик сложного объекта

- *параметр (P),*
- *модель (M),*
- *методика (MM),*
- *облик (I).*

В вычислительной среде должны храниться и отношения между этими объектами.

Поэтому, вполне очевидно, что семантические сети в любом случае должны широко использоваться в аппарате представления знаний исследователей сложных систем. Не случайны названия соответствующих методов представления знаний. И, если узлам в этой сети соответствуют образы (и характеристики) P, M, MM, I , то дугам – отношения: входимости (например [50]: P в M, M в MM, MM в I), родовидовые, агрегатные, причинно-следственные, подобия, близости.

Таким образом, семантическая сеть для представления модельно-параметрического пространства сложной системы многомерна.

Посредством фреймов моделируются понятия P, M, MM, I . Их характерные признаки представлены в соответствующих слотах. Кроме этого должны строиться ситуационные, ролевые и т.п. [27] фреймы, характеризующие макрообъекты и метазнания сложных систем (объектов).

Продукционные системы предназначены для:

- моделирования причинно-следственных отношений (с помощью конструкций «ЕСЛИ...», ТО...») в моделях, методиках, обликах;
- синтеза-анализа алгоритмических (процедурных) компонент сложных систем в компьютерной среде.

Так этот формализм удобен для представления табличных моделей в вычислительной среде.

Формально-логические языки необходимы для работы с контекстами моделей. С помощью соответствующих логических операций можно реализовать процедуры:

- расширения/сужения контекстов (областей допустимых значений) моделей;
- определения корректности объединения моделей (например, при построении методик вычисления интегральных характеристик и свойств сложных систем);
- осуществления ассоциативных выводов;
- вычисления полноты, непрерывности модельно-параметрического пространства.

Таким образом, фактически для разработки эффективных методов представления знаний исследователей и проектировщиков сложных систем необходимо использовать все средства традиционных ЯПЗ. И построенный аппарат должен быть некоторым гибридом известных методов.

ГЛАВА 2. МОДЕЛИ И ПАРАМЕТРЫ – БАЗОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОСТРОЕНИЯ ФОРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ

*Природа не выражает себя свободно,
но говорит, только будучи спрошенной*

Ф. Бэкон

*Создавая модель, исследователь «познает» систему, т.е. выделяет
ее как
объект изучения из окружающей среды и строит ее формальное описа-
ние в соответствии с поставленными целями, задачами и имеющимися воз-
можностями*

В.В. Калашников

2.1. Некоторые исходные ограничения и определения

Данная работа представляет собой продолжение исследований [38]. Авторы работают над проблемами исследований сложных объектов в течение многих лет. Основным предметом их научных интересов ранее являлось изучение взаимодействия сложного изделия (корабля или самолета) с внешней средой и автоматизация процессов исследования и проектирования сложных изделий новой техники. В частности, эти работы нашли воплощение в ряде соответствующих НИР и ОКР.

Формальное изучение любого круга проблем, связанных с созданием или исследованием сложных изделий и процессов, начинается с замены реальных объектов некоторыми, подходящим образом выбираемыми их абстрактными описаниями. Эти описания, идеализации выбираются так, чтобы, с одной стороны, в них были отражены именно те свойства, которые мы хотим исследовать, с другой, был адекватный формальный аппарат, обеспечивающий оперирование построенными абстракциями в интересах проводимых исследований. В предметной области исследований сложных объектов давно определены категории таких абстракций : *параметры и модели* (см., например, [74, 76, 120, 146]).

Для «погружения параметров и моделей в вычислительную среду» с целью их отчуждения и корректного использования в компьютерных технологиях исследований сложных объектов необходимо функционально полно определить характеристики и свойства данных категорий. Решению этих

проблем при создании модельно-параметрической среды исследований и посвящена данная работа.

2.2. Параметры: моделирование свойств исследуемых и проектируемых объектов

Вполне очевидно, что слово «параметр» происходит от слова «метрика» – (греч. *metron* – мера, размер). В теории измерений отмечается, что измеряются всегда свойства, а в теории систем [14] параметром называют *абстрактный образ свойства*. В большинстве случаев объекты обладают практически бесконечным числом свойств, любые из которых можно вполне осмысленно изучать и, как следствие, почти любой объект невозможно изучить полностью. Это означает, что всегда выбирают ограниченное (достаточно малое) число существенных (в контексте конкретного приложения) характеристик. После того, как такое подмножество выявлено, необходимо определить процедуру измерения (наблюдения) для каждого свойства. Таким образом, каждый параметр можно рассматривать как *модель соответствующего свойства*.

На рис. 2.1. категория "параметр" представлена в двух системах "создатель – пользователи" и "вычислительная – формальная – внешняя среды". Параметр представляет собой формальный образ моделируемого свойства. Результат отображения параметра в вычислительную среду мы называем моделью параметра. Как у параметра, так и у его модели всегда есть создатель. Заметим, однако, что часто это могут быть разные специалисты (исследователи, проектировщики, конструкторы новых сложных объектов). Для построения параметра (определения его характеристик) «создатель» использует свои знания о закономерностях моделируемой предметной области. Неявно, можно считать конструкторами параметров алгоритмы, методы, модели и даже программные комплексы. Фактически, однако, эти "интеллектуальные агенты" [8] лишь предъявляют требования к свойствам используемых ими параметров и могут генерировать их значения. Характеристики параметров всегда определяет исследователь с "естественным интеллектом". В этом случае создатель алгоритма, метода, программного модуля. Эту операцию он всегда осуществляет в среде формализации и интерпретации. После построения параметра он может определять его модель в вычислительной среде.

Пользователей значений параметров мы делим на три класса: *исследователи, методы* (алгоритмы, модели) и *программные средства*. Послед-

ние "общаются" с параметрами в вычислительной среде. Заметим, что любой вычислительный модуль имеет отношение к синтезу-анализу моделей, построенных на основе каких-либо методов и/ли алгоритмов, Эти "интеллектуальные агенты" работают с моделями параметров. Исследователи (проектировщики, конструкторы), алгоритмы и модели используют параметры, т.к. работают в среде *формализации* (синтеза моделей) и *интерпретации* (их анализа).

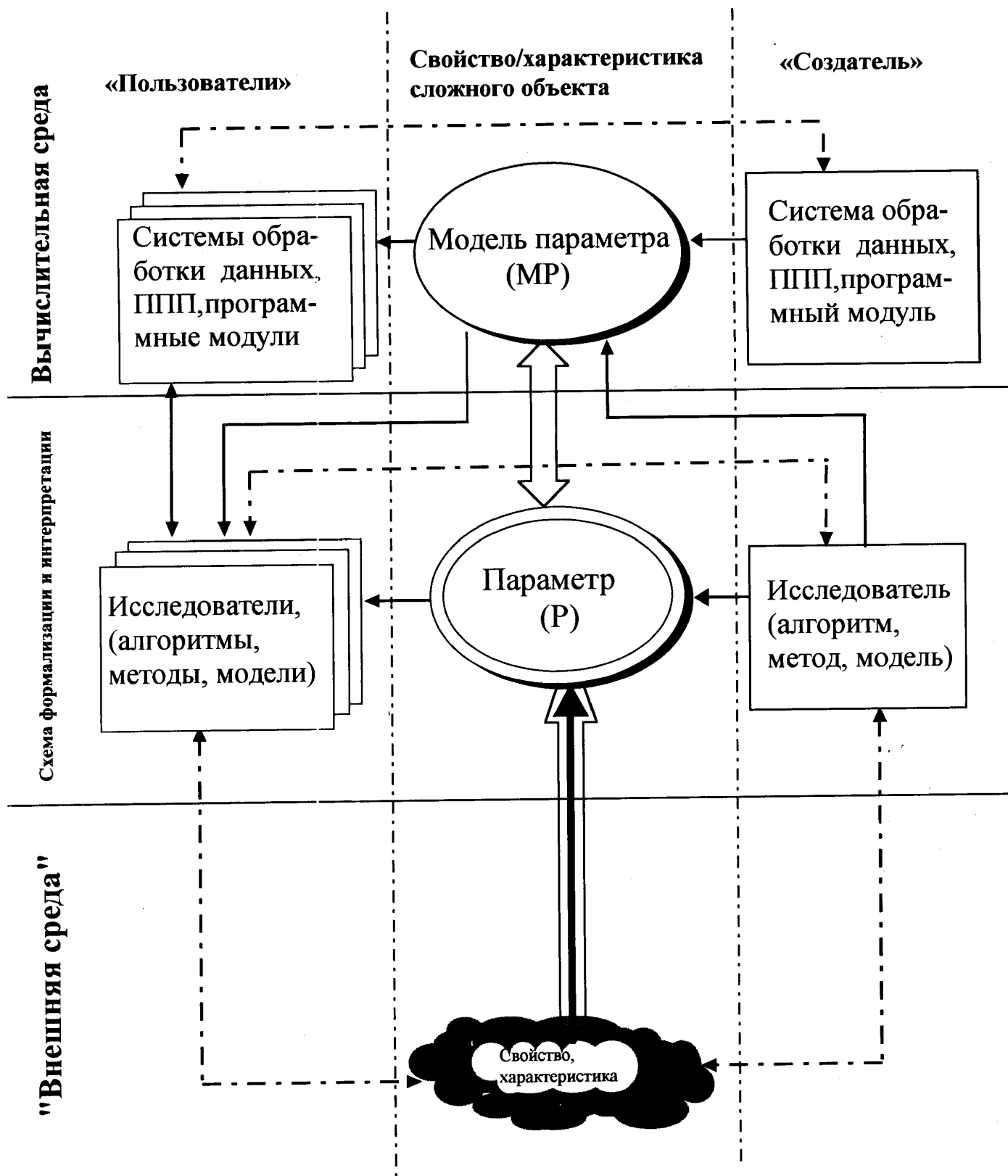


Рис. 2.1. «Параметр» в системах <создатель-пользователь> и <вычислительная-формальная-внешняя среда>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.1. Под параметром P будем понимать формализацию исследуемых свойств/характеристик исследуемого/проектируемого сложного объекта, определенную в форме:

$$P = \langle P_{FR}, P_{MK}, P_{US}, R_{MU} \rangle,$$

где P_{FR} - характеристики формальных свойств параметра;

P_{MK} - характеристики исследователя, осуществившего построение параметра;

P_{US} - характеристики исследователей, использующих параметр, и их точек зрения на него;

R_{MU} - отношения характеристик параметра, определенных его «создателем», и характеристик параметра, введенных его «пользователями».

Рассмотрим подробнее каждую компоненту этого четырехместного отношения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.2. Характеристиками P_{FR} параметра P будем называть отношение:

$$P_{FR} = \langle PI, PS, Dom P, P_M, P_D, P_S, PF, PA, R_{FR} \rangle,$$

где PI - идентификация параметра;

PS - математические свойства шкалы измерения его значений;

$Dom P$ - область допустимых значений;

P_M - единица измерения;

P_D - размерность;

P_S - характеристики источника значений;

PF - формат представления;

PA - точность представления;

R_{FR} - отношения формальных характеристик между собой.

- Здесь, $PI = (P, \{Pid\})$, где P - обозначение параметра, $\{Pid\}$ - множество описаний моделируемых посредством его свойств (краткое, расширенное и т.п. описания - по желанию пользователя), "ключевые слова" моделируемых характеристик сложного изделия, идентификация предметных областей, к которым относятся моделируемые свойства: внешняя среда, мореходность, силовая установка, основные размерения корабля и т.п. Обратим внимание, что сложный объект и среда его функционирования (и,

естественно, их свойства и характеристики) декомпозируется и классифицируется по различным принципам (стратификации, эшелонирования, функциональному, структурному и т.п. [20]), категориям и критериям. Поэтому, $\{Pid\}$ представляет собой сложно структурированное и семантически "насыщенное" множество идентификаторов (спецификаторов) моделируемых посредством P свойств.

- Свойства шкалы измерения значений параметра определяется как четверка:

$$PS = \langle PS_D, PS_M, PS_O, PS_F \rangle,$$

где PS_D - дискретность/непрерывность значений;

PS_M - наличие/отсутствие метрики;

PS_O - упорядоченность значений (полная, частичная, нет);

PS_F - четкость/нечеткость канала получения значения.

Заметим, что в том случае когда значения упорядочены лишь частично, мы получим шкалу в форме решетки [119]. Наличие нечеткости канала приведет к необходимости построения и использования для синтеза/анализа значений параметра функции принадлежности [1].

- *Область допустимых значений* параметра может представлять собой достаточно сложную конструкцию. Определяется $Dom P$ в двух обобщенных форматах: экстенционально и интенционально. В первом случае значения определяются их явным указанием: перечислением, например, "понедельник, вторник, среда". Во втором, - от простых конструкций типа $x \in [a, b]$ до сложных формул, "порождающих" допустимые значения, или вербальных описаний процедур их получения и соответствующих алгоритмов.

- *Единицы измерения* P_M и размерности P_D параметров связаны очевидным образом (см. соответствующие алгоритмы в [12]).

Значения параметров могут быть получены в результате наблюдения (и через другие "рецепторы"), измерения (полученные от различных датчиков и измерительных систем), вычисления (когда в роли генератора значений используются различные модели (формулы, алгоритмы)). Значения параметров также могут вводиться исследователем непосредственно на основании собственных соображений. В качестве источников значений параметров могут использоваться также бумажные (монографии, отчеты и т.п.) и магнитные (дискеты, компакт-диски) носители, сети Internet. В P_S

описываются характеристики источника значений параметра. Состав характеристик определяет "создатель" параметра.

- *Формат представления PF* определяет формат, в котором значения параметра P синтезируются соответствующим датчиком (например, целые числа, вещественные, лингвистические переменные и т.п.).

- *Точность представления PA* имеет смысл для параметров, значения которых синтезируются в числовом формате PA характеризует точность значений ("их зернистость"), ниже которой представление соответствующих свойств теряет смысл. Например, вполне очевидно, что нецелесообразно измерять (или анализировать) высоту волн с точностью до 1 см.

- Заметим, что характеристики PS , $Dom P$, P_m , P_D , PF и PA связаны между собой. Эти отношения фиксируются в R_{FR} .

Определяя R_{FR} "создатель" параметра фиксирует свою точку зрения на его формальные характеристики и отношения с моделируемым свойством.

Информация об исследователе, построившем параметр, отражается в P_{MK} . Здесь хранятся его фамилия, имя, отчество, телефон для связи, специальность, цели создания параметра (для какого метода, модели и т.д.), описание источника характеристик параметра и т.п. (см., например, в [12]).

Пользовательская среда параметра P характеризуется отношением

$$P_{US} = \{P_U, P_{FR}^U\}_{U \in U}$$

где P_U - характеристики пользователя "U";

P_{FR}^U - характеристики параметра с точки зрения пользователя "U";

U - множество всех "пользователей параметра P".

- Так как в роли пользователей могут выступать один из трех обобщенных типов (пользователь, метод (алгоритм) и программный модуль), то для каждого из них формируется свой набор характеристик P_U . Если это программный модуль, то указывается его идентификатор, идентификатор алгоритма, на основе которого он создан, используемый язык программирования, операционная система и т.п. (см., например, [12]). Исследователь имеет те же характеристики, что и "создатель" параметра. "Метод" включает описание источника, специфики реализации и т.д. (см. паспорт метода (алгоритма) в [12]).

- Характеристики P_{FR}^U параметра с точки зрения пользователя включают определенные выше компоненты (см. определение 2):

$$P_{FR}^U = \langle PI^U, PS^U, (Dom P)^U, P_M^U, P_D^U, PF^U, PA^U, PI^U, R_{FR}^U \rangle$$

Так, например, в PI^U для программного модуля указывается идентификатор параметра в принятых форматах (без использования индексов, только буквы латинского алфавита, не более восьми символов). В PF^U для параметра может быть задан такой тип переменной, как булева, двойной точности (с мантиссой) и т.п. В тех случаях, когда пользователем является метод, параметры могут кодироваться "семантически бедными" обозначениями Z, y_1, X_1 и т.п. Естественно, пользователи не могут определять произвольные значения компонента P_{FR}^U для данного параметра. Множества допустимых значений ограничивается P_{FR} . Так $(Dom P)^U \subseteq (Dom P)$, $P_D^U = P_D$ и т.д.

Это обусловлено тем, что определение P_{FR} первично. И, если отношение между P_{FR} и P_{MK} биективно (1:1), то отношение $P_{MK} \leftrightarrow P_{US}$ (и, как следствие $P_{FR} \leftrightarrow P_{FR}^U$) - 1 : N; т.е. характеристики параметра P определяются одним исследователем, а используются они (с некоторой вариацией, определяемой в P_{FR}^U) многими. Все эти отношения фиксируются в R_{MU} .

Заметим, что в качестве пользователей могут выступать и "обобщенные потребители": пакеты прикладных программ, методики, лаборатории, институты, ведомства. Так, например, "обобщенными пользователями высокого уровня" является "Судпром" или "ВМФ", в которых приняты свои стандарты на систему обозначений параметров.

Теперь, на основе параметра P построим его модель, которая "обслуживается" вычислительной средой.

Как обычно [13], в модели параметра выделяются декларативная и процедурная компоненты. Декларативной компонентой модели являются характеристики $P = \langle P_{FR}, P_{MK}, \{P_{US}\}, R_{MU} \rangle$, определенные выше. Процедурная компонента F_P представляет собой систему механизмов синтеза и анализа характеристик параметров.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.3. Системой F_P генерации и исследования значений характеристик параметров будем называть $F_P = \langle f_{AP}, f_{SP} \rangle$, где f_{AP} - система операций анализа значений характеристик параметров; f_{SP} - система операций синтеза значений характеристик параметров.

На основании изложенного в информационной среде ИП сложных изделий можно выделить следующие классы интеллектуальных агентов [8]:

- рабочие места (*WORK BENCH - WB*) исследователей;
- облики (*IMAGE - I*) и субоблики сложных объектов;
- методики (*MM*) вычисления обобщенных и агрегированных показателей и характеристик функционирования и структуры сложного изделия;
- локальные модели (*M*), синтезируемые и анализируемые в процессе ИП.

Далее эти компоненты ИТ ИП будут определены формально.

Для каждого из этих интеллектуальных агентов строится параметрический базис. И все базисы должны быть непротиворечивы "внутренне" и "между собой". В данном случае под непротиворечивостью мы понимаем однозначную идентификацию каждого свойства или характеристики, независимо от "точек зрения интеллектуальных агентов" или исследователей, т.е. синонимия, омонимия, полисемия допускается на уровнях рабочих мест и т.п., но должен быть создан единый каталог характеристик параметров ("высшего уровня"), в котором интегрированы все точки зрения. Синтез таких обобщенных представлений осуществляется на основе (и после) анализа и определения корреляции (выявления общего и различного) значений характеристик параметров, введенных разными пользователями.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.4. Системой f_{AP} операций анализа значений характеристик параметров будем считать $f_{AP} = \langle \varphi_{AP}, \varphi_{RP} \rangle$, где φ_{AP} - система процедур распознавания свойств, моделируемых посредством параметра P ; φ_{RP} - система процедур исследования отношений между различными параметрами.

Исходными данными для любой процедуры из f_{AP} являются подмножества:

$$\bigcup_{i \in IA} P_i \quad \text{или} \quad \bigcap_{i \in IA} P_i, \quad IA \in \{WB, I, MM, M\},$$

Результатом совместного анализа P_i являются обобщенные характеристики вектора-отношения P_{FR} .

Система процедур φ_{RP} обеспечивает выявление общих и различных значений характеристик обобщаемых (совместно анализируемых) параметров.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.5. Системой f_{SP} операций синтеза значений характеристик параметров будем считать: $f_{SP} = \langle \varphi_{CP}, \varphi_{KP}, \varphi_{SP} \rangle$, где: φ_{CP} - система конверторов характеристик параметров; φ_{KP} - система процедур

классификации параметров; Φ_{SP} - система процедур синтеза значений характеристик параметров.

Система Φ_{SP} предназначена для преобразований значений различных характеристик. Например, моделирование "непрерывных шкал" дискретными, "покрытие" дискретных - непрерывными, переход от одних единиц измерения к другим и т.п. [12].

Посредством Φ_{KP} строятся системы $\{Pid\}$ для различных параметров в автоматическом и автоматизированном режимах. Заметим, что приведение системы обозначений $\{Pid\}$ к единому базису нетривиально. Например, для двух параметров P_1 и P_2 в общем случае возможны следующие ситуации:

- (1) $\{Pid_1\} \cap \{Pid_2\} = \emptyset$;
- (2) $\{Pid_1\} - \{Pid_2\} \neq \emptyset$ и $\{Pid_2\} - \{Pid_1\} \neq \emptyset$;
- (3) $\{Pid_1\} \subset \{Pid_2\}$;
- (4) $\{Pid_1\} = \{Pid_2\}$.

В первом случае параметры различны. Во втором - пересечение объемов моделируемых свойств входит и в P_1 и в P_2 . В этом случае, по-видимому, целесообразно рассмотреть возможность введения нового параметра: P_3 : ($\{Pid_3\} = \{Pid_1\} \cap \{Pid_2\}$). В третьем случае первый параметр моделирует часть свойства P_2 . Быть может правомерно ввести P_3 : ($\{Pid_3\} = \{Pid_2\} \cap \{Pid_1\}$). В четвертом случае P_1 и P_2 моделируют одно и то же свойство.

С помощью системы процедур Φ_{SP} строятся параметрические базисы для различных интеллектуальных агентов: локальных моделей, методик, рабочих мест. Специальные процедуры этой системы поддерживают наследования значений характеристик параметров "по-вертикали" и "по-горизонтали" [12] и целостность и непротиворечивость всего параметрического пространства исследуемых процессов и объектов сложного изделия.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.6. Моделью параметра будем называть отношение: $M_P = (P, F_P)$, где P - параметр моделируемого свойства или характеристики; F_P - система процедур синтеза/анализа значений характеристик параметра.

Таким образом, модель параметра M_P (см. рис. 2.1.) поддерживается в вычислительной среде с помощью процедур F_P .

В дальнейшем мы будем рассматривать, в основном, параметры.

2.3. Модели: формализация отношений в исследуемых системах

Детально мотивация определения модели рассматривается в [40]. Поэтому здесь приведем эти определения без обоснования и сразу перейдем к анализу свойств и характеристик этой категории.

Можно для модели построить графическую схему, аналогичную диаграмме, изображенной на рис. 2.1. для параметра. Только в нижней части такого рисунка необходимо представить отношение между свойствами.

С точки зрения авторов, любая модель отражает отношение между параметрами.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.7. Моделью M будем называть любое отношение между параметрами (свойствами, характеристиками) сложного изделия, представляющее интерес с точки зрения исследований.

Таким образом, любая модель формально это:

$$M_j : R(P_{1j}, P_{2j}, \dots, P_{ij}), \text{ где:}$$

j - индекс (идентификатор) модели;

P_{ij} - i -тый параметр j -той модели;

R - отношение между параметрами.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.8. Текстом M_t модели M будем называть формальную запись отношения, отображаемого в модели.

Таким образом, текст модели - это ее знаковое выражение.

Представляется вполне правомерным определить и категорию ее контекста. И к этому аспекту понятия модели целесообразно отнести мотивировку ее корректности, описание постановки задачи, используемого формального аппарата и прочие аспекты, которые не нашли свое отражение в тексте модели, но необходимы для адекватной ее интерпретации.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.9. Контекстом M_k модели M будем называть формализованные условия адекватности модели моделируемому объекту.

Обоснование целесообразности использования лингвистических терминов *текст* и *контекст* по отношению к формальной категории *модель* изложено в [7].

В большинстве случаев объекты обладают практически бесконечным числом свойств, любые из которых можно вполне осмысленно изучать и, как следствие, почти любой объект невозможно изучить полностью. Это означает, что необходимо отобрать ограниченное (и обычно довольно малое) число характеристик наилучшим образом описывающих данный объект (агрегат) как явление.

Поэтому, независимо от уровня исследования сложного изделия (или процесса) пользователь всегда определяет какие свойства он исследует - *V-параметры* (variable), а какие предполагаются фиксированными - *C-параметры* (constant). При этом определяются области допустимых значений всех параметров, дискретность, точность их измерения, шкалы и т.п. Таким образом явно и неявно определяется некоторый универсум данного класса исследований; *это изучается, это не изучается*. Относительно тех аспектов, которые не изучаются можно заметить, что они, во-первых, не входят в модели - в качестве параметров; во-вторых, могут быть либо постоянны (*C-параметры*) в рамках данных исследований, либо вообще не влияют на изучаемые свойства. Вполне понятно стремление исследователей к образованию некоторой "замкнутости" своих работ. Во-первых, это позволяет быть более последовательным, рассматривать лишь, те сущности, которые имеют прямое отношение к предмету исследований, во-вторых, мотивировать ограничение множества исследуемых свойств (вспомним принцип "лезвия Оккама").

Заметим, что *C-параметры*, представляя фиксированные аспекты модели, часто выступают в роли неявного ее контекста.

Далее *V-параметры* целесообразно разделить на "целевые" (goal) *G-параметры*, ради исследования которых и строилась модель, и переменные (соответственно - независимые, "исходные" - source) *S-параметры*. Варьируя значения *S-параметров* исследователь анализирует значения *G-параметров*.

Таким образом, в контексте модели необходимо отразить: области допустимых значений параметров, в рамках которых модель адекватна моделируемому объекту; точку зрения модели на ее параметры; характеристики "создателя модели"; класс, тип, статус модели; допустимые операции над текстом модели; "точки зрения на модель ее пользователей"; отношения модели ее с денотатом и концептом [6].

Все эти характеристики можно интерпретировать как параметры модели (ее контекста). И тогда становится очевидным, что "полный" контекст модели формализуется в виде областей допустимых значений параметров, при которых данная модель адекватна исследуемому процессу, явлению, объекту (денотату).

Теперь рассмотрим конструкцию модели в вычислительной среде. Как обычно, будем выделять декларативную и процедурную компоненты. К последним будем относить систему $\Psi = \{\Psi_i\}, i=\overline{1,6}$. Трактовка этих процедур

дана в [6]. Заметим, что, в принципе все системы Ψ_i могут в частных случаях быть и не реализованы. Но без системы Ψ_3 модели в вычислительной среде не существует. Именно с помощью операций Ψ_3 осуществляется отображение значений S -параметров в значения G -параметров.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.10. Под конструкцией модели в вычислительной среде будем понимать отношение $M_M = (M_T, M_K, M_{MK}, M_{US}, \Psi)$,

где $M_T : R(P_1, P_2, \dots, P_n)$ - текст модели;

M_K - контекст модели;

M_{MK} - характеристики "конструктора и источника" модели;

M_{US} - характеристики "пользовательской среды" модели;

$\Psi = \{\Psi_i\}, i=\overline{1,6}$. - система процедур вычисления значений параметров в модели, трансформации текста модели, формализации концепта и интерпретации модели, синтеза и анализа концепта и денотата.

Рассмотрим детальнее компоненты M_K, M_{MK} , и M_{US} .

- Контекст модели M_K представляет собой отношение:

$$M_K = (M_I, M_P, \text{Dom } M, M_C, M_D) ,$$

где M_I - система идентификации модели;

M_P - характеристики параметров модели;

$\text{Dom } M$ - область допустимых значений модели;

M_C - концепт модели;

M_D - денотат модели.

- Здесь $M_I = (\mu, \{Mid\})$ включает обозначение модели M (которое вводит "создатель" модели) и систему идентификаторов: краткое описание назначения модели, общее описание моделируемого объекта и т.п.

Заметим, что идентификация моделей относится, фактически, к концепту, а область определения ее - к денотату. Но ввиду важности этих компонент, нам представляется целесообразным "вывести их на уровень общих категорий контекста".

- Характеристики параметров в моделях M_P содержат разбиение параметров на подмножества S -, G - и C -параметров. Обозначим их, соответственно, P^S, P^G, P^C . Введем множество V -параметров P^V . Вполне очевидно, что для каждой модели:

$$P^S \cup P^G = P^V, P^S \cap P^G = \emptyset, P^S \cap P^C = \emptyset, M_T : R(P_1, P_2, \dots, P_n) \Rightarrow P^V = \{P_i\}, i=\overline{1,n}$$

Заметим, что в Ψ -процедурах широко используются P_{FR} - характеристики всех классов параметров. И если V -параметры входят в текст R модели M явно, то S -параметры (неявный контекст) должны вводиться "создателем" или "пользователем". При этом, хотя S -параметры фиксируют неявный контекст, они не обязательно являются константами: например для закона Ньютона $F = ma$, $V \ll 3 * 10^5$ км /сек

Относительно области допустимых значений параметров в модели сформулируем принципиальное соображение, которое значительно осложняет реализацию процедур описания **Dom M** и их использования.

УТВЕРЖДЕНИЕ 2.1. Область допустимых значений параметров в моделях $Dom M$ не мультипликативна относительно доменов параметров $Dom P_i$, где $\{P_i\} i=\overline{1,n}$, если $M_T : R(P_1, P_2, \dots, P_n)$.

В формальной записи: $Dom M = Dom (\prod_{i=\overline{1,n}} P_i) \neq \prod_{i=\overline{1,n}} (Dom P_i)$ а

ЛИШЬ

$$Dom M = Dom (\prod_{i=\overline{1,n}} P_i) \subseteq \prod_{i=\overline{1,n}} (Dom P_i)$$

($Dom P_i$)

• В самом общем случае $Dom P_i$ определяется на решетке. Из утверждения 2.1 следует, что для получения области допустимых значений параметров в модели после операции прямого декартового произведения соответствующих $Dom P_i$ необходимо "удалить" (в общем случае) вектора значений (или точки в параметрическом пространстве), для которых значения несовместимы или в которых модель не адекватна (не корректна или не точна) моделируемому объекту. На рис 2.2. приведена графическая интерпретация неправомерности использования произведения $Dom (\prod_{i=\overline{1,n}} P_i)$ в двухмерном случае.

Концепт модели в M_M представляет собой отношение:

$$M_C = (M_{CT}, M_{CS}, M_{CK}, M_{CF}, M_{CG}, \{M_{CL_i}\}),$$

где: M_{CT} - тип модели;

M_{CS} - статус модели;

M_{CK} - класс модели;

M_{CF} - характеристики формальных аппаратов, используемых при синтезе-анализе модели;

M_{CG} - характеристики целей создания модели;

$\{ M_{SL_i} \}$ - система естественно-языковых описаний характеристик модели, постановки задачи моделирования и содержательной части модели.

Многие концептуальные свойства модели формулируются относительно "интеллектуального агента", использующего модели. В данном случае модель "привязана" к конкретному исследователю; точнее, ее свойства фиксируются с "точки зрения некоторого рабочего места".

- Тип $M_{ст}$ - это уровень апробации модели. Исследователь здесь может определить следующие значения: закон (Гука, Ньютона и т.д.); модель, широко используемая в данной предметной области; модель в стадии исследования; тестируемая модель модель-гипотеза.

- Статус модели включает три характеристики

$$M_{ст} = \langle M_{сд}, M_{са}, M_{сс} \rangle,$$

где $M_{сд}$ - отношение модели к денотату;

$M_{са}$ - статус модели на данном рабочем месте ("аксиома" / "рабочая"),

$M_{сс}$ - статус модели в "исчислении" моделей: "первичная" / "производная".

Под моделями-аксиомами мы понимаем модели, которые, независимо от методов и средств их получения, на данном рабочем месте не анализируются с целью определения степени их адекватности. По сути они выступают в роли "законов". Рабочие модели - это все остальные модели. "Производные модели" - это ППМ (правильно построенные модели), полученные средствами правил-процедур вывода в исчислении моделей [6, 7].

Вполне очевидно, что характеристики $M_{ст}$, $M_{са}$, $M_{сс}$ взаимосвязаны. Так, например, закон ($M_{ст}$) может быть только аксиомой ($M_{са}$) и не может быть производной моделью ($M_{сс}$).

- Под классом модели $M_{ск}$ мы понимаем язык и формат определения текста модели. Как известно [12, 26], в ИП сложных объектов используется до 25 различных формальных аппаратов. Значениями этого атрибута могут быть: табличная модель, алгебраический полином, фрейм-модель, дифференциальное уравнение, вербальная модель, алгоритмическая и т.п.

Класс модели $M_{ск}$ неявно определяет подмножество допустимых алгебраических и логических операций над текстом модели. Однако, при синтезе конкретной модели (фактически на уровне постановки задачи и анализа исходных данных) это подмножество может ограничиваться. Так, например,

аналитический формат определения модели в виде функциональной зависимости $M : P_1 = F(P_2, P_3)$ предполагает возможность осуществления Ψ -операций по обращению функции F ; т.е. построение $M : P_2 = F^{-1}(P_2, P_3)$ и т.п. И такие операции (как мы увидим далее) осуществимы, по крайней мере, на уровне графического анализа. Однако они могут быть неправомерны по отношению к рассматриваемой модели.

- Все эти *ограничения* описываются в M_{CF} . При этом, предполагается два типа описания подмножества операций генерации, трансформации и интерпретации текста модели M_T . Либо определяется базовый формальный аппарат и фиксируются процедуры, которые исключаются из него или дополняются к нему (из других формальных механизмов). Либо подмножество допустимых операций определяются явно.

- *Цели создания модели* фиксируются в M_{CG} . Предполагается, что с помощью этой информации строится и анализируется дерево целей [20] создания сложного (многофункционального) изделия, исследуется его целостность.

- В системе $\{M_{CL_i}\}$ фиксируются текстовые описания специфики синтеза-анализа модели, т.е. те фрагменты концепта M , которые в настоящее время не находят формального отображения. Такие естественно-языковые комментарии часто являются одним из важнейших аспектов корректной интерпретации модели.

- В денотате модели M_D фиксируются формализованные характеристики моделируемого объекта. *Денотат представляет собой отношение трех древовидных структур:*

$$M_D = (M_{Ds}, M_{Do}, M_{Dc}),$$

где: M_{Ds} - моделируемая страта;
 M_{Do} - моделируемая сущность;
 M_{Dc} - уровень моделирования.

В M_{Ds} определяется классификация сложного объекта с позиций стратификации. Так в ИП сложных объектов, как сложной системы обычно выделяют следующие страты [20]: функционально-структурную, оперативно-тактическую и экономическую. Моделируемая страта является первым признаком классификации.

Сущностью называют [20] элемент декомпозиции сложной системы по признаку эшелонирования. Под эшелонированием понимается [20] иерархическая структура сложного изделия.

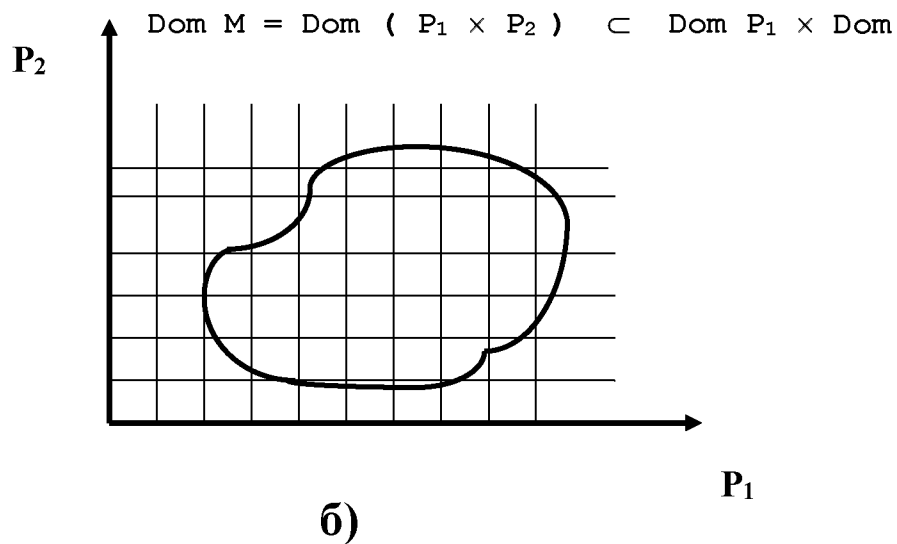
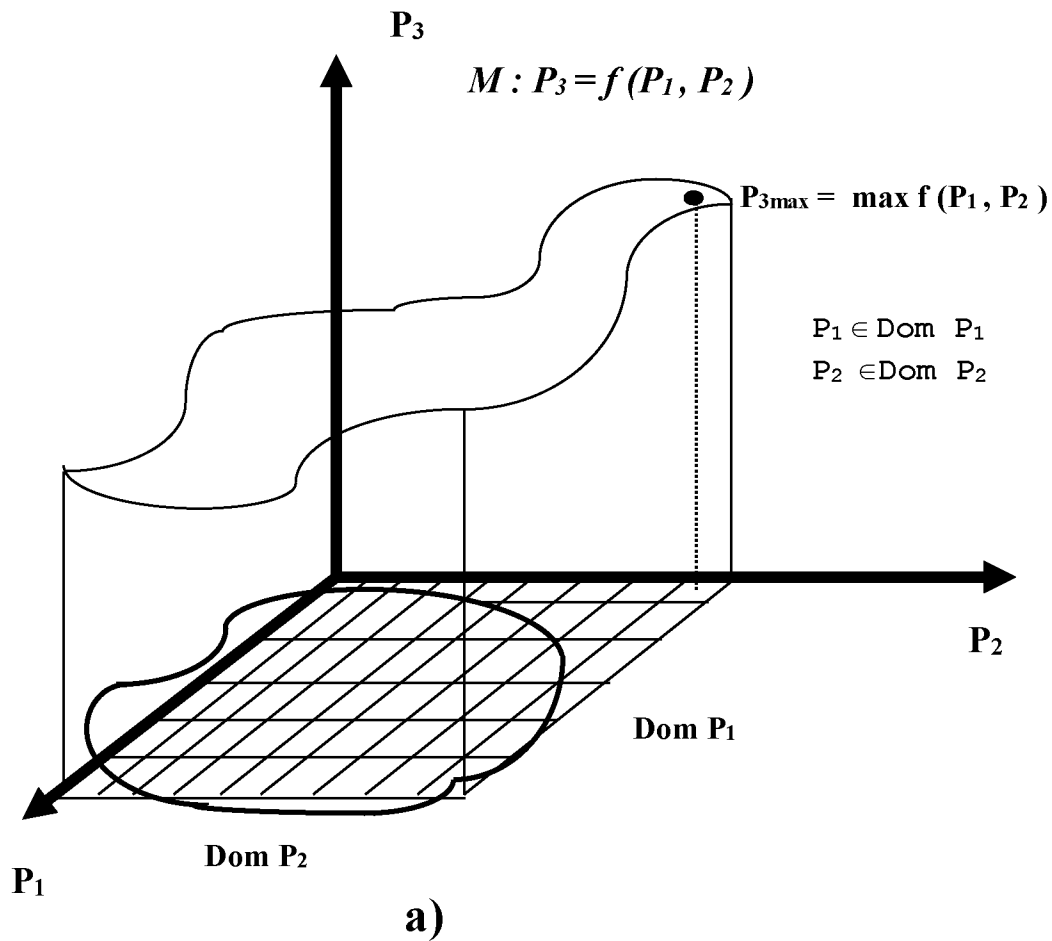


Рис. 2.2. Графическая интерпретация неправомерности использования произведения решеток в моделировании сложных объектов

Так, в этой структуре выделяются отдельные подсистемы (как правило – по функциональным признакам), в подсистемах их элементы и т.д. Зачастую (но, не всегда) подсистемы и элементы подсистем соответствуют определенным физическим объектам. Под сущностью будем понимать нечто (пред-

мет или реального, или "идеального" мира), относительно которого в интересах ИП строятся и анализируются модели.

Примеры сущностей: корабль, подсистема корабля, узел размещения, оперативно-тактическая задача, процесс эксплуатации корабля, качество корабля (качка, живучесть, управляемость и т.д.), дифференциальное уравнение, описывающее какой-либо процесс.

Таким образом, любая MM является моделью определенной сущности. Естественно классификатор M_{Do} является многокритериальным, и строится с использованием отношений трех классов: родовидовых (ISA), "часть-целое" (АКО), ассоциативных [13]. Моделируемая сущность является вторым признаком классификации.

Третий уровень - это уровень моделирования M_{Dc} В [22] рассмотрены различные уровни моделирования сложного объекта на разных этапах его ЖЦ. Здесь лишь заметим, что начальный уровень является наиболее агрегированной ("грубой") моделью. На последующих уровнях модель детализируется и декомпозируется, рассматриваются модели технологии изготовления некоторых агрегатов и т.д.

Следующие компоненты M_M фиксируют среду "создания-использования" модели.

- Атрибут M_{MK} представляет собой четырехместное отношение:

$$M_{MK} = (M_{MKR}, M_{MKI}, M_{MKS}, M_{MKT}) ,$$

где M_{MK} - характеристики "конструктора" (его идентификация, координаты для связи и т.п.). который ввел модель в систему;

M_{MKI} - идентификация "источника модели" (название ППП /монографии/отчета/цепочки вывода (с помощью исчисления)/" собственная модель");

M_{MKS} - описание "источника", например, авторы монографии, издание, страница, или для отчета - организация и т.д.;

M_{MKT} - вектор траектории получения модели (здесь "создатель рассказывает себе и другим" как модель трансформировалась в процессе своего ЖЦ) и чем обусловлены эти модификации.

- Характеристика M_{Us} определяет пользовательскую среду данной модели.

$$M_{Us} = \{M_{UsI}^U, M_T^U, M_K^U\}_{U \in U} ,$$

где U - множество индексов, характеризующих исследователей, использующих данную модель;

M_{USI}^U .- идентификация U -го пользователя модели;

M_T^U - текст модели с его точки зрения;

M_K^U - контекст модели в его представлении.

Назначение и принципы использования каждой характеристики M_{US} представляются очевидными.

ГЛАВА 3. МОДЕЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО: ОПРЕДЕЛЕНИЕ, СТРУКТУРА, СВОЙСТВА

Программная постановка задачи является упражнением в применении абстракции и требует способностей как формального математика, так и компетентного инженера Э. Дейкстра

Проблемы объединения и соорганизации знаний в единую систему (т.е. того, что обычно называют синтезом знаний) являются ключевыми в исследовании природы знаний вообще и теоретических в особенности.

Г. П. Щедровицкий

3.1. Определение $\langle M, P \rangle$ -пространства, его свойства и структура

На основе введенных, исследованных и обоснованных во второй главе и в монографии [50] определений и утверждений представляется целесообразным построить обобщенное пространство моделей, имеющих отношение к проектируемому изделию.

Заметим, в современной математике [20] пространство определяется как множество однородных объектов (предметов, явлений, состояний, переменных и т.п.), между которыми имеются пространственно подобные отношения. Часто слова "однородные" и "пространственно подобные" опускают и определяют пространство как кортеж $(M, A_1, A_2, \dots, A_n)$, где M — некоторое множество, а A_1, A_2, \dots, A_n — отношения между его элементами. Иногда о пространстве говорят как о множестве M , между элементами которого подразумеваются некоторые отношения.

Поскольку все операции и процессы исследований сложных систем осуществляются на уровне моделей и параметров, то такое пространство правомерно называть модельно-параметрическим. Обозначать и называть его далее будем $\langle M, P \rangle$ -пространством.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.1. *Под модельно-параметрическим пространством будем понимать множество всех моделей, параметров, отношений между ними, характеризующих свойства (проектируемого и/или исследуемого) объекта.*

Вполне очевидно, что это пространство не является непрерывным.

Во-первых, ввиду дискретности природы множества (идентификаторов) параметров и моделей.

Во-вторых, из-за отсутствия требования непрерывности областей допустимых значений параметров. Но так как некоторые "фрагменты" этого пространства являются непрерывными (например, модели, определенные на "непрерывных доменах") и это свойство используется, в частности, в теоретических исследованиях, то можно было бы назвать $\langle M, P \rangle$ -пространство дискретно-непрерывным.

Топологичность его, в смысле Бурбаки [20] мы не будем исследовать. Однако этот термин будем использовать при анализе его анатомии, понимая под топологией $\langle M, P \rangle$ -пространства его структурные свойства.

С нашей точки зрения наиболее подходящими аппаратами для описания и исследования структуры $\langle M, P \rangle$ -пространства является теория графов [140] и семантических сетей [26, 90]. Элементами (атомарными составляющими) $\langle M, P \rangle$ являются: модели (множество M), параметры (множество P) и отношения между ними, т.е. $M = \{M_j\}$, $j \in J$, $P = \{P_i\}$, $i \in I$, где множества индексов I и J определяются рассматриваемыми в каждом конкретном случае объектами, явно и неявно определяя их как целостные структуры. К объектам мы относим различные агрегаты, узлы, функциональные подсистемы, компоненты проектируемого сложного изделия, его в целом и систему, описывающую его поведение и функционирование во внешней среде. При этом в индексах i, l, j, J мы фактически кодируем многочисленные характеристики знаков, денотатов и концептов параметров и моделей [50]. С их помощью мы далее будем иметь возможность выделять те или иные классы отношений между M и P , по сути определяя те или иные подпространства: например, связь по обозначениям (и тогда мы получаем вычислительную сеть в смысле системы ПРИЗ [158]), отношения по доменам M и P , по математическим свойствам M и P , по структурам сложных объектов и т.д. Поэтому $\langle M, P \rangle$ -пространство является "многослойным" (или многоуровневым). И, тогда $\langle M, P \rangle$ - это кортеж $(M, P, A_1, A_2, \dots, A_n)$, где A_i ($i \in [1, n]$) - отношения между M и P . В отличие от классических пространств [20] в $\langle M, P \rangle$ -пространстве внимание акцентируется не на различных A_i , а на отношениях между различными M_j , P_i . И наличие в атомарных элементах двух типов компонент приводит $\langle M, P \rangle$ к существенной неоднородности, что порождает ряд соответствующих специальных свойств $\langle M, P \rangle$ -пространства.

Таким образом, в самом общем случае $\langle M, P \rangle$ -пространство определяется на множестве прямого декартового произведения множеств M и P , т.е. $\langle M, P \rangle \subseteq M \times P$.

Поэтому структура $\langle M, P \rangle$ – частный случай и графа, и семантической сети.

Чаще в теории графов рассматривают “более однородные” структуры (вершины и дуги), а в семантических сетях, “менее однородные”: почти каждая вершина нагружена конкретной семантикой.

Здесь и далее при демонстрации аналогии с теорией графов будет использоваться терминология, принятая в [140].

Квадратом множества X называется декартово произведение двух равных между собой множеств: $X \times X = X^2$. Бинарным отношением T в множестве X называется подмножество его квадрата: $T \subseteq X^2$. Говорят, элементы X_i и X_j находятся в отношении T , если $(X_i, X_j) \in T$. Совокупность множества X с заданным в нем бинарным отношением $T \subseteq X^2$ называется графом G : $G = \langle X, T \rangle$, где X – носитель графа (множество вершин); T – сигнатура графа (множество дуг).

Дугам-отношениям между моделями и параметрами мы, в зависимости от контекста рассмотрения, будем приписывать различный смысл. Но, по умолчанию, предполагается, что стрелка, направленная от параметра к модели, означает, что данный параметр является независимым (аргументом) в данной модели, а стрелка, направленная от модели к параметру, соответствует зависимости параметра от модели и в данной модели является функцией, в частном случае – наличия функциональной зависимости (ФЗ). Таким образом $\langle M, P \rangle$ -пространство представимо в форме ориентированного графа, вершины которого соответствуют моделям и параметрам, а дуги – отношениям между ними.

Такая структура является частным случаем объектов, которые в теории графов называют биграфами или двудольными графами.

Вспомним [140]: *Двудольный граф* или *биграф* – это математический термин теории графов, обозначающий граф, множество вершин которого можно разбить на две части таким образом, что каждое ребро графа соединяет какую-то вершину из одной части с какой-то вершиной другой части, то есть не существует ребра, соединяющего две вершины из одной и той же части. $M \cap P = \emptyset$ (заметим, только в том случае, когда M и P – элементы орграфа $\langle M, P \rangle$) и не существует ребер соединяющих вершины од-

ного и того же множества. Но и разделение на M и P достаточно условно, т.к. любая модель строится на параметрах, а параметры (формальные свойства объектов) выделяются также в значительной мере искусственно.

Однако, $\langle M, P \rangle$ -пространство представляется в форме ориентированного графа. Далее, мы иногда будем «направленность» в $\langle M, P \rangle$ и, тогда, целесообразно говорить биграфе $\langle M, P \rangle$.

Докажем фундаментальные для анализа структуры $\langle M, P \rangle$ утверждения. Но сначала введем, интуитивно ясное определение “непосредственной (прямой) связи”.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.2. Под непосредственной (прямой) связью между элементами $\langle M, P \rangle$ -пространства будем понимать такое отношение между ними, когда они связаны какой-либо дугой орграфа $\langle M, P \rangle$.

В теории графов такие элементы (вершины) называются инцидентными соответствующей дуге (ребру). На основе этих отношений строят матрицу инцидентности, строки которой соответствуют вершинам, а столбцы – ребрам. В случае орграфа элементами этой матрицы являются:

1 – если соответствующая дуга исходит из вершины;

-1 – если дуга входит;

0 – если дуга не инцидентна вершине.

Граф можно также представить матрицей смежности. Строки и столбцы этой матрицы соответствуют вершинам графа, а ее элемент равен числу ребер, связывающих эти вершины. Эта матрица для орграфа несимметрична.

В теории графов элементы связанные непосредственно называют смежными.

УТВЕРЖДЕНИЕ 3.1. Параметры $\langle M, P \rangle$ -пространства не могут быть связаны непосредственно.

Выделим во множестве моделей специальные классы моделей, которые часто неявно используются в исследовательском проектировании, но которые являются базовыми для многих семантических сетей, описывающих базы знаний посредством методов искусственного интеллекта. Это АКО-модели и ISA-модели. Первые моделируют отношения агрегирования свойств, вторые – обобщения. Заметим, что в исследованиях и проектировании сложных систем для этих обоих классов моделей могут существовать и аналитические представления. Тогда как в искусственно интеллекте они часто имеют эвристический характер.

Именно последний случай в исследовательском проектировании и считают непосредственной связью параметров, например, при построении раз-

личных классификаторов параметров. Другим ярким примером является отношение между доменами для одного параметра. Пусть: $p_1 \in [a, b]$; $p_2 \in [b, c]$; $p_3 \in [a, c]$, где $0 < a < b < c$ и $p_1 \in P_1$, $p_2 \in P_2$, $p_3 \in P_3$. Тогда считают, что p_3 непосредственно связан с p_1 и p_2 . Но это, в нашей трактовке - отношение обобщения. Иначе, свойство мореходности (P_1) характеризуется качкой (P_2), прочностью (P_3), живучестью (P_4) и т.д. Но P_1 связано с P_2 , P_3 , P_4 АКО-моделью, пусть и не имеющей аналитического выражения.

Утверждение 3.1 доказывается весьма просто. Если какие-либо параметры связаны между собой, то вполне очевидно, что это отношение должно иметь какой-либо причинно-следственный характер, а это есть определение модели (см. главу 2).

УТВЕРЖДЕНИЕ 3.2 ("обратное"). Модели $\langle M, P \rangle$ -пространства не могут быть связаны непосредственно.

Это утверждение обратно по отношению к 3.1 по смыслу. Пусть мы имеем две различные модели M_1 и M_2 . Если предположить, что они моделируют одно и то же свойство, построены на полностью идентичных параметрах, одним и тем же методом и т.п., то возникает вопрос: почему они различны. Вполне очевидно, что для описания их различия необходимо ввести в рассмотрение еще один (а может и не один) параметр, значения которого и будут отражать эти различия.

Заметим, что приведенные рассуждения (особо при интерпретации утверждения 3.1) мотивируют целесообразность исключения из рассмотрения "ненаправленных моделей" (в терминологии Клира [88] - нейтральных систем). Действительно, любая модель предназначена для моделирования каких-либо свойств, характеристик проектируемого изделия, т.е. у нее всегда должны быть входные и выходные параметры. Направленность орграфа и специфика $\langle M, P \rangle$ -пространства приводят к наличию следующих свойств его топологии.

(1) Параметр может не иметь выходящих дуг. В этом случае он не используется в других моделях. Как правило, таким свойством обладают интегральные параметры.

(2) Если он имеет несколько выходящих дуг, то его значения используются в соответствующем числе моделей.

(3) Параметр может не иметь заходящих дуг. В этом случае во всех моделях он используется в качестве независимого и его значения определяются только пользователем или измеряются каким-либо датчиком.

(4) Если он имеет несколько заходящих дуг, то его значения могут быть получены на основе различных моделей. И в этом случае необходимо указывать контекст их использования.

(5) Любая модель должна иметь минимум одну выходящую дугу, соответствующую вычисляемому параметру, иначе в причинно-следственном отношении (тексте модели) отсутствует следствие.

(6) Если модель имеет несколько выходящих дуг, то можно говорить об интегрированной модели, т.к. с ее помощью вычисляется несколько параметров.

(7) Любая модель должна иметь минимум одну заходящую дугу, соответствующую входному параметру. В противном случае в причинно-следственном отношении (тексте модели) отсутствует причина.

(8) Если модель имеет несколько заходящих дуг, то значения выходных параметров вычисляются на основе значений соответствующего числа независимых (входных) параметров (аргументов).

После доказательства утверждений 3.1 и 3.2 мы можем исследовать структуру и свойства $\langle M, P \rangle$ -пространства с различных точек зрения, акцентируя внимание на его разных аспектах.

Так, можно говорить о подпространстве параметров, связанных моделями, или о подпространстве моделей, связанных параметрами. И тогда мы получим взвешенные орграфы $\langle M, P \rangle$. В $\langle M, P \rangle$ -пространстве можно выделить и другие подпространства по различным признакам.

Для этого представляется целесообразным ввести в рассмотрение некоторые структуры большего порядка, чем отдельные элементы $\langle M, P \rangle$ (модели, параметры, их отношения).

Примером таких структур является методика определения различных свойств проектируемого сложного изделия. На рис. 3.1 представлен графический образ фрагмента такой методики для определения значений параметра P_1 на основе значений $P_5, P_9, P_{11}, P_{12}, P_{13}$. Свойства $\langle M, P \rangle$ -структуры класса "методика" рассмотрим ниже. Определим сначала $\langle M, P \rangle$ -окрестность.

3.2. Окрестности в $\langle M, P \rangle$ -пространстве

Слово "окрестность" имеет в обыденной речи такой смысл, что многие свойства, в которых участвует названное тем же именем математическое понятие, выступают как математическое выражение интуитивно ясных

свойств: тем самым выбор этого термина имеет то преимущество, что делает изложение более образным. Для той же цели можно использовать в некоторых утверждениях также выражение "достаточно близкий" и "сколько угодно близкий". Но тогда мы приближаемся к математической трактовке этого термина. Именно так определяется "окрестность" в "непрерывной математике" и топологических пространствах Бурбаки [20]. Структура же $\langle M, P \rangle$ -пространства не является (как уже говорилось) топологической в этом смысле. Однако и здесь наблюдается некоторая аналогия (семантическая связь). Здесь будем рассматривать $\langle M, P \rangle$ -пространство в форме орграфа.

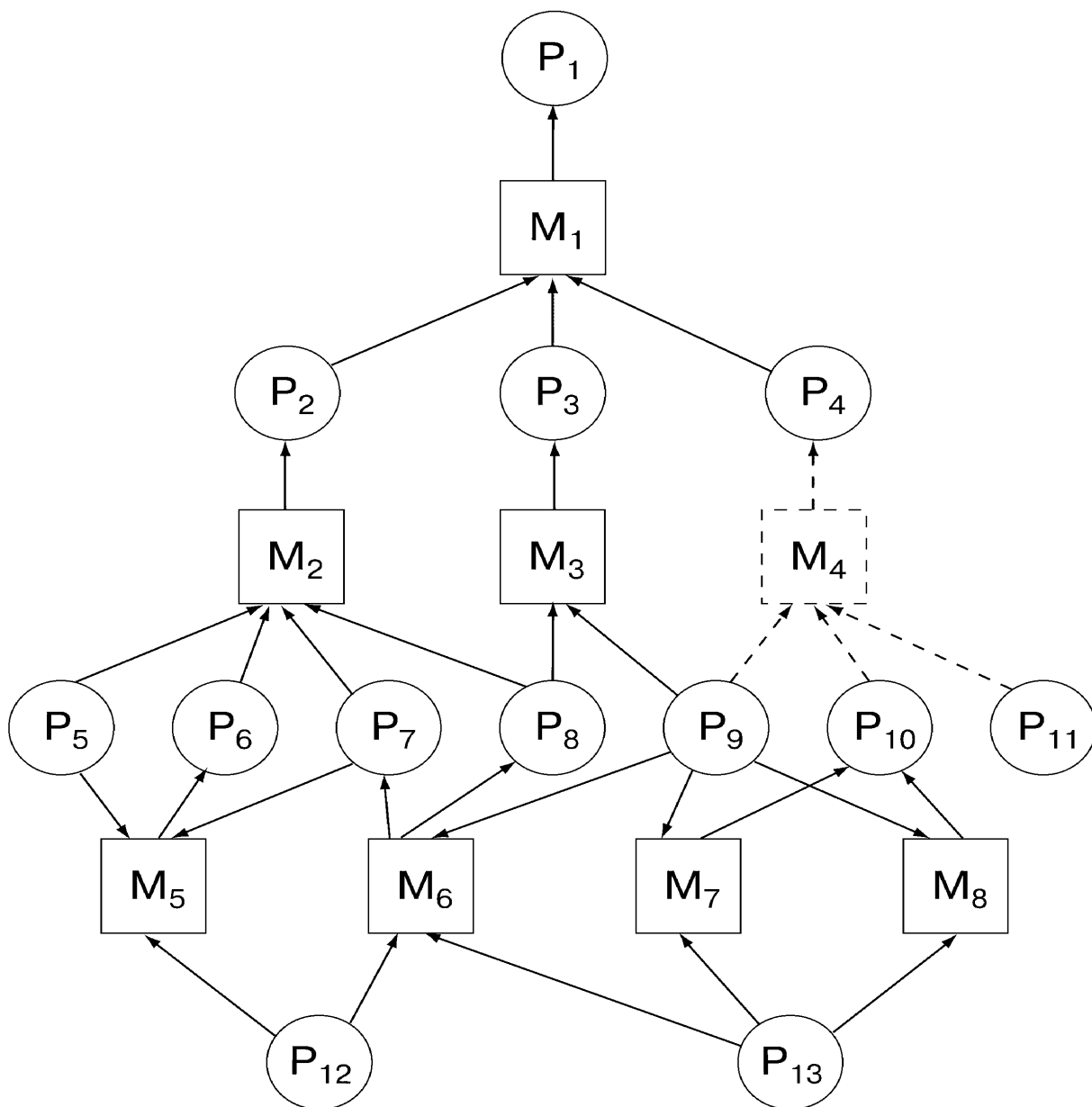
ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.3. Окрестностью $\langle M, P \rangle$ -пространства 1-го порядка относительно модели M_j будем называть множество параметров P_i , непосредственно связанных с моделью M_j .

Обозначать эту окрестность будем $[M_j]_1$.

Все элементы окрестности модели ввиду утверждения 3.2 представляют собой параметры и отделены от M_j путем длиной 1 (в терминологии теории графов [140]). Формально запишем как $P_i \in [M_j]_1$. Введенное определение можно обобщить.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.4. Окрестностью k -го порядка относительно модели M_j будем называть множество всех элементов $\langle M, P \rangle$ -пространства, связанных с M_j путями длиной, меньше или равной " k ".

Формально, соответственно, эта окрестность — $[M_j]_k$.



$$P_1 = F(P_5, P_9, P_{11}, P_{12}, P_{13})$$

Рис. 3.1 Условный пример фрагмента методики определения интегрального показателя

Заметим, в теории графов [140] *окрестностью единичного радиуса* элемента $X_i \in X$ называется множество элементов $X_j \in X$ таких, что $(X_i, X_j) \in T$, $T \subset X^2$. Часто вместо термина "окрестность единичного радиуса" используют термин "сечение". Мы в окрестность первого порядка включаем и элемент X_i . А окрестности большего радиуса в теории графов рассматриваются редко.

Целесообразно ввести интуитивно ясное понятие границы окрестности

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.5. Границей окрестности k -го порядка модели M_j будем называть множество всех элементов $\langle M, P \rangle$ -пространства, связанных с M_j путем, длиной равным " k ".

Указанную границу будем обозначать – как $[M_j]_{(k)}$. В качестве иллюстрации приведенных определений на рис. 3.2 представлен пример $\langle M, P \rangle$ -окрестностей 1-го, 2-го и 3-го порядка относительно модели M_3 (построенный на основе фрагмента методики, изображенной на рис. 3.1).

Заметим, что вообще при изучении структурных свойств $\langle M, P \rangle$ -пространства удобно пользоваться графической интерпретацией.

Пользуясь утверждениями 3.1 и 3.2, легко доказать следующие утверждения.

УТВЕРЖДЕНИЕ 3.3. Границы $\langle M, P \rangle$ -окрестностей четного порядка моделей включают только модели.

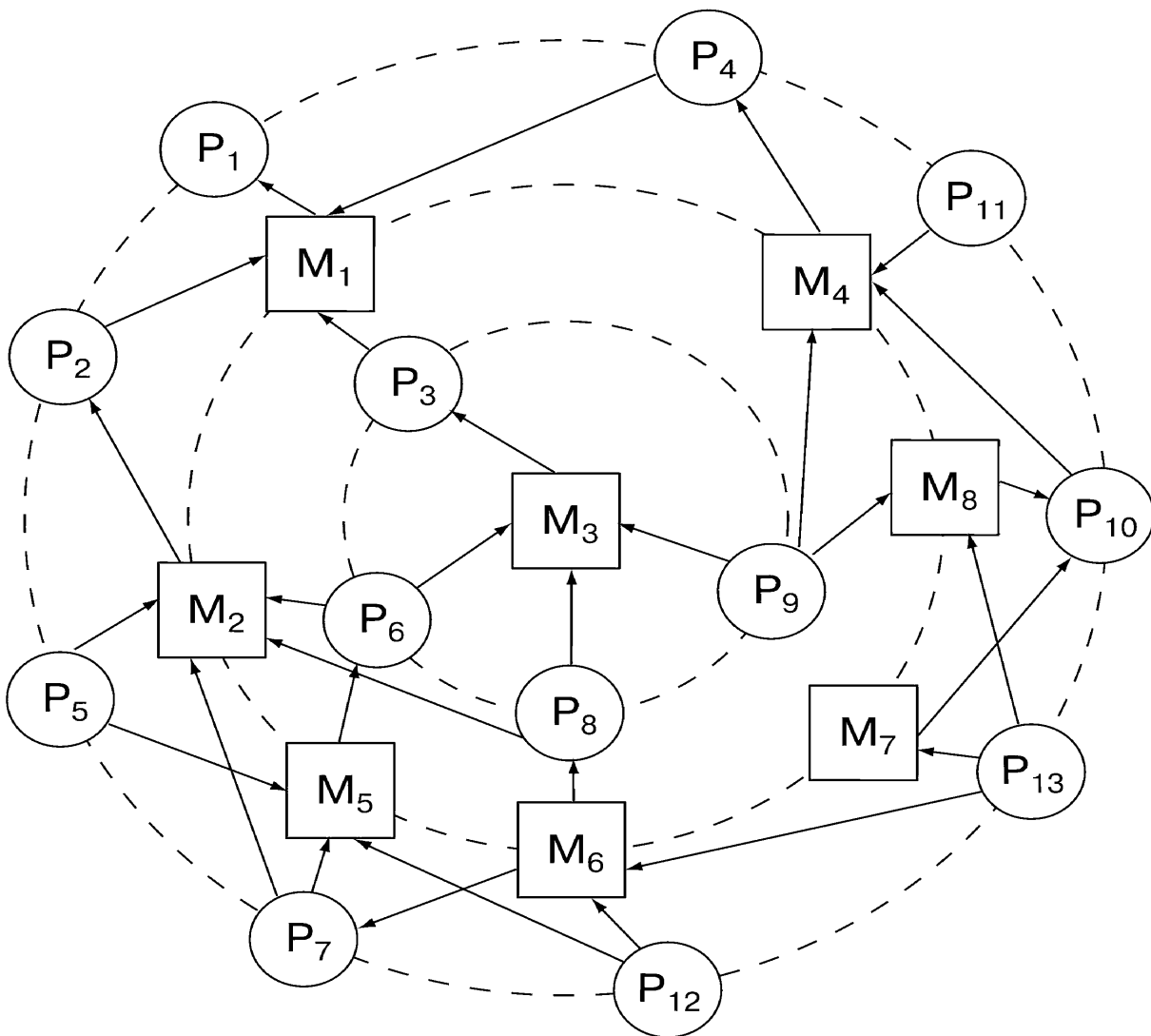


Рис. 3.2. Пример $\langle M, P \rangle$ -окрестностей 1-го, 2-го и 3-го порядка относительно модели M_3

УТВЕРЖДЕНИЕ 3.4. Границы $\langle M, P \rangle$ -окрестностей нечетного порядка моделей включают только параметры.

По аналогии с $\langle M, P \rangle$ -окрестностями моделей введем окрестности параметров.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.6. Окрестностью k -го порядка относительно параметра P_i будем называть множество всех элементов $\langle M, P \rangle$ -пространства, связанных с P_i путями длиной меньше или равным « k ».

Обозначать эту окрестность будем $[P_i]_k$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.7. Границей окрестности k -го порядка параметра P_i будем считать множество всех элементов $\langle M, P \rangle$ -пространства, связанных с P_i путем длиной равным « k ».

Обозначать границу окрестности параметра P_i будем $[P_i]_{(k)}$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.8. Соседними границами $\langle M, P \rangle$ -окрестностей данного элемента будем называть границы k -го и $(k+1)$ -го порядка (где $k=1, 2, \dots$).

Обратим внимание на интересную закономерность, характерную для введенных определений и доказанных утверждений относительно $\langle M, P \rangle$ -окрестностей и являющихся их следствием.

СЛЕДСТВИЕ 3.1. В любых $\langle M, P \rangle$ -окрестностях данного элемента непосредственные связи возможны только между элементами границ соседних порядков.

Таким образом, при построении $\langle M, P \rangle$ -окрестностей на "логическом" уровне ставят в центр внимания какую-либо модель или некоторый параметр. Все остальное $\langle M, P \rangle$ -пространство рассматривается относительно данного элемента, т.е. производится его упорядочивание ("сортировка") по отношению к рассматриваемому параметру или исследуемой модели. Мы говорим о логическом уровне, т.к. на "физическом" (например, в соответствующих отношениях БДиЗ $\langle M, P \rangle$ -пространства) уровне ничего не меняется.

Такое смещение точек зрения в $\langle M, P \rangle$ -пространстве можно сопоставить в экзоцентрическими и изоцентрическими относительными системами отсчетов в пространственных (топологических и метрических) логиках [76]. Аналогия с эгоцентрической системой отсчета уместна, т.к. различные методики расчета параметров разрабатываются конкретными исследователями, проектировщиками, конструкторами. И любую методику, очевидно, можно считать $\langle M, P \rangle$ -окрестностью k -го порядка данного параметра

(где "k" определяется максимальным числом уровней). На рис. 3.1 представлен фрагмент методики в форме $\langle M, P \rangle$ -окрестности параметра P_1 шестого порядка ($k=6$). При этом "длиной методики" можно считать "k" - число уровней (порядок соответствующей окрестности). Может возникнуть мысль, что граница окрестности методики должна включать все независимые (управляемые) параметры, и только их. Однако это не так. Достаточно опровергающего примера - см. параметры P_5, P_9, P_{11} на рис. 3.1. Порядок окрестности методики показывает максимальное "расстояние" моделей или параметров от вычисляемого посредством методики интегрального показателя.

На рис. 3.3 представлен пример $\langle M, P \rangle$ -окрестностей 1-го, 2-го, 3-го, 4-го порядков относительно параметра P_9 , построенный на основе методики, изображенной в форме графического образа на рис. 3.1.

По аналогии с утверждениями 3.3 и 3.4 можно доказать обратные к ним утверждения.

УТВЕРЖДЕНИЕ 3.5. Границы $\langle M, P \rangle$ -окрестностей четного порядка параметров включают только параметры.

УТВЕРЖДЕНИЕ 3.6. Границы $\langle M, P \rangle$ -окрестностей нечетного порядка параметров включают только модели.

Теперь в $\langle M, P \rangle$ -пространстве можно ввести два класса фреймов [101].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.9. Фреймом $\langle M, P \rangle$ -пространства будем называть специальную информационную структуру, отображающую окрестность 1-го порядка относительно соответствующего элемента.

Таким образом, в общем случае, может быть фрейм модели, в качестве слотов включающий все параметры, отраженные в ней, и фрейм параметра, в качестве слотов включающий характеристики моделей, в которые он входит (в форме зависимого или независимого).

И тогда, как обычно [26], семантические сети $\langle M, P \rangle$ -пространства можно строить используя операции алгебры фреймов [52].

3.3. Окрестности в $\langle M, P \rangle$ -пространстве

Теперь введем метрику в $\langle M, P \rangle$ -пространстве.

Но, перед этим нам необходимо граф $\langle M, P \rangle$ сделать ненаправленным. Заметим, что направления в расстояниях не имеют смысла (вспомним шутку: «Длина крокодила от носа до хвоста три метра, а от хвоста до

носа - 3,5»). Поэтому, ориентацию ребер при введении метрики рассматривать не целесообразно. В этом подразделе $\langle M, P \rangle$ -пространство - ненаправленное.

Поскольку $\langle M, P \rangle$ -пространство строится из элементов двух множеств (P и M), то можно измерять расстояние трех классов:

- между моделями;
- между параметрами;
- между параметром и моделью.

Рассмотрим два элемента X и Y в $\langle M, P \rangle$ -пространстве. Построим $\langle M, P \rangle$ -окрестность элемента X такого порядка, что элемент Y будет принадлежать ее границе, т.е. $Y \in [X]_{(k)}$.

Метрикой $d(X, Y)$, будем считать число "k-1", т.е., при таком построении: $d(X, Y) = k-1$, если, и только если, $Y \in [X]_{(k)}$.

Таким образом можно ввести

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.10. Расстоянием между элементами X и Y в $\langle M, P \rangle$ -пространстве будем называть функцию $d(X, Y) = k-1$, где $Y \in [X]_{(k)}$ и $X, Y \in \langle M, P \rangle$.

Можно доказать, при таком определении, все три свойства, которым должна удовлетворять метрика.

(1) $d(X, Y) \geq 0$, причем $d(X, Y) = 0$ тогда, и только тогда, когда $X = Y$.

Вполне очевидно, что $d(X, Y)$ для любых $X, Y \in \langle M, P \rangle$ больше нуля; т.к. $k \geq 1$.

В тех случаях, когда $X = M_i$, а $Y = M_j$ и, в частном случае $X = Y = M_j$, $d(M_j, M_j) = 0$ (по определению).

Если $X = Y = P_i$, то $d(P_i, P_i) = 0$ (так же будет считаться, по определению).

Более сложный случай, когда $X = P_i$, $Y = M_j$.

Вполне логично считать, что если какой-либо параметр входит в некоторую модель, то расстояние между ними равно нулю. Таким образом, в этом случае, т.к. $P_i \in [M_j]_{(1)}$, $d(P_i, M_j) = 0$. И наоборот, если $d(P_i, M_j) = 0$, то $P_i \in [M_j]_{(1)}$.

Или, если $M_j \in [P_i]_{(1)}$, то $d(M_j, P_i) = 0$ и, соответственно, если $d(M_j, P_i) = 0$, то $M_j \in [P_i]_{(1)}$.

Заметим, что легко доказать, что расстояние между параметрами, входящими в одну модель, равно 1, т.к. в этом случае $P_i \in [P_j]_{(2)}$.

(2) $d(X, Y) = d(Y, X)$ – симметричность.

Для доказательства этого свойства необходимо показать справедливость следующих трех утверждений:

а) из того, что $M_i \in [M_j]_{(K)}$ следует что $M_j \in [M_i]_{(K)}$ ($X=M_i, Y=M_j$);

б) если $X=P_i, Y=P_j$, то из $P_i \in [P_j]_{(K)}$ следует $P_j \in [P_i]_{(K)}$;

в) если $P_i \in [M_j]_{(K)}$, то $M_j \in [P_i]_{(K)}$ (в случае $X=P_i, Y=M_j$).

(3) $d(X, Z) \leq d(X, Y) + d(Y, Z)$ – неравенство треугольника.

В тех случаях, когда $X=P_i, Y=P_j, Z=P_k$, это неравенство доказывается довольно легко.

Аналогично показывается справедливость неравенства треугольника для $X=M_i, Y=M_j, Z=M_k$.

Для третьего случая необходимо рассмотреть два варианта:

а) $X=P_i, Y=P_j, Z=M_k$,

б) $X=P_i, Y=M_j, Z=M_k$.

И неравенство треугольника доказывается для обоих вариантов, но из рассмотрения необходимо исключить случаи, когда $d(P_i, M_i) = 0$

Рассмотрим, каким образом определяется метрика в теории графов.

Маршрут длины "m" определяется как последовательность "m" ребер графа таких, что граничные вершины двух соседних ребер совпадают. Маршрут проходит через все вершины, инцидентные входящим в него ребрам.

Цепью называется последовательность ребер (r_1, r_2, \dots, r_n) вида $r_i = (X_i, X_{i+1})$, $i=1, 2, \dots, n$. Таким образом, цепь – маршрут, все ребра которого различны. Вершины X_1 и X_n называются концевыми. Обозначать цепь будем как $l(X_i, X_j)$. Число ребер цепи, соединяющей вершины X_i и X_j , называется ее длиной. Минимальная длина цепи, соединяющей вершины X_i и X_j , называется расстоянием $r(X_i, X_j)$ между вершинами X_i, X_j :

$$r(X_i, X_j) = \min_k l_k(X_i, X_j).$$

Введенная на множестве всех пар вершин (X_i, X_j) графа G функция $r(X_i, X_j)$ определяет его метрику. Действительно, эта функция $r(X_i, X_j)$ удовлетворяет следующим трем аксиомам:

$$\forall X_i, X_j \quad (r(X_i, X_j) = 0 \leftrightarrow X_i = X_j),$$

$$\forall X_i, X_j \quad (r(X_i, X_j) = r(X_j, X_i)),$$

$$\forall X_i, X_j, X_k \quad (r(X_i, X_j) + r(X_j, X_k) \geq r(X_i, X_k)).$$

Вполне очевидно, что при введенном определении расстояния между моделями и параметрами в $\langle M, P \rangle$ -пространстве $d(X, Y) = \min_k l_k(X, Y)$. Для всех трех случаев: $X = P_i, Y = P_j$; $X = M_i, Y = M_j$ и $X = P_i, Y = M_j$.

Кроме этого можно показать, что $d(X, Z) = d(X, Y) + d(Y, Z)$ в том и только том случае, когда $Y \in l(X, Z)$.

Однако, в общем случае $\langle M, P \rangle$ -пространство нельзя считать метрическим, поскольку в нем возможны "фрагментарные образования", не связанные между собой. Тогда не для любых его элементов существует расстояние. Но в этом случае расстояние между соответствующими элементами можно считать бесконечным, т.е. $d(X, Y) = \infty$.

Безусловно такое определение метрики имеет некоторый смысл. Оно в значительной степени аналогично определению семантического расстояния между некоторыми понятиями в лингвистике [104], четко согласуется с определением ядра и оболочки в проблемно-ориентированном моделировании [69].

Заметим, что часто в исследованиях анализируют окрестности в $\langle M, P \rangle$ -пространстве с минимизацией контекста (например, без учета параметра, метод характеризующего синтеза моделей и прочих аспектов неявного контекста), оставляя только параметры, характеризующие модели непосредственно. Вполне естественно, что расстояние между моделями или параметрами при этом увеличивается; т.к. меньше информации их "связывающей", что полностью согласуется, опять таки, с лингвистической трактовкой текстов и контекстов. Последовательное уменьшение учитываемых факторов в пределе может привести к тому, что расстояние между компонентами в $\langle M, P \rangle$ станет бесконечным. Возможна и обратная ситуация: введем, например, параметр, характеризующий проектируемый объект глобально и "припишем" его формально в качестве неявного контекста каждой модели в $\langle M, P \rangle$ -пространстве. Тогда расстояние между любыми моделями будет всегда равно единице.

Можно измерять с помощью введенной метрики расстояния между точками зрения исследователей на проектируемое изделие, между методиками, агрегатами сложного объекта, рабочими местами конструкторов. Обратим внимание и на вполне корректные формулировки: "расстояние данного параметра (свойства) до такой-то модели составляет 3 модели (или 5 параметров)" или "между этими моделями находится пять моделей" и т. д. Интересно измерять таким образом расстояние между моделируемыми свойст-

вами. Можно ввести *понятие соседних моделей*. Но можно, как мы убедимся ниже, определять семантическую близость моделей (и параметров) более тонко.

Естественно стремление исследователей максимально интегрировать свои точки зрения на проектируемое изделие. В этом отношении интересен вывод, который легко доказывается.

УТВЕРЖДЕНИЕ 3.7. Введение новой модели в $\langle M, P \rangle$ -пространство по крайней мере не увеличивает расстояние между параметрами.

3.4. Операции над $\langle M, P \rangle$ -окрестностями

Теперь рассмотрим теоретико-множественные операции пересечения и объединения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей в $\langle M, P \rangle$ -пространстве.

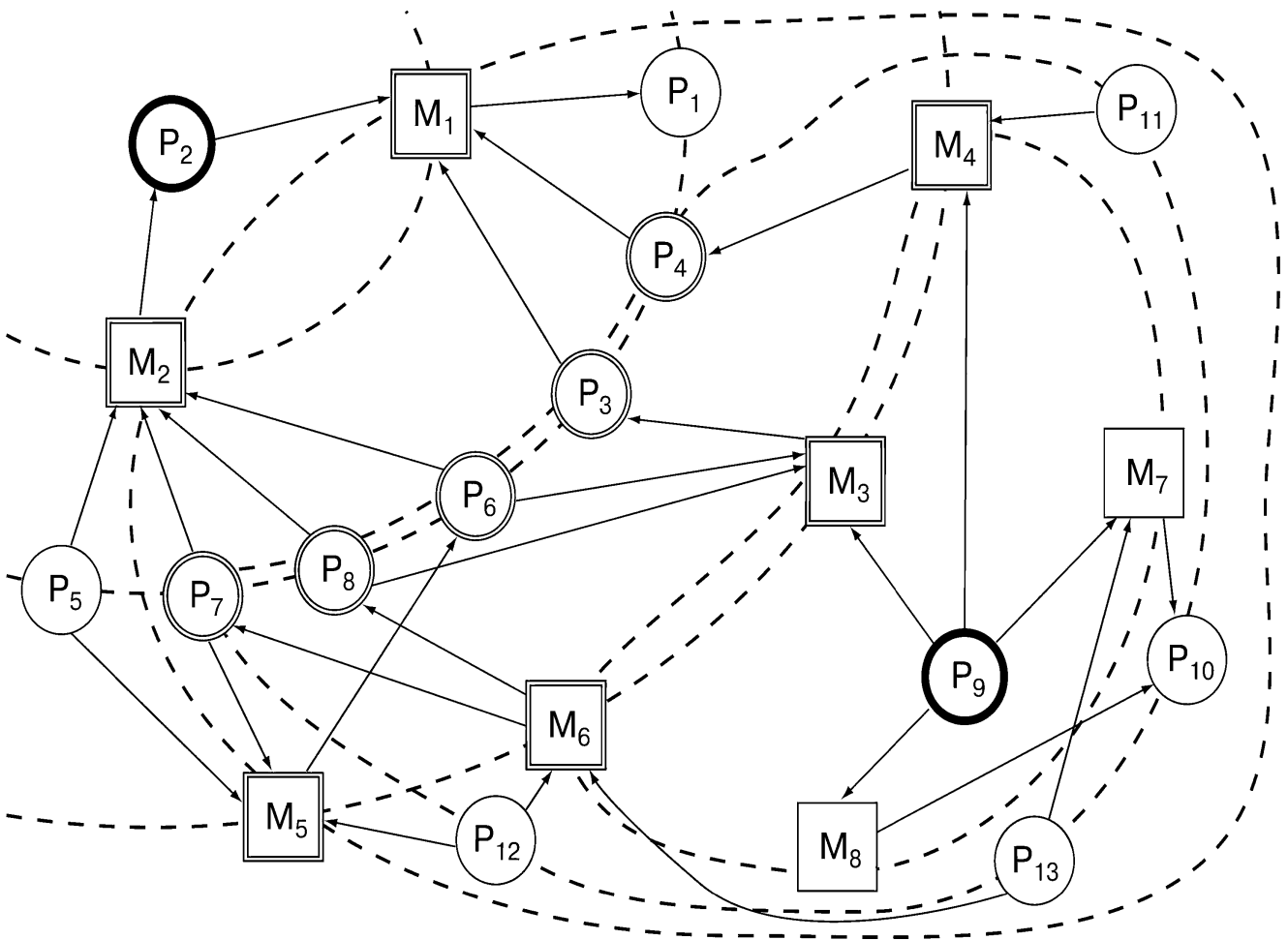
ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.11. Пересечением окрестностей элементов $\langle M, P \rangle$ -пространства будем называть элементы, принадлежащие каждой из окрестностей.

Примеры пересечений $\langle M, P \rangle$ -окрестностей представлены на рис. 3.3 - 3.5.

Пересечение $\langle M, P \rangle$ -окрестностей 3-го порядка параметров P_2 и P_9 (построенное на основе методики - см. рис. 3.1) в формальном виде можно записать как

$$[P_2] \cap [P_9] = \{P_3, P_4, P_6, P_7, M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6\}$$

Из этого примера можно сделать вывод о том, что результат пересечения окрестностей не является окрестностью. Такая неомогенность $\langle M, P \rangle$ -пространства обусловлена его неоднородностью. И в следствии этого мы, во-первых, не можем говорить о его топологичности в смысле Бурбаки и, во-вторых, можем строить на нем решетки только достаточно искусственными способами.



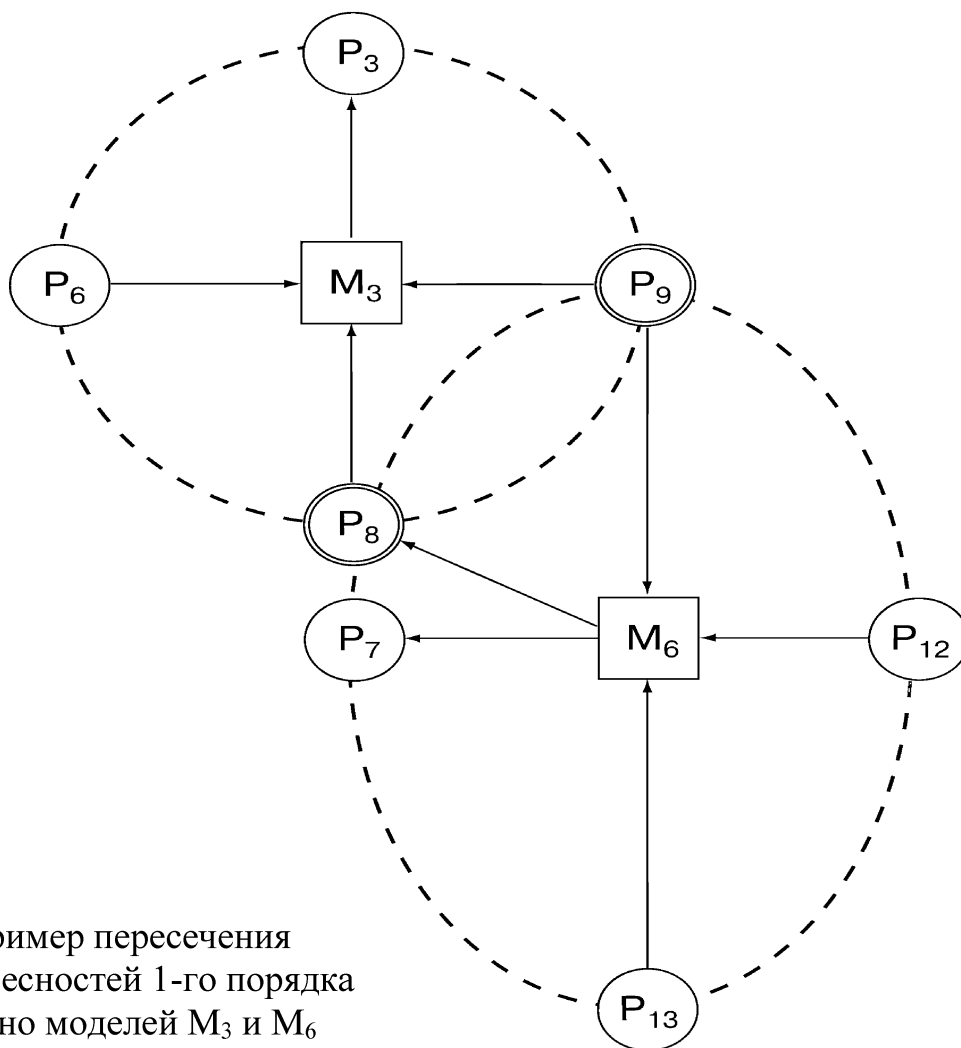


Рис. 3.4. Пример пересечения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей 1-го порядка относительно моделей M_3 и M_6

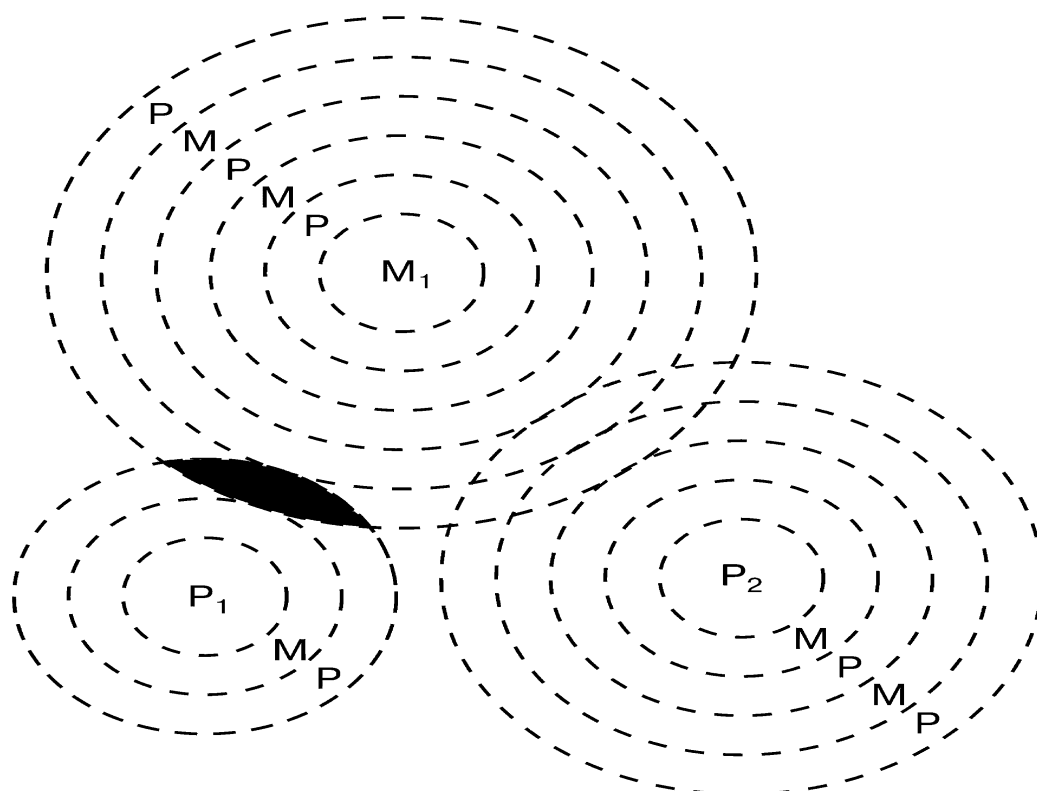


Рис. 3.5. Пример пересечения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей 3-го порядка P_1 , 5-го порядка P_2 и 6-го порядка M_1 .

Кроме этого некоторые параметры входят в пересечение полностью (со всеми "своими" моделями). Это — P_3, P_4, P_6, P_7, P_8 . А "полной" модели в данном примере пересечения нет ни одной.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.12. Полным вхождением параметра в $\langle M, P \rangle$ -окрестность будем называть такую ситуацию, при которой окрестность содержит все модели, с которыми он связан.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.13. Полным вхождением модели в $\langle M, P \rangle$ -окрестность будем называть такую ситуацию, при которой окрестность содержит все параметры, с которыми модель связана.

Теперь легко доказать следующее следствие из утверждений 3.1 и 3.2 и определения $\langle M, P \rangle$ -окрестности.

СЛЕДСТВИЕ 3.2. Для того, чтобы какой-либо элемент $\langle M, P \rangle$ -окрестности входил в нее полностью, достаточно, чтобы он не принадлежал границе.

В формальном виде $X \in [Y]_k$ и $X \notin [Y]_{(k)}$. Отметим прямую аналогию введенных понятий с открытыми и замкнутыми множествами топологических структур.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.14. Соседними в $\langle M, P \rangle$ -пространстве моделями будем называть модели, пересечение окрестностей 1-го порядка которых не пусто.

То есть, M_j и M_k соседние, если $[M_j]_1 \cap [M_k]_1 \neq \emptyset$, но $[M_j]_1 \cap [M_k]_1 = \{P_i\}$. Таким образом, можно говорить о соседстве моделей по определенным параметрам.

На рис. 3.4 представлен пример соседства моделей M_3 и M_6 по параметрам P_8 и P_9 .

Далее мы более детально рассмотрим отношения между соседними моделями. Уместно будет говорить и об уровне соседства: сколько у моделей общих параметров, и какие они. Естественно, что для получения всех соседних моделей по какому-либо параметру, достаточно построить его $\langle M, P \rangle$ -окрестность 1-го порядка.

По аналогии можно было бы ввести соседние параметры, но вполне очевидно, что таковыми являются параметры, между которыми (относительно данной модели) расстояние равно единице.

Введем понятие касающихся окрестностей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.15. Касающимися $\langle M, P \rangle$ -окрестностями называются окрестности, пересечение границ, и только границ, которых не пусто.

Можно ввести операцию вычитания окрестностей, но можно и из $\langle M, P \rangle$ -окрестности вычитать некоторые элементы не являющиеся окрестностями.

Тогда касающиеся $\langle M, P \rangle$ -окрестности в формальном выражении определяются как $[X]_n$ и $[Y]_k$ такие, что

$$[X]_{(n)} \cap [Y]_{(k)} \neq \emptyset \text{ и } ([X]_n - [X]_{(n)}) \cap ([Y]_k - [Y]_{(k)}) = \emptyset \text{ или}$$

$$[X]_n \cap [Y]_k \neq \emptyset \text{ и } ([X]_n - [X]_{(n)}) \cap ([Y]_k - [Y]_{(k)}) = \emptyset$$

Условный пример пересечений $\langle M, P \rangle$ -окрестностей третьего порядка P_1 , пятого порядка P_2 и шестого порядка M_1 , представленный на рис. 3.5, иллюстрирует, во-первых, другой тип графического образа (когда контуры параметров и моделей, в предыдущих примерах отражаемые контурными окрестностями, представлены в форме "круговых слоев"), во-вторых, - пересечение трех окрестностей, в третьих, - возможность пересечения окрестностей моделей и параметров.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.16. Объединением $\langle M, P \rangle$ -окрестностей будем считать все элементы $\langle M, P \rangle$ -пространства, которые принадлежат хотя бы одной из окрестностей.

Иллюстрировать объединение $\langle M, P \rangle$ -окрестностей можно посредством рис. 3.3 - 3.5. Только при этом необходимо рассматривать все элементы соответствующих окрестностей в качестве результатов операций объединения. Так например, для рис. 3.3:

$$[P_2]_3 \cup [P_9]_3 = \{ \{P_i\}, i \in [1, 13]; \{M_j\}, j \in [1, 8] \},$$

для рис. 3.4:

$$[M_3]_1 \cup [M_6]_1 = \{P_3, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{12}, P_{13}, M_3, M_6\},$$

для рис. 3.5:

$$[P_1]_3 \cup [P_2]_5 \cup [M_1]_6 = \{P_1, P_2, M_1, \dots\}.$$

Принципиальное отличие результатов операции объединения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей от их пересечения является то, что они всегда приводятся к новой $\langle M, P \rangle$ -окрестности. Поэтому необходимо доказать фундаментальное утверждение.

УТВЕРЖДЕНИЕ 3.8. Результат объединения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей всегда приводится к $\langle M, P \rangle$ -окрестности.

Пример такого приведения для $[P_2]_3 \cup [P_9]_3$ (см. рис. 3.3) показан на рис. 3.6. В качестве "центра" этой окрестности выбран P_2 . Таким образом,

$$[P_2]_3 \cup [P_9]_3 = [P_2]_5.$$

И здесь уместно рассмотреть проблему центрирования $\langle M, P \rangle$ -окрестностей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.17. Центром $\langle M, P \rangle$ -окрестности будем называть параметр или модель, относительно которых строится (или рассматривается) окрестность.

Теперь можно доказать

УТВЕРЖДЕНИЕ 3.9. Любой элемент какой-либо $\langle M, P \rangle$ -окрестности может быть ее центром.

Для доказательства этого утверждения достаточно показать, что любые элементы, входящие в $\langle M, P \rangle$ -окрестность связаны.

В теории графов вершины графа называют связанными, если существует маршрут, соединяющий эти вершины. Граф, любая пара вершин которого связана, называют связным графом.

По построению, любая $\langle M, P \rangle$ -окрестность является связным графом. И поэтому любой элемент какой-либо $\langle M, P \rangle$ -окрестности может быть ее центром.

Вполне очевидно, что целесообразно пересекать и объединять окрестности, имеющие общие элементы. Такие элементы в объединении обеспечивают связность результата объединения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей. Тем самым доказано утверждение 3.8.

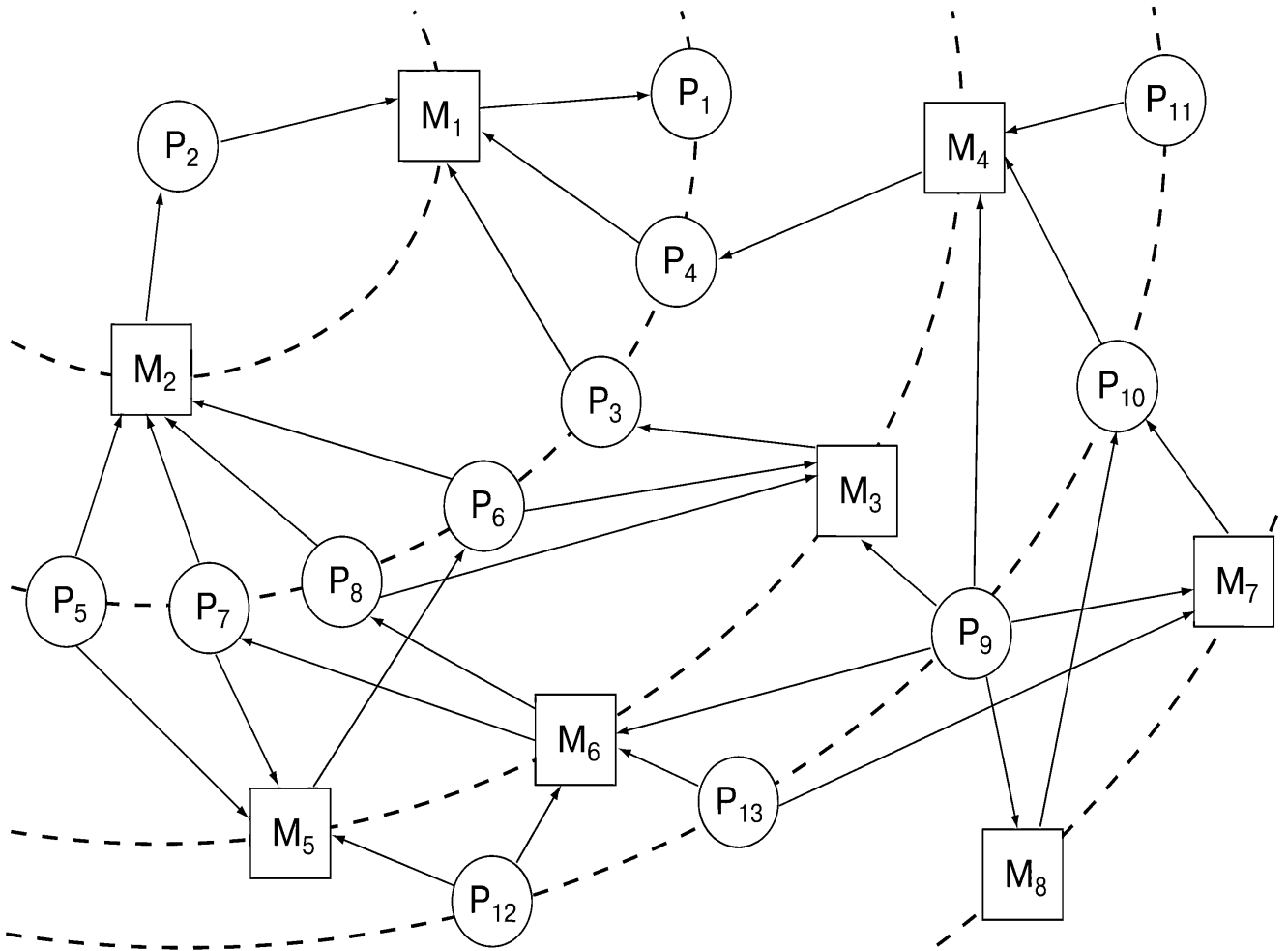


Рис. 3.6. Пример результата объединения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей 3-го порядка параметров P_2 и P_9 относительно параметра P_2

Таким образом, можно было бы в качестве центра $\langle M, P \rangle$ -окрестности, представленной на рис. 3.6, выбрать и P_9 , и вообще любой элемент входящий в результат объединения. Например,

$$[P_2]_3 \cup [P_9]_3 = [P_1]_6 \text{ (см. рис. 3.1).}$$

$$[P_2]_3 \cup [P_9]_3 = [M_3]_3 \text{ (см. рис. 3.2).}$$

$$[P_2]_3 \cup [P_9]_3 = [P_9]_4 \text{ (см. рис. 3.3).}$$

Но более логично объединение $\langle M, P \rangle$ -окрестностей трактовать как "добавление", ввод в $\langle M, P \rangle$ -пространство новых знаний, информации, данных об исследуемых процессах или проектируемых объектах.

И в этом заключается фундаментальность утверждения 3.8. Необходимо, чтобы операция ввода в $\langle M, P \rangle$ -пространство новых знаний была алгебраической, т.е. ее результат мог бы интерпретироваться в тех же структурах, в которых определяются операнды. Заметим, что операции объединения и пересечения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей обладают свойствами коммутативности и ассоциативности. Это легко доказывается.

Можно трактовать операции объединения окрестностей как интеграцию соответствующих знаний, а пересечение – как определение общих областей знаний различных проектировщиков (исследователей, конструкторов) сложного изделия с целью их обобщения, совместного анализа, проверки корректности одних посредством других и т.п.

На рис. 3.7а представлен пример сведения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей к окрестности относительно M_3 . Получилась окрестность 4-го порядка. Однако, если бы второй пересекаемой окрестностью была окрестность второго порядка параметра P_9 , то результат включал бы два фрагмента $\langle M, P \rangle$ -окрестностей – см. рис. 3.7б. И это вполне естественно. Данный пример демонстрирует фрагментарность общих знаний различных типов исследований – отсутствие их полноты на границах различных предметных областей. И чем больше порядок окрестностей "пересекаемых знаний", тем "шире" их общая граница и больше надежд на их полноту. Заметим, что полученные структуры (см. рис. 3.7) окрестностями, строго говоря, назвать нельзя. Так, например, модели M_6 и M_4 во всех приведенных примерах является "вырожденными" – у них отсутствуют входные параметры. А для получения из данных структур $\langle M, P \rangle$ -окрестностей, необходимо означить все "висячие дуги".

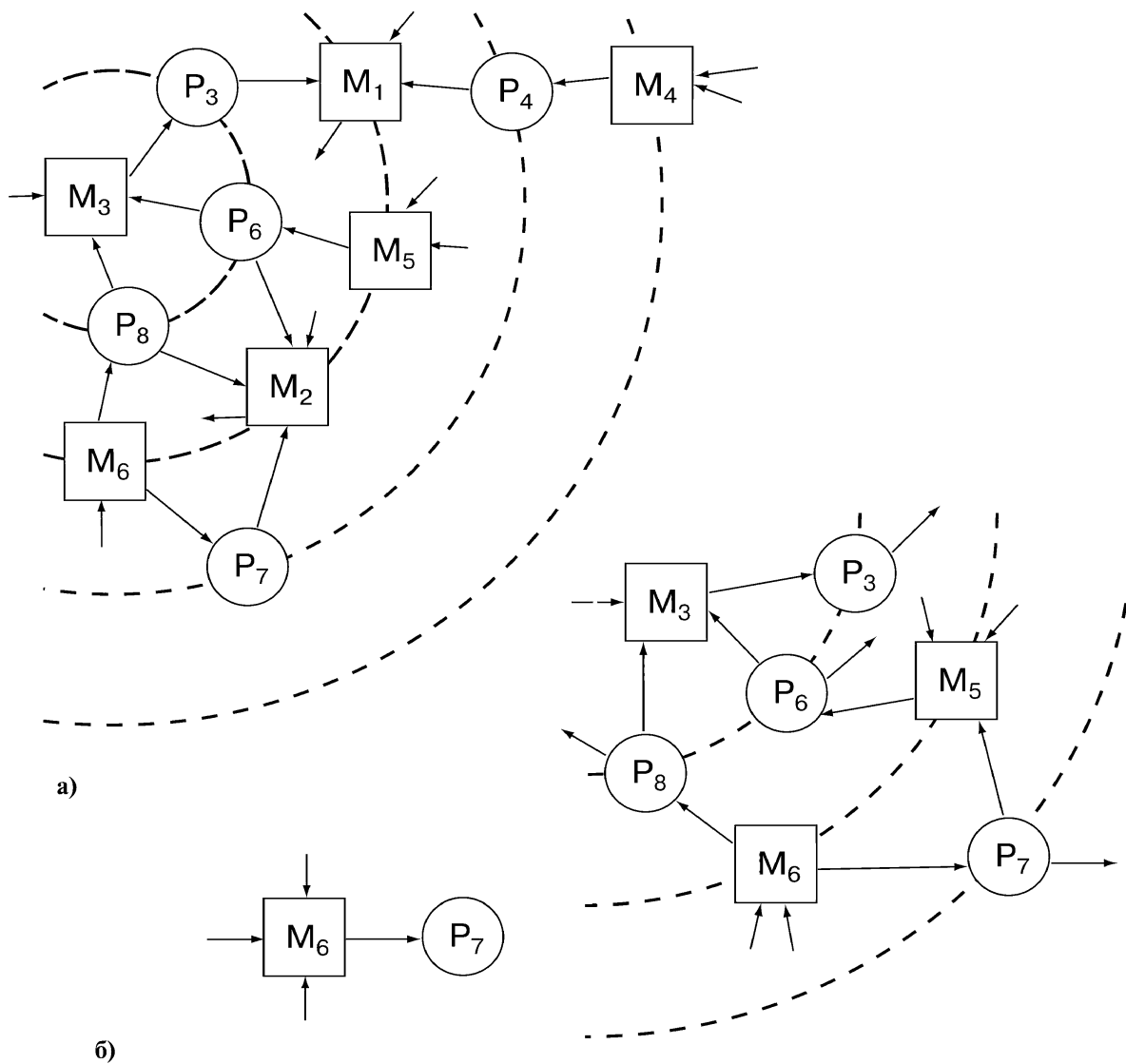


Рис. 3.7. Примеры сведения пересечения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей к окрестностям

Фактически в данном рассмотрении висячие дуги у параметров в зависимости от их направления соответствуют двум случаям. Значения данного параметра *используются в каких-либо моделях или вычисляются посредством каких-либо моделей*. Еще больший интерес представляют висячие дуги у моделей. *Выходящая дуга "приведет" пользователя к параметрам, значения которых вычисляются с помощью данной модели, а заходящая — к параметрам, значения которых необходимы для "работы" данной модели*. Таким образом, увеличивая порядок пересекаемых окрестностей, мы как бы *заглядываем в "семантически соседние" методики, рабочие места и т. п. структуры, в которых эти параметры и модели исследуются "досконально"*.

Но проблемы висячих дуг, изолированных фрагментов $\langle M, P \rangle$, полного вхождения моделей и параметров в $\langle M, P \rangle$ -окрестности (в частности, методик), определения границ окрестностей "родственны" и *нетривиальны*,

т.к. в целом связаны с абстрагированием, выделением из "окружающего мира" исследуемых сущностей и проектируемых объектов. Поэтому соответствующие структуры компонент $\langle M, P \rangle$ должны быть ограничены, т.е. обладать некоторой целостностью. Частично эти проблемы решаются: посредством фиксации значений определенных параметров, вводом пользователем значений других параметров (а не на основе их вычисления с помощью какой-либо модели), ограничением областей допустимых значений ряда параметров. Таким образом, например, формируются границы $\langle M, P \rangle$ -окрестностей методик расчета интегральных показателей, "целевых" параметров (см. следующий раздел).

Представляет очевидный интерес рассмотрение $\langle M, P \rangle$ -окрестности как *ситуативного кластера* [75]. Определяя различные параметры или модели в качестве центров $\langle M, P \rangle$ -окрестностей и "отбрасывая" несущественные в данном контексте M и P , мы фактически формируем некоторые ситуации.

Рассмотрим отношения между $\langle M, P \rangle$ -окрестностями.

Естественно считать, что $\langle M, P \rangle$ -окрестность "не меньше" другой окрестности, если все элементы и отношения между ними второй $\langle M, P \rangle$ -окрестности принадлежат и первой. Это отношение записывается как $[X_i]_k \subseteq [Y_j]_n$ или $[Y_j]_n \supseteq [X_i]_k$. Оно читается: "окрестность $[X_i]_k$ содержится в окрестности $[Y_j]_n$ " или "окрестность $[Y_j]_n$ содержит окрестность $[X_i]_k$ ". Заметим, что в качестве X_i и Y_j могут использоваться и параметры, и модели.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.18. Будем считать, что окрестность $[X_i]_k$ полностью содержится в окрестности $[Y_j]_n$, если все элементы и отношения первой являются элементами и отношениями второй.

По аналогии с теоретико-множественными операциями и отношениями [20] легко показать справедливость для $\langle M, P \rangle$ -окрестностей трех аксиом отношений (частичного) порядка:

(1) Рефлексивность: $[X_i]_k \subseteq [X_i]_k$ для всех $[X_i]_k \in \langle M, P \rangle$.

(2) Антисимметричность: Если $[X_i]_k \subseteq [Y_j]_n$ и $[Y_j]_n \subseteq [X_i]_k$, то $[X_i]_k = [Y_j]_n$ для всех $[X_i]_k, [Y_j]_n \in \langle M, P \rangle$.

(3) Транзитивность: Если $[X_i]_k \subseteq [Y_j]_n$ и $[Y_j]_n \subseteq [Z_r]_m$, то $[X_i]_k \subseteq [Z_r]_m$ для всех $[X_i]_k, [Y_j]_n, [Z_r]_m \in \langle M, P \rangle$.

Здесь под равенством (" $=$ ") $\langle M, P \rangle$ -окрестностей будем понимать не только полное совпадение соответствующих элементов и структур но и их

центров. Однако в данном случае достаточно и равенства с точностью до изоморфизма.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.19. *Окрестность $[X_i]_k$ будем называть изоморфной окрестности $[Y_j]_n$ в том, и только в том случае, когда элементы и отношения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей совпадают.*

Заметим, что при этом, центры и порядки окрестностей могут не совпадать. Примеры изоморфных $\langle M, P \rangle$ -окрестностей с различными центрами представлены на рис. 3.2, 3.3, 3.7. Или, (см. выше и рис. 3.1, 3.2 и 3.3)

$$[P_2]_3 \cup [P_9]_3 = [P_1]_6 = [M_3]_3 = [P_9]_4.$$

Вполне очевидны следующие свойства отношения "M" окрестностей $\langle M, P \rangle$ -пространства:

(1) $[X_i]_n M [X_i]_{n+j}$, где $j \geq 1$, $[X_i]_n, [X_i]_{n+j} \in \langle M, P \rangle$;

(2) $[X_i]_n M ([X_i]_n \cup [Y_j]_k)$, где $[X_i]_n, [Y_j]_k \in \langle M, P \rangle$;

(3) Если $[X_i]_n M [Y_j]_k$, то

a) $[X_i]_n \cup [Y_j]_k = [Y_j]_k$,

b) $[X_i]_n [Y_j]_k = [X_i]_n$, для всех $[X_i]_n, [Y_j]_k \in \langle M, P \rangle$;

(4) Если $[X_i]_n \cap [Y_j]_k = [Z_r]_m$, то $[Z_r]_m \subset [X_i]_n$ и $[Z_r]_m \subset [Y_j]_k$ для всех $[X_i]_n, [Y_j]_k, [Z_r]_m \in \langle M, P \rangle$.

Можно ввести в рассмотрение окрестность нулевого порядка и, вполне очевидно, что она будет содержать единственный элемент, т.е. $[X_i]_0 = X_i$. И на основании свойства (1) возможно построение упорядоченных последовательностей входимости для любых $X_i \in \langle M, P \rangle$, т.е.

$$(\forall X_i, [X_i]_n \in \langle M, P \rangle) \quad X_i = [X_i]_0 \subset [X_i]_1 \subset [X_i]_2 \subset \dots \subset [X_i]_n$$

Все эти свойства будут нам полезны далее, при построении решеток $\langle M, P \rangle$ -окрестностей.

3.5. Методики, параметрические базисы, модельные покрытия в $\langle M, P \rangle$ -пространстве

Теперь рассмотрим $\langle M, P \rangle$ -пространство с другой стороны.

Одним из базовых средств проведения проектных исследований являются методики расчета различных интегральных показателей его функционирования, структуры, взаимодействия его агрегатов и подсистем.

Условный пример фрагмента такой методики представлен на рис. 3.1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.20. Под методикой будем понимать упорядоченную, целесообразную, связанную, непротиворечивую систему моделей, которая обеспечивает вычисление данного параметра на основе множества значений исходных (вполне определенных) параметров.

Рассмотрим эти свойства методики.

- Под *исходными параметрами* будем понимать множество параметров значениями которых исследователь может управлять.

- Под *целесообразностью* понимается направленность структуры (как правило иерархической) моделей на вычисление значений заданного параметра.

- *Упорядоченность* - фиксированная последовательность выполнения модельных расчетов. Это свойство тесно связано с предыдущим.

- *Связанность* трактуется в двух аспектах. Во-первых, любой выходной параметр модели должен быть для какой-либо модели методики входным и каждый входной параметр всех моделей может быть или выходным другой модели, или исходным. Во-вторых, все эти параметрические входы-выходы должны быть совместимы по областям допустимых значений, единиц измерений и др. атрибутам.

- Под *полнотой* моделей методики понимается их достаточность для проведения всех вычислительных процедур. Это свойство тесно связано с согласованностью и связностью. Под *непротиворечивостью*, как обычно, понимается невозможность получения посредством практического использования методики различных несовместимых значений интегрального целевого данного параметра.

Вопросы *адекватности* методики исследуемых процессов в основном решаются на уровне локальных моделей. Но часто помощь в обосновании их интеграции в одну структуру могут оказать операции алгебры и логики текстов и контекстов моделей.

Отметим соответствие свойств методики характеристикам текста в лингвистике: текст (дискурс) должен обладать [113] *законченностью, связностью, непротиворечивостью, смысловым единством.*

Обычно в методиках, явно и неявно, используются в форме моделей операции *агрегации, обобщения, редукции, адаптации* [69].

Рассмотренные свойства методики мотивируют целесообразность введения понятия $\langle M, P \rangle$ -окрестности методики.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.21. Под $\langle M, P \rangle$ -окрестностью методики будем понимать $\langle M, P \rangle$ -окрестность, построенную на основе всех моделей, параметров и отношений между ними, используемых в данной методике, относительно параметра (интегрального показателя), вычисление значений которого является целью создания методики.

Пример $\langle M, P \rangle$ -окрестности фрагмента методики представлен на рис. 3.1.

На основе анализа этого фрагмента методики, представленной на рис. 3.1, можно сделать следующие выводы.

(1) Один параметр (например P_6, P_8) – см. рис. 3.1) может быть входным для нескольких моделей.

(2) Один параметр, в зависимости от контекста, может вычисляться в различных моделях (например, P_{10}).

(3) В одной модели (например, M_6) могут вычисляться значения нескольких параметров. Как правило, эта модель или интегрированная (система уравнений), или не имеющая аналитического представления (например, таблица решений).

(4) При разработке методики может случиться, что исследователь не имеет аналитической модели для определения значений какого-либо параметра (например, P_4). Но он знает, от значений каких параметров (например, P_9, P_{10}, P_{11} – см. рис. 3.1) зависят значения данного (P_4). Более того, его опыт позволяет приблизительно оценить и построить таблицу решений (в интервалах) для необходимой зависимости. Для приведенного примера:

$$P_4 = f(P_9, P_{10}, P_{11}).$$

Такие модели мы называем "прокладками".

(5) Заметим, что, по-видимому, любая методика представима в форме обобщенной функциональной зависимости. В приведенном примере

$$P_1 = F(P_5, P_9, P_{11}, P_{12}, P_{13}).$$

(6) Методика может включать, помимо аналитических моделей, модели-результаты вычислительного эксперимента, логико-лингвистические и т.п. модели. Поэтому функция F , как правило, даже если и все модели имеют аналитическое выражение, не анализируема.

(7) Рис. 3.1 и (особенно) рис. 3.3 показывают сложность графического представления методики в форме $\langle M, P \rangle$ -окрестности.

Интересно провести аналогию модельно-параметрической структуры методики (или соответствующей $\langle M, P \rangle$ -окрестности) с пирамидальными сетями Гладуна [36].

Пирамидальной сетью называется ациклический ориентированный граф, в котором нет вершин, имеющих одну заходящую дугу. Вершины, не имеющие заходящих дуг, называются рецепторами, остальные вершины – концепторами.

На рис. 3.9 представлен пример фрагмента пирамидальной сети. Даже внешне эта сеть похожа на структуру методики в том случае, когда в последней все “исходные” параметры (на рис. 3.1 – $P_5, P_9, P_{11}, P_{12}, P_{13}$) изображены в нижней строке. И рецептор – очень удачное название для исходного параметра; т.к. именно его значения определяют значения интегральных показателей-параметров, которые рассчитываются посредством методики. И модели можно трактовать как концепторы, считая, что параметры-результаты служат для идентификации и интерпретации некоторых “объединенных” (посредством модели) знаний.

Однако есть и ряд принципиальных отличий.

- Во-первых, оргграф методики, представленный в форме структуры пирамидальной сети становится “взвешенным” – теперь его дуги необходимо означивать.

- Во-вторых, могут появиться двойные ребра (дуги) между двумя вершинами (см. дуги P_7 и P_8 между элементами M_6 и M_2 на рис. 3.9).

- В-третьих, дуги одного названия могут заходить из одной в разные вершины (см. дуги P_8 к M_2 и M_3 из M_6 на рис. 3.9).

- В-четвертых, дуги одного названия могут заходить в одну вершину из разных – альтернативных – моделей (см. на рисунке P_{10} к M_4 из M_7 и M_8).

- В пятых (как мы увидим ниже), в $\langle M, P \rangle$ -окрестностях и $\langle M, P \rangle$ -пространстве возможны циклы.

- В шестых, (на рисунке не отражено, но) возможны модели с одним входным параметром, т.е. одной заходящей дугой.

Поэтому, структура методики – не пирамидальная сеть.

Таким образом, в общем случае, формализмы пирамидальных сетей не адекватны представлению семантики $\langle M, P \rangle$ -пространства и его фрагментов. И это естественно. Они предназначены для описания и формирования новых

знаний. И соответствующие им свойства (правила, описанные в [36]) мы будем использовать в формальных механизмах $\langle M, P \rangle$ -пространства.

Любые новые знания в исследовательском проектировании формируются в виде моделей. И одной из главных проблем является *определение адекватной "ниши"* для них (нее) в структуре $\langle M, P \rangle$ -пространства. И в этой связи операции представляют значительный интерес. Так, В.П.Гладун называет понятием элемент системы знаний, представляющий собой обобщенную модель некоторого класса объектов, с помощью которой реализуются процессы распознавания и генерации моделей конкретных объектов этого класса. Множество обобщенных в понятии объектов составляет его *объем*. Входящие в понятие признаки по их роли в реализации основных функций делятся на два типа — *разделительные* и *обобщительные*.

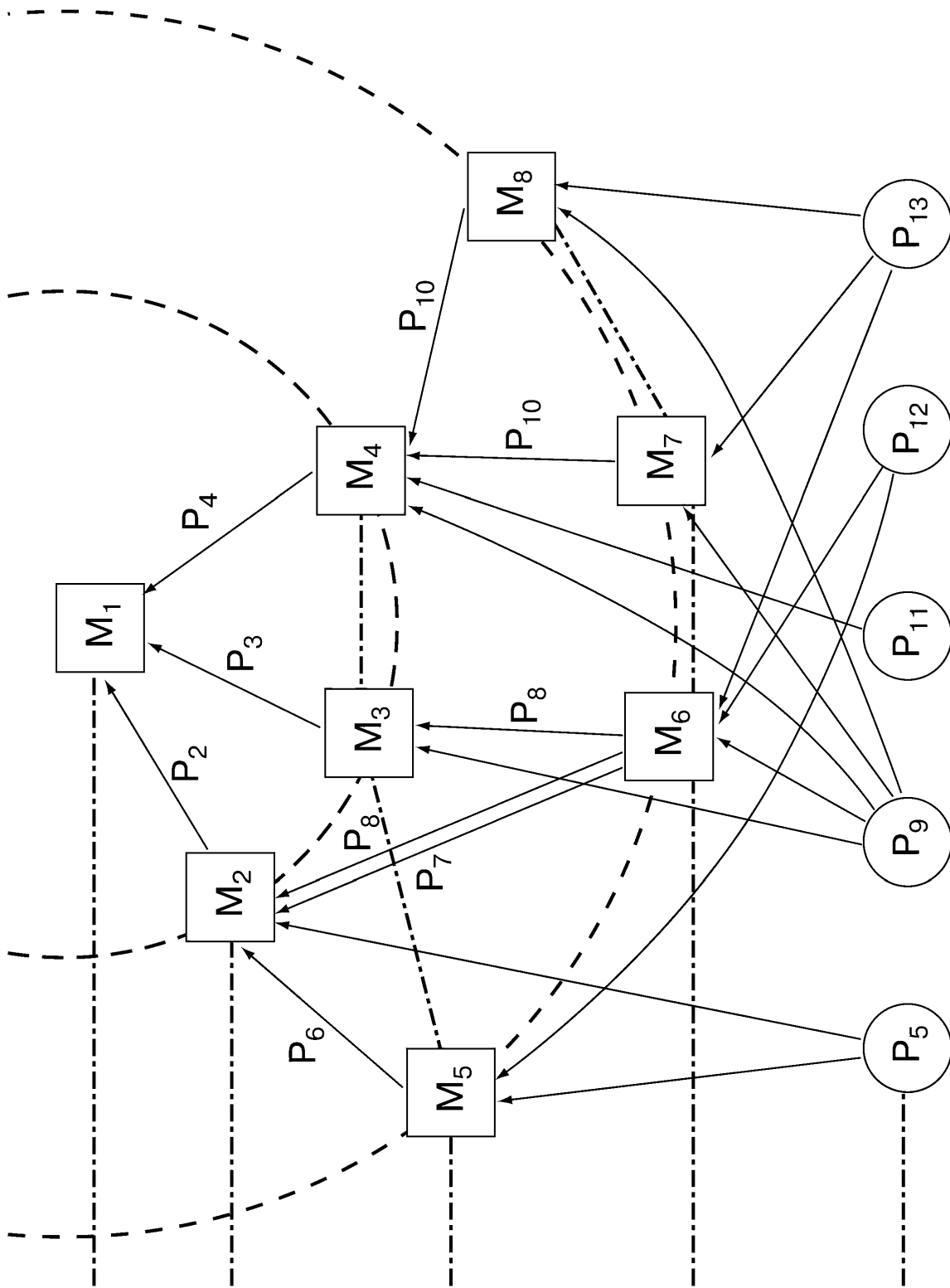


Рис. 3.9. Пример фрагмента условной пирамидальной сети для методики

Признакам (свойствам сложного изделия) в $\langle M, P \rangle$ -пространстве соответствуют *параметры*, понятиям – *модели*. И, действительно, различные параметры могут выполнять, в зависимости от контекста, роль интеграции (агрегации, абстрагирования от несущественных свойств, обобщения) моделей, или их *дифференциации* (разделения). Заметим, что в [36] вводят понятие контекста и рассматривают обобщение в пространстве “*собственных*” и “*контекстных*” признаков. Однако *контекст* в *растущих семантических сетях* [36] трактуется несколько иначе, чем здесь. Это обусловлено тем, что рассматриваются значительно менее формализованные и более общие знания.

Аппарат пирамидальных сетей считается одним из наиболее эффективных методов и средств *обобщения по структурам и признакам* в искусственном интеллекте [170]. И эти механизмы индуктивного вывода, сопоставив их с агрегированием, адаптацией и редукцией [33], целесообразно, после соответствующей доработки, использовать в анализе-синтезе $\langle M, P \rangle$ -пространства.

Занимающиеся разработкой методик специалисты, как правило, имеют дело с одними и теми же параметрами. Поэтому можно ввести понятие *параметрического базиса методики*.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.22. *Под параметрическим базисом методики будем понимать множество параметров, которые входят в $\langle M, P \rangle$ -окрестность этой методики.*

Параметры параметрического базиса можно сначала разделить на два класса: *переменные* и *постоянные*. Затем параметры первого класса делятся на “*целевые*” (в тексте моделей – “*следствия*”, т.е. те, определенных значений которых пользователь должен “*добиться*”), “*исходные*” (в тексте моделей – “*причины*”, т.е. те, значениями которых пользователь может “*управлять*”), “*рабочие*” (промежуточные параметры – выходные для одной модели и входные – для другой). Последние позволяют подбирать адекватные модели для методик, формировать требования к ним.

На конкретном рабочем месте исследователь разрабатывает вполне определенное подмножество методик.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.23. *Параметрическим базисом рабочего места будем называть множество параметров, входящих в объединение $\langle M, P \rangle$ -окрестностей методик, разрабатываемых на данном рабочем месте.*

Параметры рабочего места можно также разделить на четыре класса.

Постоянные параметры фактически фиксируют процессы, объекты, проблемы, исследуемые на данном рабочем месте. В монографии [50] они названы *С-параметрами*.

Остальные (*V-параметры*) определяют (явно и неявно, посредством областей допустимых значений) модели, методики, средства, методы, технологии, используемые на данном рабочем месте.

Целевые *С-параметры* фиксируют цели проектных, теоретических, экспериментальных исследований.

Вполне очевидно, что целевые параметры одного рабочего места могут быть исходными для других РМ и т.д. Таким образом, осуществляется *распределение, разделение и интеграция функций* (и средств) отдельных рабочих мест (и соответствующих исследований).

Параметрические базисы рабочих мест (РМ) и методик можно считать *локальными*. По аналогии можно ввести параметрические базисы исследований в лабораториях, отделах, отделениях и других структурных подразделениях предприятия, занимающегося проектированием сложного изделия.

Можно ввести и понятие общего (глобального) параметрического базиса.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.24. *Под общим параметрическим базисом будем понимать все множество параметров, характеризующих все свойства и структуру проектируемого изделия.*

Этот параметрический базис можно считать "*контекстом-универсумом*" $\langle M, P \rangle$ -пространства в целом, т.к. на нем строятся и исследуются все модели объектов и процессов сложного изделия. Любой локальный базис является подмножеством контекста-универсума, его проекцией в соответствующее подпространство $\langle M, P \rangle$. При этом проекции осуществляются в трех аспектах: по множеству идентификаторов параметров, математических (формальных) свойств их шкал и областей допустимых значений.

Но в процессе исследований в рассмотрение могут быть введены и новые параметры (или расширена область их допустимых значений). И тогда эти трансформации должны быть произведены и в общем параметрическом базисе.

Помимо исследования свойств параметров рабочими местами, методиками и т.п., *контекст-универсум играет роль общего терминологического базиса* (согласования терминов различных предметных областей) проводимых исследований.

Можно классифицировать параметры и по другим критериям. Для разделения моделей и параметров можно $\langle M, P \rangle$ -пространство разделить на две взаимосвязанные "плоскости": M -плоскость и P -плоскость, и на их основе ввести в рассмотрение модельные (будем их называть $[M_j]_k^M$) и параметрические (соответственно $-[P_i]_k^P$) окрестности.

На рис. 3.10 приведены примеры:

- а) выделения M - и P -плоскостей;
- б) окрестности $[M_3]_1^M$;
- в) окрестности $[P_3]_3^P$.

Далее $[M_j]_k^M$ будем кратко называть M -окрестностью $\langle M, P \rangle$ -пространства, а $[P_i]_k^P$ - P -окрестностями.

На рис. 3.9 также можно "рассмотреть" $[M_1]_2^M$.

Заметим, что в орграфах $\langle M, P \rangle$ -пространства (точнее в соответствующих семантических сетях) дуги могут быть *двунаправленными* и обязательно именованными (идентифицированными) для P -окрестностей связывающими их моделями, а для M -окрестностей, соответственно, - параметрами. Соответствующие примеры в форме графических образов представлены на рис. 3.10.

На рис 3.10а изображены две взаимосвязанные плоскости P -окрестностей M -окрестностей, на рис.3.10б отдельно M -окрестности и P -окрестности.

Заметим, что P -окрестности моделей, по сути, являются их *контекстами*. И тогда целесообразно параметрические базисы методик, рабочих мест и т.п. считать их контекстами.

Теперь можно ввести понятие *модельного покрытия*.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.26. *Под модельным покрытием множества параметров будем понимать все множество моделей $\langle M, P \rangle$ -пространства, которые связаны с этими параметрами.*

На рис. 3.8 приведен пример модельного покрытия параметров $\{P_i\}, i \in [9, 13]$. Отметим два существенных аспекта.

Во-первых, полученная структура не всегда является окрестностью.

Во-вторых, для анализа этих моделей, необходимо знать, с какими параметрами, кроме данных, связаны определенные модели (см. рис. 3.8).

Далее мы рассмотрим случаи сводимости полученной $\langle M, P \rangle$ -структуры к окрестности. А для обеспечения полноты входимости моделей в модельное покрытие необходимо "означить их висячие дуги", т.е. ввести в исследование соответствующие параметры.

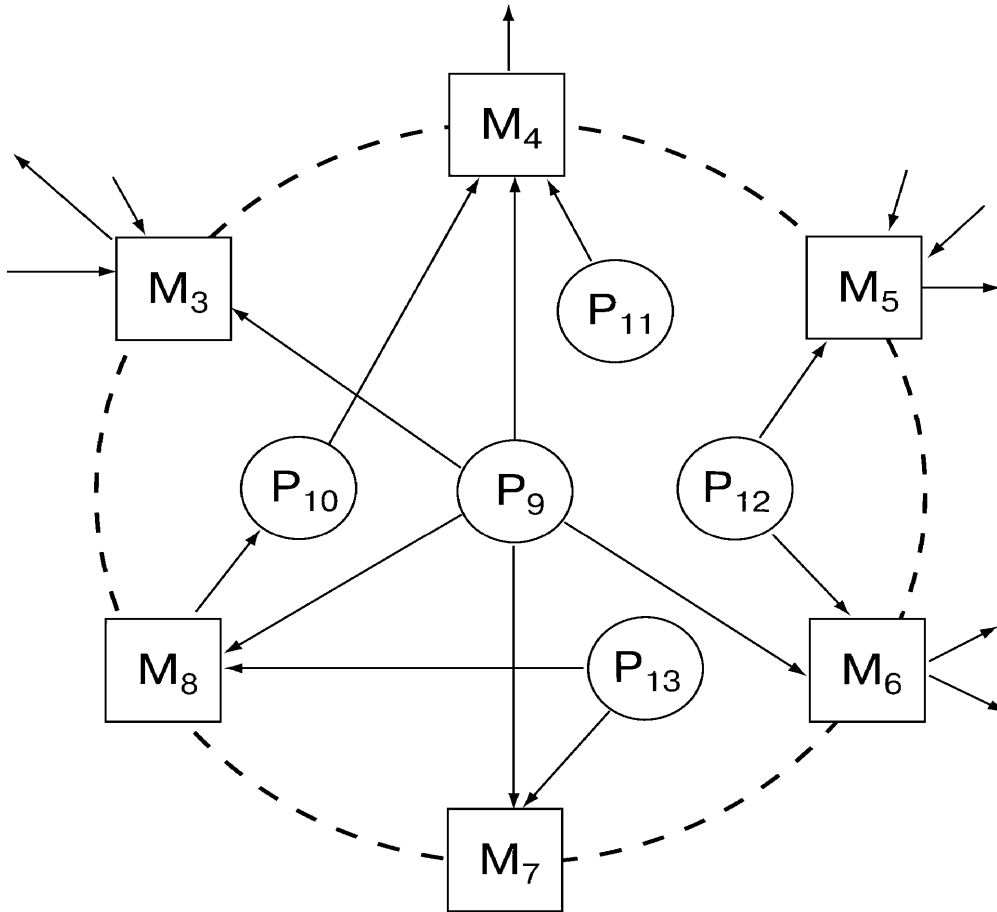


Рис. 3.8. Модельное покрытие параметров $P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}, P_{13}$ (пример)

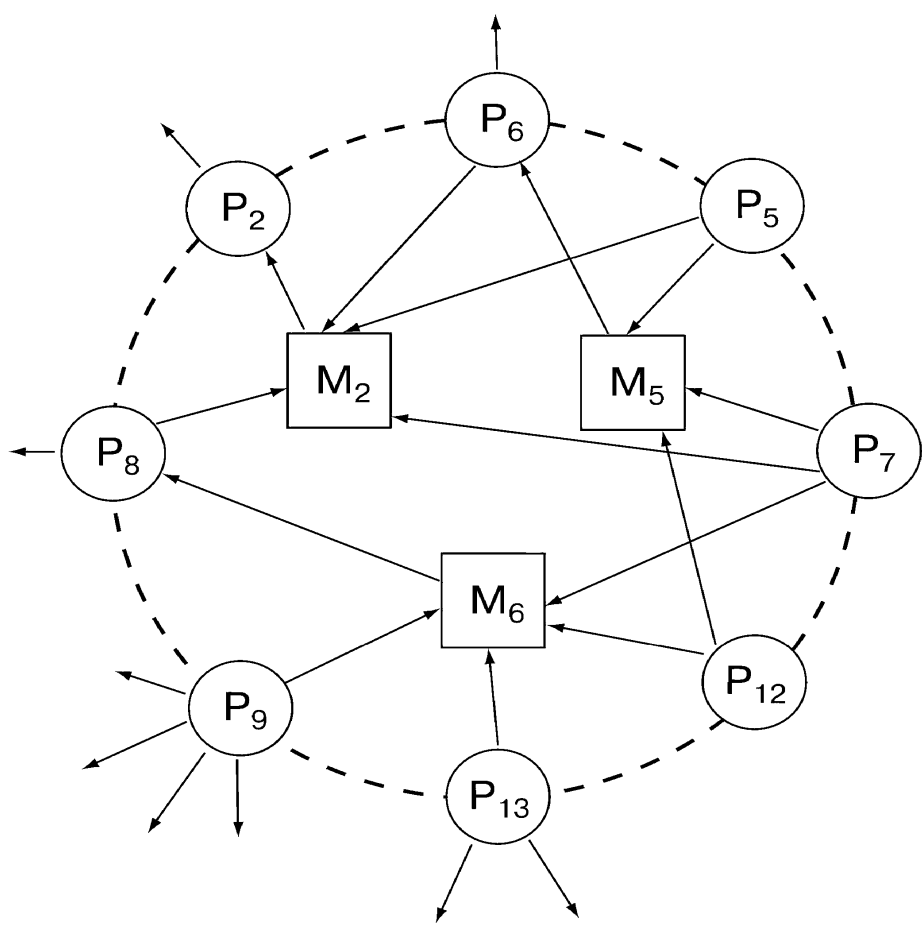


Рис. 3.9. Параметрическое покрытие моделей M₂ M₅, M₇ (пример)

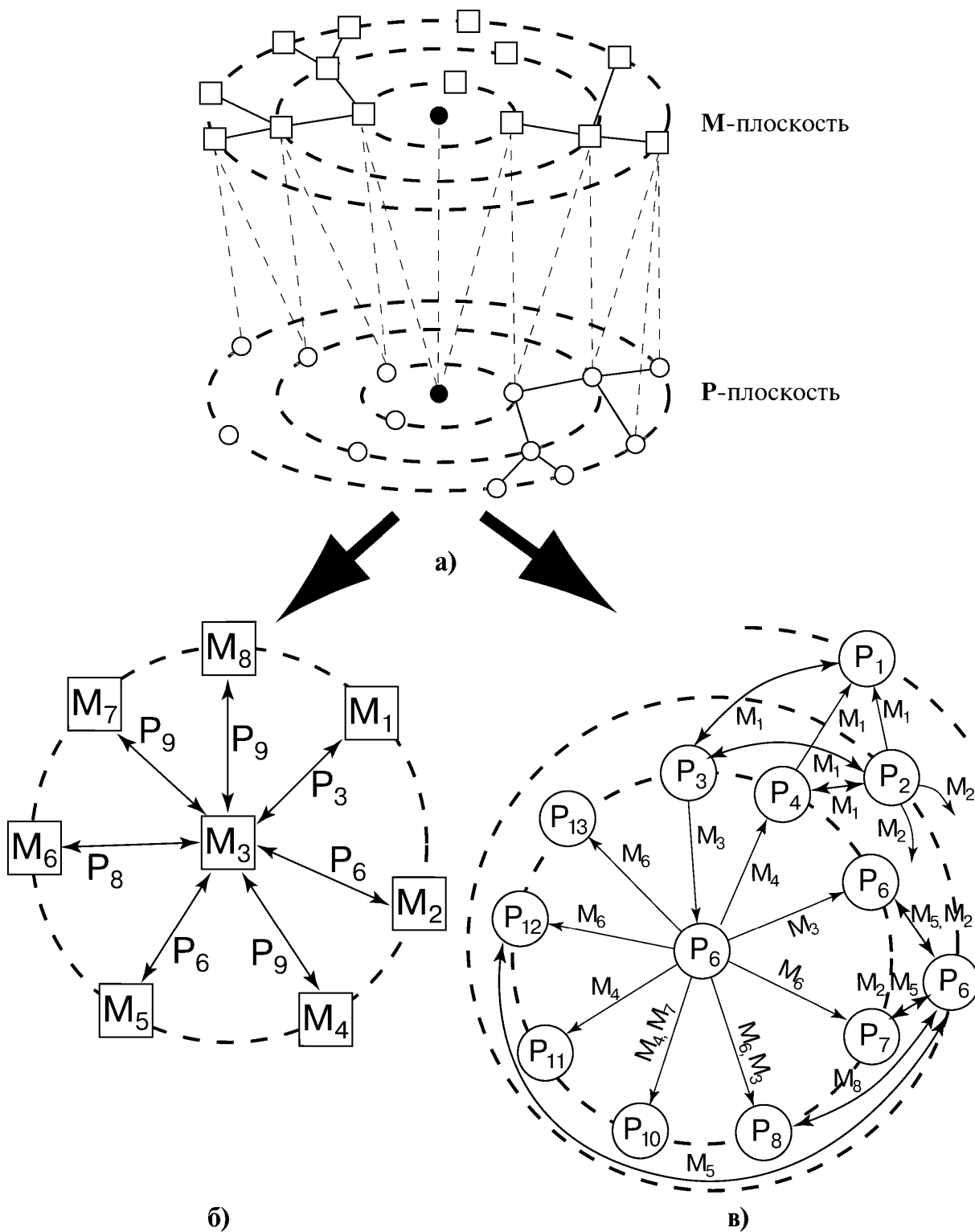


Рис. 3.10. Примеры параметрических и модельных окрестностей $\langle M, P \rangle$ -пространства

Если предположить, что параметры $\{P_i\}, i \in [9, 13]$ описывают какой-либо агрегат проектируемого изделия или его подсистему, то можно говорить о *модельном покрытии* соответствующего объекта. Аналогично, $\{P_i\}, i \in [9, 13]$ могут описывать какой-либо процесс (например, качку корабля). Тогда можно говорить о *модельном покрытии* соответствующего процесса и целесообразно определять требования к "недостающим" моделям.

Представляет интерес и обратная задача: определение параметрического покрытия данного множества моделей. Анализ этого покрытия покажет в каких пределах могут изменяться значения соответствующих параметров (для данных моделей), т.е. какие классы конструкций допустимы.

На рис. 3.9 представлен соответствующий пример, построенный (как и предыдущий) на основе рассмотренной методики (см. рис. 3.1).

Графические образы, представленные на рис. 3.8 и 3.9, показывают фактически, какие модели связаны с данными параметрами и, соответственно – параметры, связанных с данными моделями. Построение их представляет интерес для конструкторов сложных изделий, т.к. на конкретных рабочих местах занимаются исследованием вполне определенных подмножеств параметров и/или моделей, их синтезом-анализом.

Однако, по-видимому, представленные графические трактовки модельного покрытия сложны в интерпретации.

На рис. 3.11 представлен другой графический образ, в нем отражены модели и параметры методики расчета показателя-параметра P_1 (см. рис. 3.1).

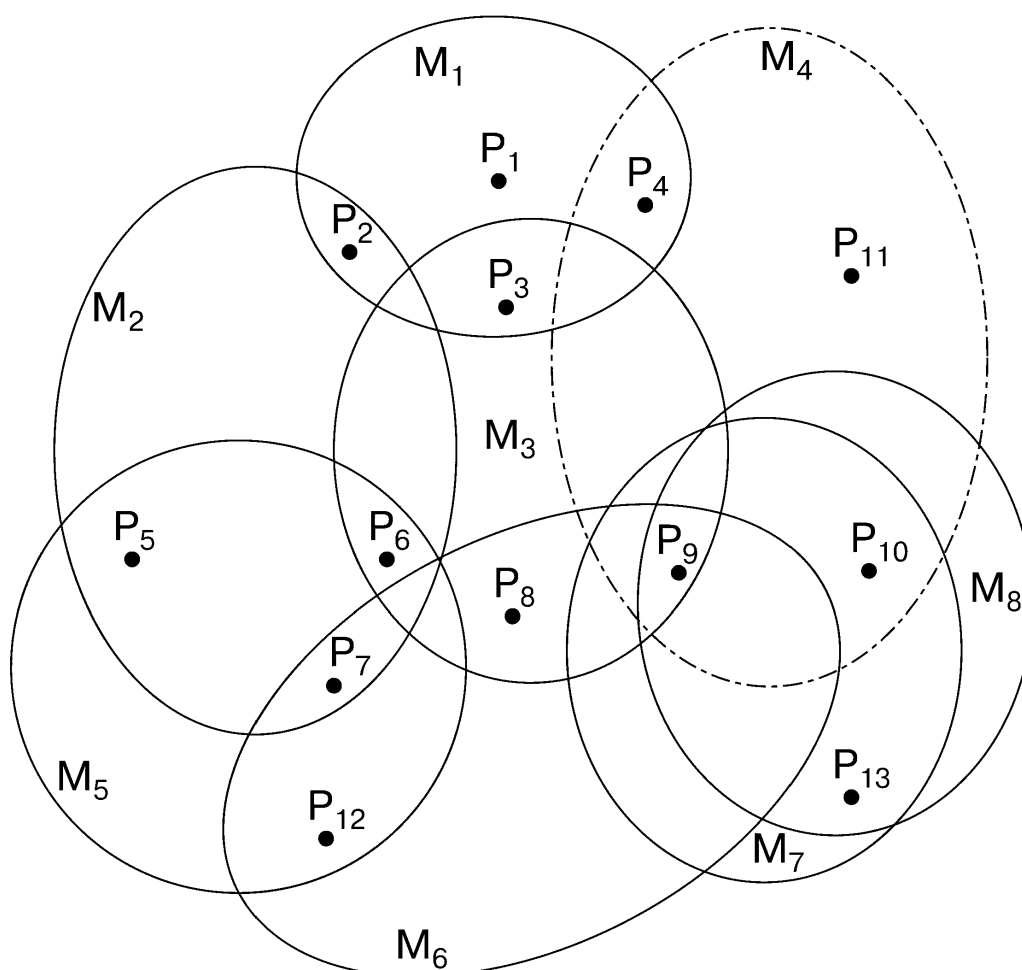


Рис. 3.11. Пример графической интерпретации модельного покрытия методики расчета показателя-параметра P_1

Заметим, что поскольку, фактически, рис. 3.11 иллюстрирует модельное покрытие $\langle M, P \rangle$ -окрестности, то оно "непрерывно", т.е. отсутствуют изолированные ("непокрытые" моделями) точки-параметры. Точнее, ранее были (P_{II} - см. рис. 3.9), но после ввода в методику соответствующей модели (M_4) покрытие стало "непрерывным".

Введенное определение покрытия аналогично определению покрытия множества в классической математике. Система множеств Π называется покрытием множества X , если $\bigcup_{A \in \Pi} A \supseteq X$. В данном случае это отношение

можно записать:

$$\bigcup_{j \in J_p} M_j \supseteq \{P_i\}_{i \in I_{WB}},$$

где J_p - множество индексов моделей покрытия,

I_{WB} - множество индексов параметров, исследуемых на данном рабочем месте.

Таким образом, можно определить покрытие методики, рабочего места и т.п., ввести определение "непрерывности" и доказать справедливость соответствующего утверждения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.27. Под непрерывностью модельного покрытия параметров понимается отсутствие в покрытии изолированных параметров.

Строго говоря, изолированные параметры не могут входить в модельное покрытие, т.к. это противоречит классическому определению последнего, т.е. $\{P_i\}_{i \in I_{WB}} \not\subseteq \bigcup_{j \in J_p} M_j$. Однако такие модельные покрытия также

представляют интерес в исследовательском проектировании. И в этом принципиальные отличия введенного модельного покрытия от классического. Фактически, с помощью операции модельного покрытия пользователь исследует актуальное состояние фрагмента $\langle M, P \rangle$ -пространства, соответствующего рабочего места.

Заметим, что определение изолированного параметра полностью аналогично понятию изолированной точки в классической математике и изолированной вершины в теории графов.

УТВЕРЖДЕНИЕ 3.10. Модельное покрытие любой апробированной методики непрерывно.

Вполне очевидно, что требование непрерывности модельного покрытия значительно слабее требований систематизации моделей в форме методики.

Для ввода в рассмотрение аналогичных свойств для модельного покрытия необходимо определить категории *целостности*, *непротиворечивости*, *полноты* для него.

На рис. 3.12 представлен "абстрактный" пример модельного покрытия множества параметров $\{P_i\}$, где $i=3, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31$ (на рисунке они ограничены штрих-пунктирной линией).

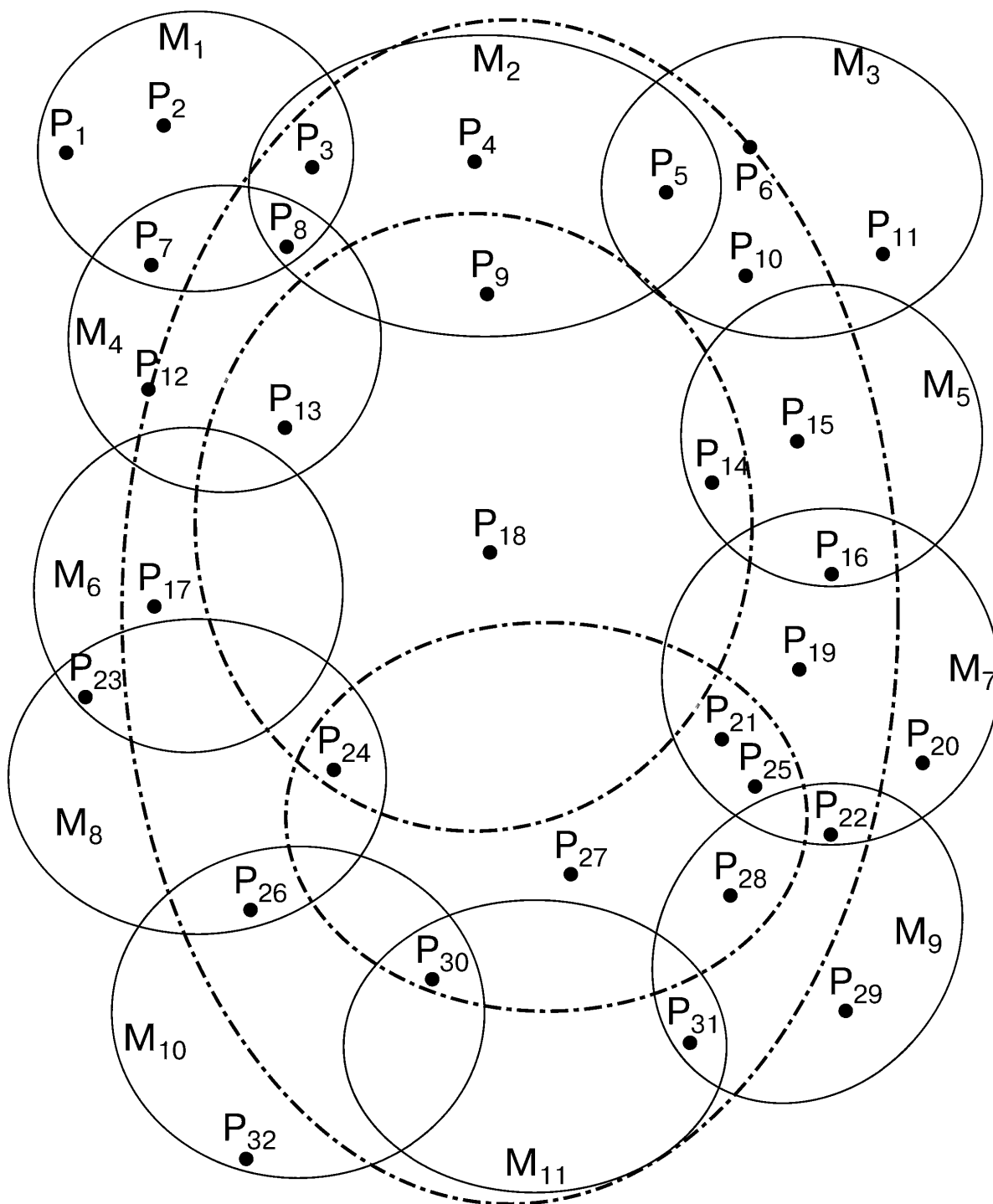


Рис. 3.12. Графическая интерпретация понятия модельного покрытия

Предполагается, что эти параметры описывают некоторый агрегат сложного изделия. Из $\langle M, P \rangle$ -пространства выбрано множество релевантных моделей. При этом в рассмотрение введены "лишние" параметры ($P_1, P_2, P_6, P_7, P_{11}, P_{16}, P_{20}, P_{22}, P_{23}, P_{29}, P_{32}$). Сущность моделируемых посредством их свойств должен выяснить конструктор данного агрегата. Кроме этого, следует найти или построить модели для *изолированных параметров* (P_{18} и P_{27}). И эти модели не могут быть произвольными. Например (см. рис. 3.9), необходимы отношения $P_{28}=F_1(P_{21}, P_{24}, P_{25}, P_{27}, P_{30}, P_{31})$ и $P_{14}=F_2(P_9, P_{13}, P_{18}, P_{24})$. Аналогичную процедуру (определения целесообразности каждой модели) необходимо провести для модельного покрытия в целом.

В заключение данного подраздела приведем еще три графических интерпретации знаний, представленных в методиках и их «пересечениях и объединениях».

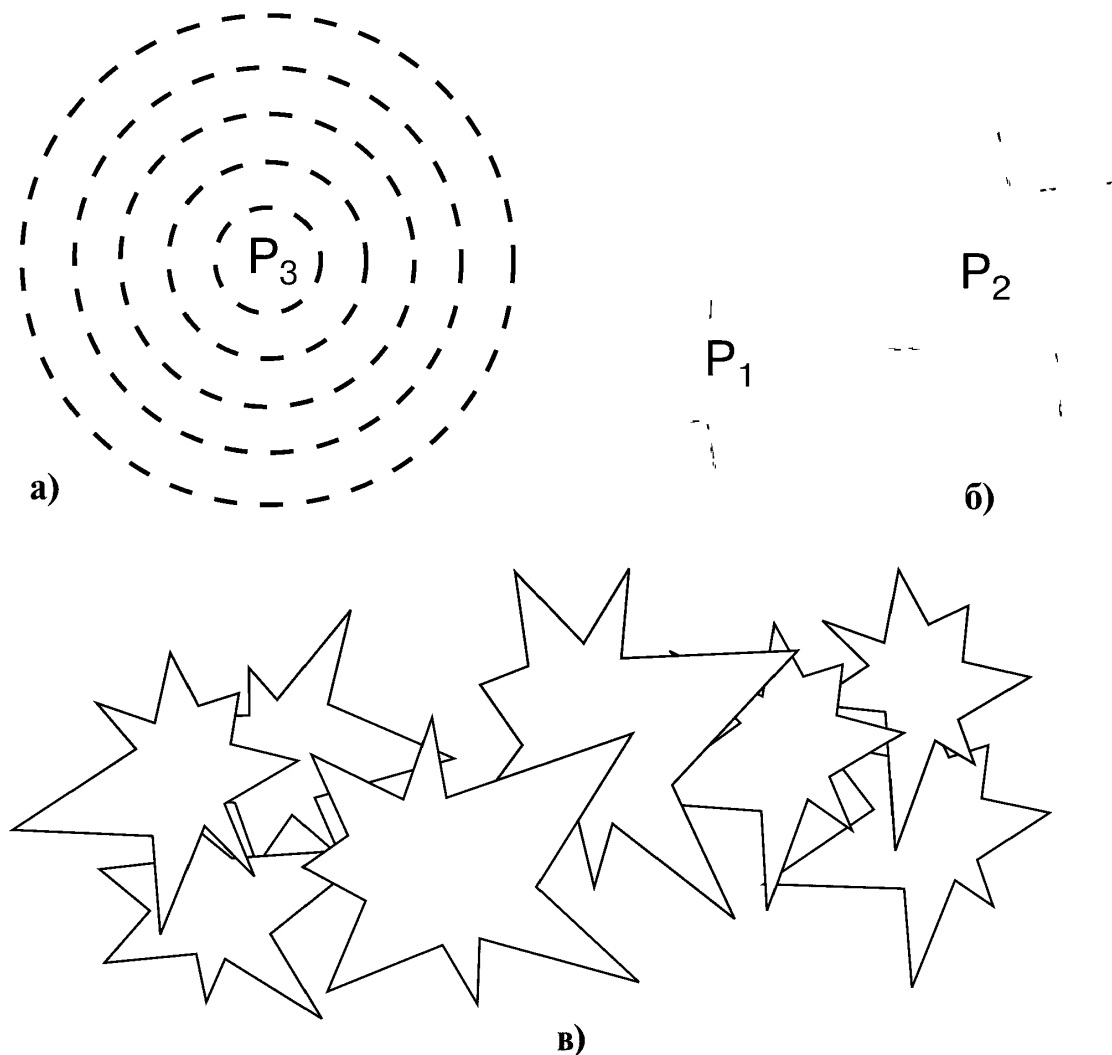


Рис. 3.13. Условные графические представления методик в $\langle M, P \rangle$ -пространстве

На рис.3.13а изображена «роза методики» (можно сопоставить данный тип графического образа с графиком Кивиата) расчета параметра P_1 , построенная на соответствующей $\langle M, P \rangle$ -окрестности (границы окрестностей представлены пунктирными окружностями). На рис.3.13б отображено «пересечение» двух методик (P_1 и P_2), а на рис.3.13в – условно изображено объединение (с пересечениями) множества методик в $\langle M, P \rangle$ - пространстве – таким образом методики можно графически представлять в форме «(остроугольных) островков наших знаний» о моделируемых процессах и объектах. Вершинами этих фигур («роз») являются наиболее удаленные параметры и модели. Заметим, что «изображать эти островки» лучше на «фоне более общих знаний», т.е. как «локальные» $\langle M, P \rangle$ -окрестности методик, так и их объединения или пересечения целесообразно исследовать в «более полных» $\langle M, P \rangle$ -пространствах.

3.6. Целостность, непротиворечивость, связность, согласованность, сбалансированность, полнота, целесообразность $\langle M, P \rangle$ -пространства

Вообще говоря, $\langle M, P \rangle$ -пространство как информационный ресурс информационной технологии исследований и/или проектирования сложных систем не должно обладать такими качествами, как целостность, непротиворечивость, полнота, связность, согласованность, сбалансированность, целесообразность. Это обусловлено многими факторами.

1. во-первых, творческим характером процессов исследований;
2. во-вторых, принципиальной неполнотой априорных знаний всех, связанных с проектируемым изделием, процессов и его структуры (морфологии);
3. в-третьих, необходимостью поддержки в $\langle M, P \rangle$ -пространстве нескольких альтернативных проектных решений и (даже) конструкций изделий;
4. в-четвертых, итерационным характером процессов проектирования.
5. в-пятых, необходимостью поддержки процессов модельных апробаций проектных решений и моделей-гипотез и т.д.

Однако подобными свойствами должен обладать облик проектируемого изделия в узком смысле (см. [40]). Поэтому необходимо, во-первых, по возможности формально определить все эти категории, во-вторых, обеспечить механизмы поддержки систематизации всех моделей и параметров

$\langle M, P \rangle$ -пространства по максимуму признаков, в-третьих, построить механизмы трансформации (преобразования) $\langle M, P \rangle$ -пространства (операций агрегации, обобщения, адаптации, редукции и т.д.) на уровне множеств моделей с целью приведения его к требуемым форматам, в-четвертых, разработать аппарат (методы и алгоритмы) анализа удовлетворения этим критериям обликов в узком смысле с целью соответствующей диагностики фрагментов $\langle M, P \rangle$ -пространства.

Далее все определения, фактически, касаются фрагмента $\langle M, P \rangle$ -пространства, называемого обликом в узком смысле.

Среди введенных выше семи свойств можно выделить более и менее формальные. Рассмотрим их в порядке "убывания формальной строгости".

Прежде всего, в дедуктивных (аксиоматических) системах одним из центральных вопросов является вопрос о непротиворечивости, полноте и независимости выбранной аксиоматики.

◆ Система аксиом называется непротиворечивой, если из аксиом нельзя сделать двух взаимно исключающих друг друга выводов, другими словами, если в результате развития дедуктивной системы, базирующейся на этой аксиоматике, мы никогда не придем к противоречию.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.28. $\langle M, P \rangle$ -пространство является непротиворечивым, если все при любых значениях "исходных параметров" (в допустимых областях их определения) мы не получаем противоречивых значений остальных параметров $\langle M, P \rangle$.

Заметим, что при получении этих значений могут использоваться любые модели $M_j \in \langle M, P \rangle$. И это принципиально, так, как мы увидим далее и уже упоминалось, система исчисления моделей в ИП не является дедуктивной в классическом понимании. Поэтому, цель его построения заключается не в определении моделей-аксиом, а в определении соответствующих свойств всех моделей облика. И следствием этого является отказ от некоторых формальных и добавление ряда неформальных критериев качества $\langle M, P \rangle$ -пространства.

◆ Система аксиом называется полной, если она допускает лишь одну-единственную (с точностью до изоморфизма) реализацию. Иногда полноту аксиоматической системы характеризуют также "почти эквивалентным данному" требованием, чтобы любое, формулируемое в терминах рассматриваемой аксиоматики, предложение оказывалось в ней истинным или ложным. Заметим, что Н.Бурбаки "считает" [21], что основной прогресс математики в после-греческую эпоху связан с включением в круг интересов ученых

структур, описываемых неполными аксиоматиками. Полнота $\langle M, P \rangle$ -пространства в исследовании и проектировании сложных систем трактуется иначе.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.29. $\langle M, P \rangle$ -пространство будем называть полным, если все агрегаты сложного объекта, их отношения, процессы функционирования и взаимодействия с внешней средой, имеют соответствующие модельные образы в $\langle M, P \rangle$.

◆ Третьим требованием аксиоматики является требование независимости. Однако, с точки зрения даже "простого математика" (не склонного углубляться в дебри метаматематики), требование минимальности числа аксиом является второстепенным и обсуждения не заслуживающим.

В принципе было бы интересно, получить полную, независимую, неппротиворечивую систему моделей в $\langle M, P \rangle$ -пространстве. И некоторые механизмы исчисления моделей в ИП способствуют анализу этих свойств. Но, ввиду открытости этой системы ("недедуктивности" ее) на формальном уровне решение данной проблемы невозможно.

◆ О связности системы моделей уже говорилось выше. И проблемам связности структур больших систем в настоящее время уделяется значительное внимание [99]. Так в [85] вводятся понятия алгебраической и топологической связности, строится даже специальная теория q -связности. Выделим в обlique (в широком смысле) подмножества целевых параметров и исходных. Остальные параметры назовем рабочими (или промежуточными).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.30. Под связностью $\langle M, P \rangle$ -пространства будем понимать выполнение следующего условия: любой рабочий параметр должен иметь минимум одну модель, в которой он является выходным, и минимум одну модель, для которой он является входным.

◆ Проблема согласованности моделей, в частности, рассматривалась в [87]. В [88] согласованность моделей определяется через их "соединяемость" и совместимость. Последнюю категорию мы будем рассматривать далее.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.31. Под согласованностью $\langle M, P \rangle$ -пространства будем понимать выполнение следующего условия: пересечение областей допустимых значений всех рабочих параметров "выходов" и "входов" соответствующих моделей должно быть не пусто.

◆ Понятие "целостности" при "внешнем" рассмотрении различных агрегатов, процессов и подсистем проектируемого изделия выступает как синоним понятия "целое", характеризуя автономность, обособленность,

качественное своеобразие объектов, их противопоставление среде и другим объектам. Понятие целостности используют и для характеристики или оценки отношений между необходимыми, желательными и реально присущими объекту функциональными свойствами, определения с позиции основного назначения сложного изделия достаточности, полноты, замкнутости состава внешних свойств, которыми оно фактически обладает.

Обычно сложное изделие в процессе проектирования декомпозируют в иерархические структуры по самым различным принципам: структурно-параметрический И/ИЛИ-граф, страты (функционально-структурные, оперативно-тактические, экономические) и уровни детализации [112] и т.п. В [146] требуют взаимоопределенности, взаимообусловленности таких компонент, и существования их лишь в соотнесении друг с другом в контексте представления об их целостном единстве.

Заметим, что в $\langle M, P \rangle$ облика отношений "ИЛИ" быть не должно, т.к. он полностью определен.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.32. Под целостностью $\langle M, P \rangle$ -пространства будем понимать наличие в нем всех параметров (с соответствующими областями определения), которые обеспечивают декомпозицию системы моделей сложного изделия во все необходимые иерархические структуры с требуемыми свойствами.

В требуемых свойствах можно выделить канонические (см. [119,7]) и зависящие от специфики сложного изделия (корабль, самолет и т.д.). Кроме этого, с использованием *С-технологии* в облике необходимо рассматривать и такие аспекты, как технологичность создания изделия, его ремонта, усовершенствования, функционирования. Это приводит к необходимости учета ряда соответствующих свойств в определении целостности его $\langle M, P \rangle$.

В [95] целевые и исходные параметры называют внешними свойствами объекта, а рабочие – внутренними. Далее во внешних свойствах выделяют два подмножества: существенные (функциональные или свойства назначения), т.е. те в которых отражается цель создания нового изделия, и утилитарные (нефункциональные), присущие любому реальному объекту данного класса.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.33. Под целесообразностью $\langle M, P \rangle$ -пространства будем понимать возможность выделения всех причинно-следственных отношений для каждого "существенного" и "утилитарного" свойства.

Здесь причинно-следственное отношение трактуется как маршрут: « $P_1 \leftarrow M_1 \leftarrow (P_2, P_3, P_4) \leftarrow (M_2, M_3, M_4) \leftarrow \dots \dots$ », где P_1 – «существенный» или «утилитарный» параметр, P_2, P_3, P_4 – внутренние параметры, и т.д., до исходных. Иначе говоря, целесообразность, с одной стороны, определяется возможностью модельного обоснования каждого параметра сложного изделия, с другой – возможностью ответа на вопросы «Каково назначение данной модели?», и «В обосновании значений какого параметра она «принимает» участие?».

◆ Одна из самых трудных задач в любом достаточно сложном проекте – обеспечение сбалансированности разрабатываемой системы. Эта характеристика $\langle M, P \rangle$ -пространства с трудом поддается точному определению, но квалифицированный конструктор обычно хорошо знает, что имеется в виду. Можно, видимо, сказать, что сбалансированность – это соразмерность затрат ресурсов по каждой из компонент достигаемому эффекту, что требует многократного итерационного движения по маршруту «цель – средства – результат». Сложность реализации этого маршрута в процессах ИП состоит в том, что цели часто на этом уровне носят вербальный характер, средства – это моделирование, результат – это значения параметров. Но неверное решение на модельном уровне приведет к созданию «несбалансированного» сложного изделия.

Интересное решение этих проблем предлагает И.Г.Захаров [75, 76], справедливо рассматривая проблему балансирования модельного комплекса через призму интересов целей исследований в целом. Он считает, что процесс балансирования является обратной стороной проблемной ориентации рассматриваемых моделей. Поэтому, предлагает достижения указанной цели через редуцирование «переутяжеленных» модельных фрагментов.

И действительно, чаще всего несбалансированность заключается в использовании функционально избыточных средств. Здесь уместно привести такие метафоры: «стрелять из пушки в воробья» или «забивать гвозди микроскопом». Поэтому на модельном уровне, тем более когда исходной информации недостаточно, желательно «глубоко проработанные модельные фрагменты» (чаще ориентированные, кстати, на другие применения) «огрублять». Такие редукции моделей может делать только квалифицированный конструктор, исследователь, проектировщик.

Определять это качество $\langle M, P \rangle$ -пространства здесь не будем. По-видимому, неявно сбалансированность $\langle M, P \rangle$ должна определяться через номенклатуру параметров и их областей допустимых значений. Так как про-

цесс редукции заключается, с одной стороны, в фиксации значений некоторых параметров в моделях, с другой – в "сужении их доменов".

Теперь рассмотрим некоторые операции синтеза-анализа $\langle M, P \rangle$ -пространства.

1) Объединение ("стыковка") различных методик (по-вертикали и по-горизонтали), их согласование (сопоставление различных точек зрения на моделируемые процессы). Основой соответствующих процессов являются операции объединения и пересечения соответствующих $\langle M, P \rangle$ -окрестностей.

2) Динамическое смещение фокуса внимания, перемена точек зрения на фрагменты $\langle M, P \rangle$ -пространства.

Такое смещение фокуса внимания представляет собой перенесение центра $\langle M, P \rangle$ -окрестности в любой элемент этой окрестности (указанный пользователем). И влечет за собой соответствующую "сортировку" элементов и их отношений на "логическом уровне". Фактически осуществляется переход от данной $\langle M, P \rangle$ -окрестности к изоморфной относительно ее.

3) Построение целесообразных структур $\langle M, P \rangle$ -пространства.

Пользователь указывает "целевые параметры", а система строит соответствующую пирамидальную сеть (см. рис. 3.9). Или, пользователь указывает исходные параметры ("рецепторы"), система строит, опять-таки, пирамидальную сеть соответствующего фрагмента $\langle M, P \rangle$ -пространства.

4) Построение модельных покрытий.

Пользователь перечисляет параметры, его интересующие, а система определяет модели связанные с данными параметрами. Или наоборот, пользователь указывает подмножество моделей, а система определяет релевантное подмножество параметров.

5) Графическое представление структуры $\langle M, P \rangle$ -пространства, ее навигация.

Все операции, представленные выше, должны производиться на уровне трансформации соответствующих графических образов. Управление их осуществлением должно сопровождаться процессами навигации фрагментов $\langle M, P \rangle$ -пространства.

6) Абстрагирование $\langle M, P \rangle$ -окрестностей на уровне различных параметров, областей их допустимых значений.

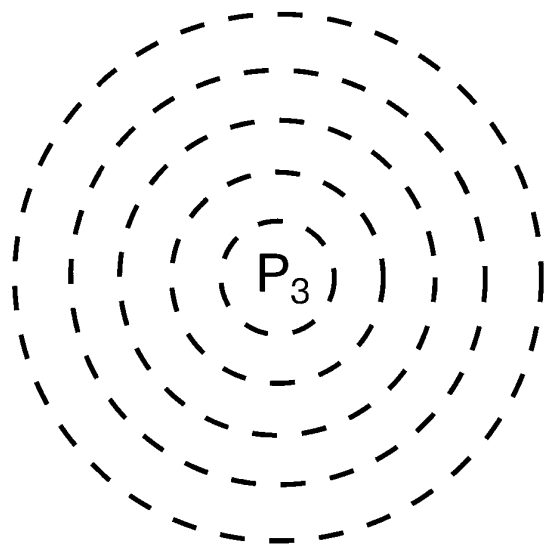
Например, действительно часто не имеет значения, каким методом синтезирована модель. Сложность этой операции обусловлена тем, что в соответствующих фрагментах $\langle M, P \rangle$ -пространства возникают межмодельные отношения.

7) Определение таких характеристик фрагментов $\langle M, P \rangle$ -пространства, как целостность, целесообразность, полнота, непротиворечивость, связность, согласованность, сбалансированность.

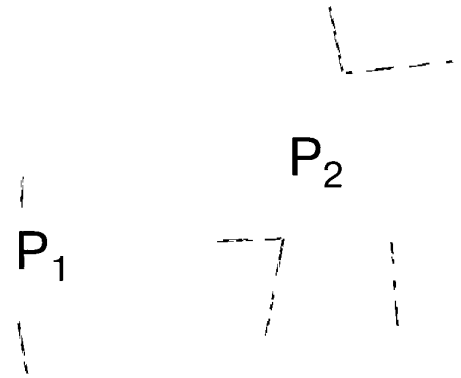
По возможности все эти операции должны сопровождаться синтезом соответствующих графических образов. На рис. 3.14 представлен пример фрагмента $\langle M, P \rangle$ -пространства отражения результатов объединения моделей

$$(M_1 = \bigcup_{i=1}^3 M_{1i}).$$

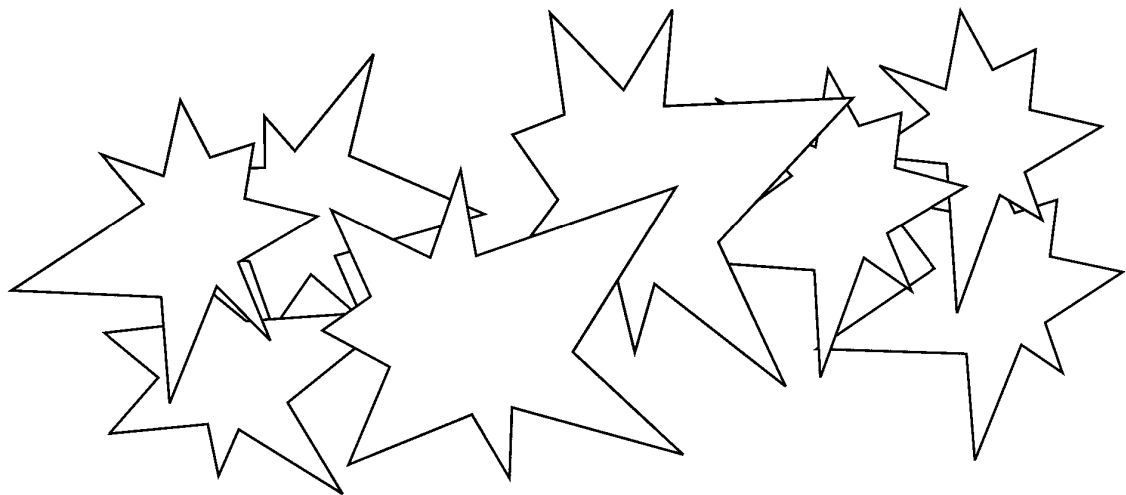
В этой главе, в основном, мы рассматривали модели и параметры $\langle M, P \rangle$ как целостные образования, неделимые элементы, атомарные компоненты. Теперь исследуем их отношения на более детальном уровне.



a)



б)



в)

Рис. 3.14. Условные графические представления методик в $\langle M, P \rangle$ -пространстве

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ МОДЕЛЯМИ: ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СВОЙСТВА, КЛАССИФИКАЦИЯ, РЕШЕТКИ

Теперь все больший интерес вызывают случаи одновременного использования знаний из разных научных предметов в ситуациях решения различных социотехнических задач – при обучении и воспитании людей, управлении научными исследованиями и разработками, планировании социального развития отдельных предприятий, отраслей промышленности и регионов и т.п.

Г. П. Щедровицкий

4.1. Тексты моделей и неявные их контексты: уровень информативности параметров

Здесь, и в дальнейшем, не будем различать понятия "модель" и "математическая модель". В рамках данного исследования принятый уровень формальности, считаем, достаточным для адекватной трактовки результатов; тем более, что, очевидно, трудно привести грань между этими понятиями учитывая степень развития и разнообразия математического аппарата. Формализмы, нами выбранные, обусловлены целями исследования.

В этой главе I -ую модель будем обозначать MMI . Будем считать $MM : Y = F(X)$, где Y, F, X – вектора. Кроме этого будем учитывать и неявный контекст – Z , т.е. то множество параметров, которое не входит в текст модели.

Тогда моделью в этой главе можно считать шестерку

$$M = \langle F, X, Y, Z, \text{Dom } X, \text{Dom } Z \rangle, \quad 4.1$$

где: $F = (f_1, f_2, \dots, f_m)$ – отображение, осуществляемое моделью;

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор параметров-аргументов;

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ – вектор параметров-функций;

$Z = (z_1, z_2, \dots, z_k)$ – вектор контекстных параметров;

$\text{Dom } X = (\text{dom } x_1, \text{dom } x_2, \dots, \text{dom } x_n)$ – область определе-

ния

независимых параметров;

$Dom Z = (dom z_1, dom z_2, \dots, dom z_k)$ – область определения

контекстных параметров

Здесь, под контекстными параметрами понимаются параметры, описывающие свойства и характеристики моделируемого процесса, не входящие, непосредственно, в модель. Они чаще всего принимают постоянные значения или значения из какой-либо области определения, например: $F=ma$, для $V \ll 300000$ км/сек. В соответствии с определениями главы 2 речь идет фактически о неявном контексте.

Иначе модель можно представить как систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n); \\ y_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n); \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ y_m = f_m(x_1, x_2, \dots, x_n). \end{array} \right. \quad 4.2$$

С учетом различных контекстных условий ее адекватности исследуемому процессу: $Dom X$, $Dom Z$ и полная идентификация X , Y , Z .

При совместном анализе *ММ* учет контекстов еще более значим. Так например, совместный анализ *ММ*, моделирующих один процесс различными методами, по видимому, не вызывает затруднений, т.к. модели определены в одной параметрической среде. Также легко сравнивать модели, построенные для различных областей определения X -переменных. Однако, когда необходим анализ моделей (быть может построенных даже одним методом) семантически близких, например, по принадлежности одному агрегату в корабле, но определенных в различных параметрических базисах (здесь и в дальнейшем под параметрическим базисом будем понимать объединение идентификаторов всех параметров модели: $X \cup Y \cup Z$), могут возникнуть непреодолимые трудности. Таким образом для проведения совместного анализа *ММ*, их необходимо привести к единому параметрическому базису.

Это означает, что для всех переменных одной модели ($X1$, $Y1$, $Z1$) должны быть определены значения параметров другой мо-

дели (X_2, Y_2, Z_2). Поскольку расширять тексты моделей, естественно, мы не можем, все действия по приведению моделей к единому параметрическому базису выполняются в контексте. Для этого определяются симметрические разности X_1 и X_2 , Y_1 и Y_2 , Z_1 и Z_2 , и всеми переменными – результатами дополняются соответствующие множества Z_1 и Z_2 . Естественно значения дополнительных Z_{12} и Z_{21} должен определить пользователь-исследователь. Таким образом, происходит расширение контекстов моделей.

Обратим внимание еще на один интересный пример расширения контекста модели. При определении локального контекста в уравнениях ММ в синтезе ГО фактически также происходит увеличение множества кардинального числа Z -переменных, но при этом трансформируется и текст моделей: переменная X переходит в ранг переменной Z . Здесь правомерно говорить о трансформации текста ММ в контекст.

Представляется уместным провести аналогию построения единого параметрического базиса со сдвигами и совмещениями фокусов внимания и точек зрения в лингвистике. По сути, приведение ММ к единому базису соответствует желанию исследовать процесс с разных точек зрения. Аналогия между ММ и точкой зрения на процессе также, очевидно, правомерна.

Таким образом с помощью механизмов учета и обработки контекстов становятся возможными, с одной стороны, коллективный анализ моделей (при условии их "отчуждения"), с другой – совместный анализ самых разнообразных моделей.

В четвертой главе рассматриваются операции алгебры и логики текстов и контекстов математических моделей в *мультимодельных системах*. Алгебра включает операции сужения, расширения, погружения, объединения и пересечения контекстов моделей. Логика текстов и контекстов создает основания для определения схем ассоциативного вывода, трансформации текстов в контекст и наоборот, схем обобщения, агрегации, детализации, вывода по аналогии.

После построения такого формального аппарата станет возможным реализация программно-информационного комплекса создания единого параметрического базиса-универсума для всех моде-

лей, синтезируемых и анализируемых в проектных, научных и экспериментальных исследованиях. Основой такой интеграции моделей является целостность объекта.

Порожденные этим базисом отношения между моделями и параметрами должны быть занесены в БД ММ. Таким образом, появляется качественно новая основа графического анализа ГО. С другой стороны, графический анализ различных (теперь семантически и синтаксически) совместимых ММ поможет определить новые, более тонкие, различия и общность комплекса ММ, т.е. система ГРАММ в этом режиме, фактически, выявляет новые аспекты исследуемых процессов. Определенные особенности ММ должны быть записаны в БД ММ и т.д. Операции системы ГРАММ на этом уровне названы вторичным синтезом-анализом ГО ММ. Все эти отношения между параметрами определяются с использованием концептов параметров: $S(P)$, точнее посредством множества их идентификаторов $\{P_{id}\}$.

Для проведения совместного графического анализа различных уравнений необходимо установить соответствие координатных осей (параметров) одной ММ координатным осям другой. Одной из целей построения единого базиса и является установление этого соответствия.

Исследования показали, что при определении общего параметрического базиса целесообразно выделить три типа параметров: *полностью эквивалентные*, *физически эквивалентные* и *семантически подобные*.

- Класс полностью эквивалентных параметров очевиден – это физически одни и те же параметры, используемые в различных ММ для представления одних и тех же свойств.

- Под физически эквивалентными параметрами мы понимаем физически одни и те же параметры, но используемые для моделирования различных свойств. Примером параметров второго класса является температура: в ядерном реакторе, заборной воды, тела человека и т.д. Правомерность расположения на одной оси переменных первого класса не вызывает сомнений, с параметрами второго класса надо быть осторожной. В любом случае необходимо

привести эти параметры в различных моделях к единым единице измерения и размерностям.

- Семантически подобные параметры – это переменные, для которых исследователь желает исследовать возможные причинно-следственные отношения (их корреляцию). Поэтому не только единицы измерения их могут быть различными, но и свойства, ими моделируемые, могут иметь мало общего. *Возможна только одна такая переменная для сравниваемых моделей.*

Заметим, что в данном случае, текст модели определяется совокупностью функциональных зависимостей (ФЗ), представляющих собой отображение: $X \rightarrow Y$. При этом, в F -векторе, фактически определяется структура модели (например, коэффициенты для алгебраических полиномов), ее разновидность и формат. Посредством ФЗ мы можем определять модели-таблицы решений, системы продукций, автоматные модели и т.п. Таким образом, рассматривается весьма широкий класс моделей. Посредством параметров и их значений моделируются (эксплицируются, формализуются) элементарные свойства исследуемых процессов, а средствами ФЗ отношения между ними, тогда формулы ММ (текст ее) – формальная запись ФЗ. Понятие "элементарное свойство" нам необходимо для того, чтобы подчеркнуть его "неделимость", т.к. любая ФЗ также описывает (формализует) какое-либо свойство исследуемого процесса, которое может использоваться как базовое для построения других ФЗ. Таким образом мы получаем семантическую сеть, которую можно рассматривать как теорию данной предметной области, если ФЗ поставить в соответствие теоремы, а элементарным свойством – аксиомы.

Заметим, что и в тексте и в контексте моделей фактически определяются отношения. Но, если в тексте эти отношения (суть отображения $X \rightarrow Y$) между переменными, то в контексте – между переменными и их значениями. В частности, метод синтеза модели можно рассматривать как параметр, определенный на соответствующем множестве.

Проблема "отчуждения" модели от создателя заключается в необходимости полного определения Z -переменных. При этом не

имеется ввиду абсолютная полнота: законы Ньютона никто не станет применять для субсветовых скоростей или нет необходимости говорить, что проектируется корабль из железа. Но часто неучет именно контекста ММ ведет к неверной ее интерпретации. Например, незнание каким методом синтезирована модель и/или специфики трактовки результатов использования данного метода. Заметим, что зачастую создатель модели многие необходимые условия (параметры) адекватности модели исследуемому процессу учитывает неявно (неосознанно). Поэтому задача построения контекста ММ (определения значений Z -переменных) аналогична задачам "отчуждения" знаний при построении экспертных систем и относится к проблематике искусственного интеллекта.

Поскольку речь идет о ММ (абстрактном отражении исследуемого процесса), то в контексте можно выделить три типа условий (параметров): очевидные, несущественные и значимые. Об очевидных параметрах говорилось выше. Несущественными параметрами мы считаем переменные, которые уместно не учитывать в данной модели. Предметом нашего изучения являются значимые параметры. Заметим, что иногда трудно провести грань между значимыми и незначимыми (несущественными) параметрами. Это является предметом отдельного исследования. При построении модели некоторые параметры переводят в ранг контекста считая, что их воздействием (в отдельных пределах их значений) на исследуемый процесс можно пренебречь. Поэтому грань между аргументами (X -переменными) ММ и контекстом (Z -переменными) весьма тонкая.

Таким образом, можно ввести уровень значимости параметров в моделях. Под ним будем понимать степень влияния изменения параметра на исследуемый процесс; обозначим его через Q . При этом введем два значения: Q_T - уровень значимости, "после которого параметр попадает в текст" модели и Q_K - "после которого" параметр учитывается в контексте.

На рис. 4.1 представлен пример трансформации текстов и контекстов моделей с учетом значимости параметров в них при передаче какой-либо модели для потенциального использования соответствующего изделия в сложном объекте (например, при проектировании корабля). Здесь $M1$ представляет собой модель, которую

"ждет" проектировщик корабля, а $M2$ - модель, которую ему представляет разработчик. Очевидно, в данном случае соответствующее изделие разработано для применения в "существенно" иных условиях.

Однако, вполне очевидно, что Q зависит от области допустимых значений параметра. И так как, чем больше изменяет значение Y меньше изменение соответствующего X_i , тем больше значение Q , то для "непрерывных" областей допустимых значений X_i (точнее, в данном случае P_i) в качестве Q можно использовать значения производных.

На рис. 4.2 приведен пример диаграммы значимости параметров в модели, характеризующей некоторый процесс. При этом, под $\text{Dom}P_i$ понимается нормированный домен. Для его определения необходимо построить обобщенную шкалу значений, т.е. привести все единицы измерения параметров (км/час, кг, метры, градусы и т.д.) к единой размерности: соответствующие методы известны. Обратим внимание, что для различных моделей на разных доменах параметры могут "исчезать" из текста, контекста и "появляться" в них.

Можно рассматривать фактический уровень значимости, ожидаемый, прогнозируемый, интуитивный и т.п. В дальнейшем мы рассмотрим отношения между категориями "уровень значимости" и "степень информативности", которая также представляет существенный интерес для предметной области ПИ, ТИ, ЭИ.

Основой любой ММ является ФЗ. Возможны и частные случаи, когда отображение, осуществляемое ММ, определяется одной ФЗ. Тогда возникает вопрос, когда ФЗ относятся к одной модели, а когда к разным. В частности, может ли в одной ММ различных ФЗ быть $X_i \cap X_j = \emptyset$, где X_i - вектор независимых переменных ΦZ_i , а X_j - соответствующий вектор ΦZ_j . Очевидно, решение этой проблемы - прерогатива создателя модели (исследователя соответствующего процесса. Однако, можно с уверенностью контактировать, что ФЗ одной модели должны иметь идентичные контексты и доказать соответствующую теорему. С этой точки зрения возможно (вырожденный случай) $X_i \cap X_j = \emptyset$.

Так, рассмотрим две функциональные зависимости:

$$y_1 = f_1(x_1, x_2),$$

$$y_2 = f_2(x_2, x_3).$$

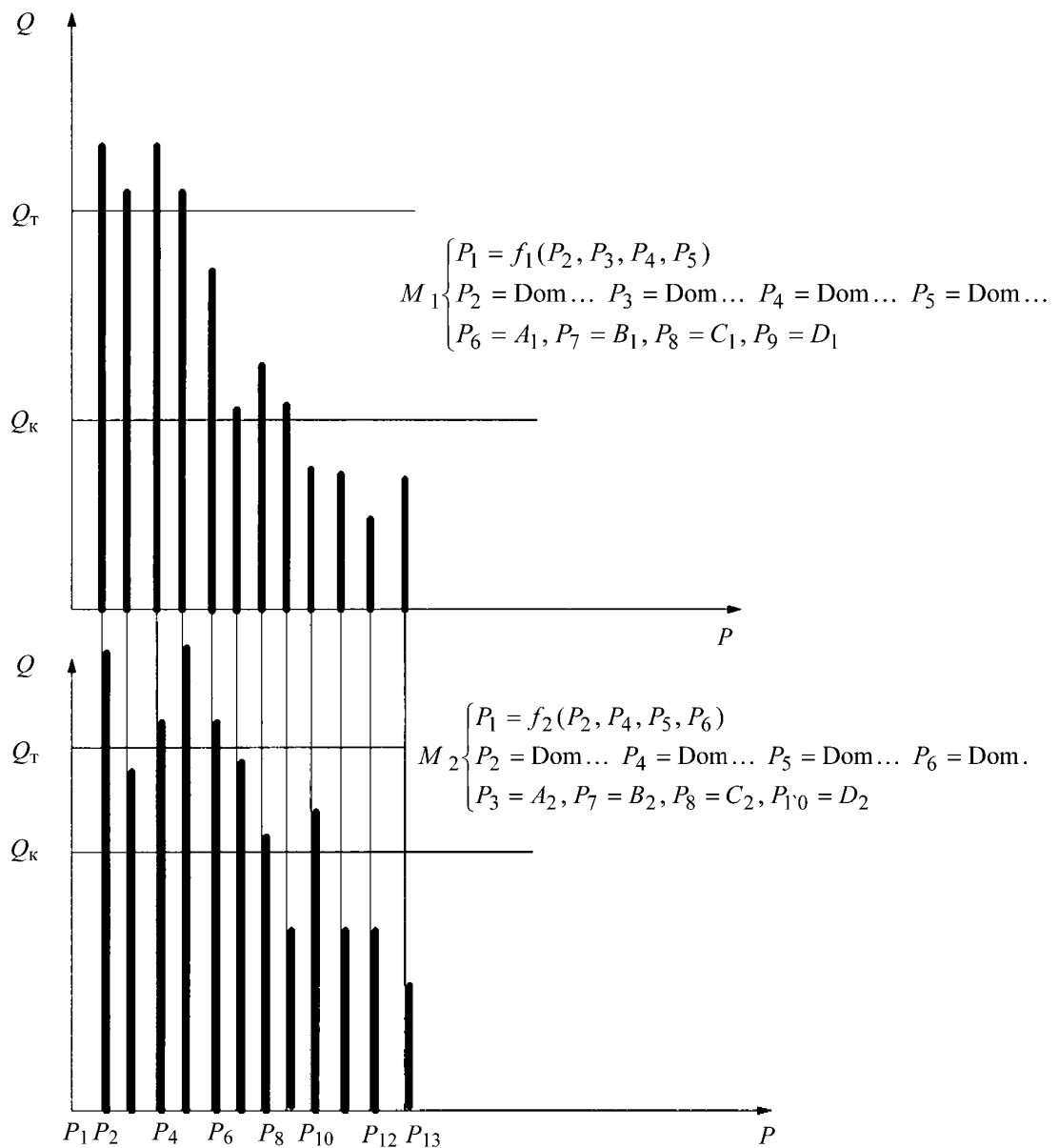
Если эти ФЗ принадлежат одной ММ (т.е. у нее для них общий контекст), то очевидно, что y_1 не зависит от x_3 , а y_2 не зависит от x_1 .

Однако, если эти ФЗ принадлежат разным моделям, ответ не столь очевиден и требует привлечения более глубоких знаний, т.е. контекстов этих моделей.

С нашей точки зрения переменные могут быть не учтены (не идентифицированы) в контекстах моделей по следующим причинам.

1. Данные параметры не влияют на ФЗ модели (ее текст).
2. Указанные параметры влияют на текст (ФЗ) модели, но пренебрежимо мало. Часто, однако "грань существенности" влияния в одних случаях правомерна, а в других нет.
3. Диапазоны значений переменных контекста (не включенные явно) очевидны для всех. Например, $F=ma$, для $V \ll 300000$ км/сек.
4. Параметры, значения которых создатель ММ считает очевидными, а пользователь не знает этого, поэтому не учитывает и иногда не корректно трактует модель.
5. Параметры, которые создатель или забыл идентифицировать, или ошибочно не учел. Это практически всегда ведет к неверной интерпретации ММ.
6. Создатель ММ ошибочно идентифицировал переменные контекста или неверно определил их значения. Результат анализа также можно предсказать.

Синтез единой модельной среды исследуемых процессов должен способствовать выявлению всех аномалий, связанных с текстами и контекстами интегрируемых моделей.



$$M_2 \begin{cases} P_1 = f_2(P_2, P_4, P_5, P_6) \\ P_2 = \text{Dom} \dots P_4 = \text{Dom} \dots P_5 = \text{Dom} \dots P_6 = \text{Dom} \dots \\ P_3 = A_2, P_7 = B_2, P_8 = C_2, P_{10} = D_2 \end{cases}$$

$$M_1 \begin{cases} P_1 = f_1(P_2, P_3, P_4, P_5) \\ P_2 = \text{Dom} \dots P_3 = \text{Dom} \dots P_4 = \text{Dom} \dots P_5 = \text{Dom} \dots \\ P_6 = A_1, P_7 = B_1, P_8 = C_1, P_9 = D_1 \end{cases}$$

Рис. 4.1. Пример трансформации текстов и контекстов моделей с учетом значимости параметров при передаче модели для использования

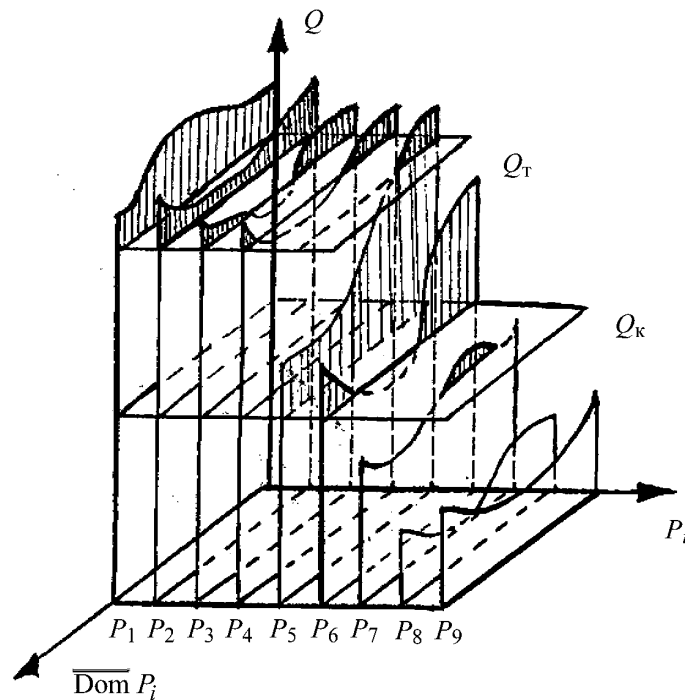


Рис. 4.2. Пример диаграммы уровней значимости параметров во множестве моделей, характеризующих некоторый процесс

Заметим, что в контексте ММ можно определять самые различные параметры, характеризующие исследуемые процессы, но не входящие в текст ММ. К контексту ММ представляется правомерным отнести и характеристики методов синтеза моделей, свойства исходных данных, различные условия эксперимента. Так например, по-видимому, целесообразны следующие параметры контекстов ММ: метод синтеза модели, автор модели, номер эксперимента и т.п. Однако, при определении уровня совместимости контекстов моделей, очевидно, эти параметры учитывать нецелесообразно. Поэтому, их желательно выделить в отдельный класс и отнести к идентификации модели.

4.2. Отношения между моделями на уровне тестов и контекстов

Рассмотрим возможные отношения между текстами и контекстами двух моделей. При этом, пока, Y -параметры отнесем к классу X -переменных: можно, условно, считать, что вместо $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, рассматриваются $g(y, x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$.

Заметим, что анализ отношений между двумя моделями не ограничивает общности рассмотрения, т.к. эти отношения достаточно просто распространяются на исследование связей между любым множеством моделей. Например, "последовательным наращиванием" этих отношений:

$$\bigcup_{I=1}^n MMI = (\dots((MM1 \cup MM2) \cup MM3) \cup \dots) MMn.$$

Это свойство обусловлено ассоциативностью операций объединения или пересечения моделей (см. главу 5).

Итак, имеем две модели $MM1 (X1, Z1)$ и $MM2 (X2, Z2)$, где $X1$ и $X2$ - соответственно, множества, идентификаторов параметров текстов $MM1$ и $MM2$, а $Z1$ и $Z2$ - соответственно идентификаторы параметров контекстов $MM1$ и $MM2$.

Определим множества:

$M5 = X1 \cap X2$ - идентификаторы совпадающих параметров текстов $MM1$ и $MM2$;

$M6 = Z1 \cap Z2$ - идентификаторы совпадающих параметров контекстов $MM1$ и $MM2$;

$M7 = X1 \cap Z2$ - идентификаторы параметров текста $MM1$, совпадающие с идентификаторами параметров контекста $MM2$;

$M8 = X2 \cap Z1$ - идентификаторы параметров текста $MM2$, тождественные идентификаторам параметров контекста $MM1$.

Тогда, очевидна семантика множеств

$$\begin{aligned} M1 &= X1 - M5 \cup M7 = X1 - X1 \cap X2 \cap X1 \cup Z2; \\ M2 &= Z1 - M6 \cup M8 = Z1 - Z1 \cap Z2 \cap Z1 \cup X2; \\ M3 &= X2 - M5 \cup M8 = X2 - X2 \cap X1 \cap X2 \cup Z1; \\ M4 &= Z2 - M6 \cup M7 = Z2 - Z2 \cap Z1 \cap Z2 \cup X1. \end{aligned} \quad 4.3$$

Заметим, что по определению множеств $X1, Z1, X2, Z2$ справедливы соотношения $X1 \cap Z1 = \emptyset, X2 \cap Z2 = \emptyset$.

Поэтому, очевидны и следующие отношения

$$MI \cap MJ = \emptyset, \text{ когда } I \neq J; I, J \in \{1, 2, \dots, 8\}. \quad 4.4$$

С другой стороны, по построению множеств $M1-M8$

$$X1 \cup X2 \cup Z1 \cup Z2 = \bigcup_{I=1}^8 MI. \quad 4.5$$

Таким образом справедливо следующее утверждение.

УТВЕРЖДЕНИЕ 4.1. Система определенных множеств $M1-M8$ представляет собой разбиение множества идентификаторов параметров текстов и контекстов $MM1$ и $MM2$ на соответствующие классы эквивалентности.

Диаграмма отношений между тестами и контекстами двух моделей представлена на рис. 4.3. А в таблице 4.1 собраны все возможные варианты отношений между множествами $X1$, $Z1$ и $Z2$.

Таблица 4.1. Диаграммы отношений между множествами X_1 , Z_1 и X_2

| № п/п | Графическая интерпретация отношений | X_1 | Z_1 | $\overline{X_1 \cup Z_1}$ | X_2 |
|-------|-------------------------------------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|
| 1 | | | | \subset | ..1.0...0 |
| 2 | | \subset | | | ..0.1..0 |
| 3 | | \subset | | \subset | ..1.1..0 |
| 4 | | | \subset | | ..0.0..1 |
| 5 | | | \subset | \subset | ..1.0..1 |
| 6 | | \subset | \subset | | ..0.1..1 |
| 7 | | \subset | \subset | \subset | ..1.1..1 |
| 8 | | | \equiv | | .00.00.1 |
| 9 | | | \equiv | \subset | .01.00.1 |
| 10 | | \subset | \equiv | | .00.10.1 |
| 11 | | \subset | \equiv | \subset | .01.10.1 |
| 12 | | \equiv | | | 0.0.1.00 |
| 13 | | \equiv | | \subset | 0.1.1.00 |
| 14 | | \equiv | \subset | | 0.0.1.01 |
| 15 | | \equiv | \subset | \subset | 0.1.1.01 |
| 16 | | \equiv | \equiv | | 00011001 |
| 17 | | \equiv | \equiv | \subset | 00111001 |

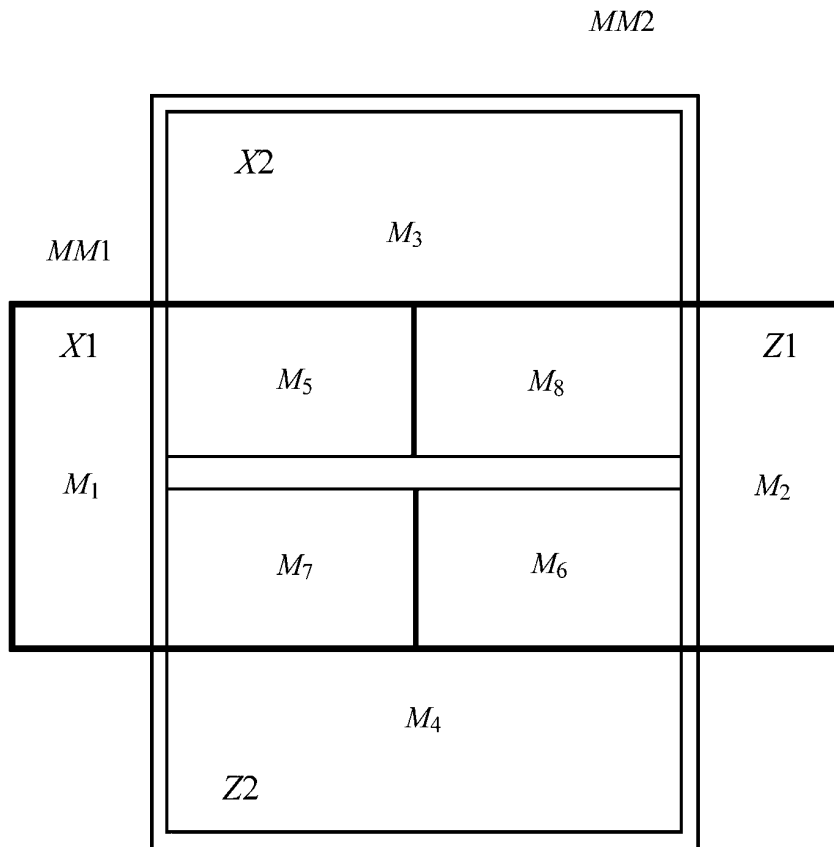


Рис. 4.3. Диаграмма отношений между текстами и контекстами двух моделей $MM1(X1, Z1)$ и $MM2(X2, Z2)$

Теперь обозначим, соответственно, $x1, x2, z1, z2, x'1, z'1, z'1, x'2, z'2, x12, z12, xz, zx$ числа элементов множеств $X1, X2, Z1, Z2, M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8$.

Тогда очевидны следующие равенства

$$\begin{aligned}
 x1 &= x'1 + x12 + xz; \\
 x2 &= x'2 + x12 + xz; \\
 z1 &= z'1 + z12 + zx; \\
 z2 &= z'2 + z12 + zx.
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

Таким образом, отношение между моделями $MM1$ и $MM2$ полностью характеризуются вектором

$$R' = (x1, z1, x2, z2, x12, z12, xz, zx).
 \tag{4.7}$$

Если в соответствии каждой компоненте вектора R' поставить: 1 - если соответствующее подмножество не пусто и 0 - ес-

ли пусто, то очевидно, что, в общем случае возможно 256 случаев.

Все они исследованы и был определен 161 *содержательный вариант*. Так, например, лишены смысла варианты отношений, когда все компоненты P' , кроме одного, равны нулю, если $R'=11000000$, $R'=01100111$ и т.д.

На рис.4.4 представлены несколько примеров диаграмм отношений между двумя моделями с интерпретацией их семантики посредством битового выражения вектора R' .

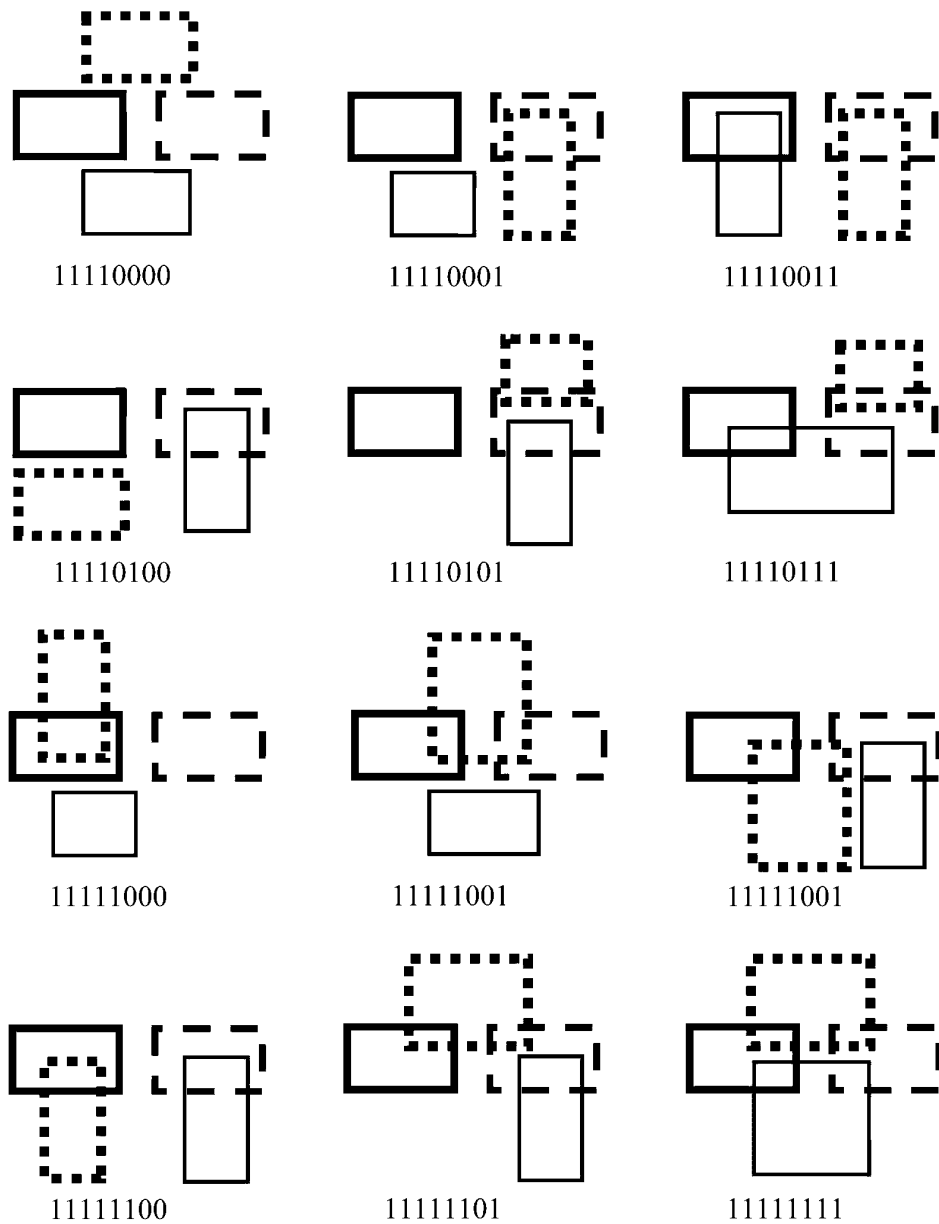
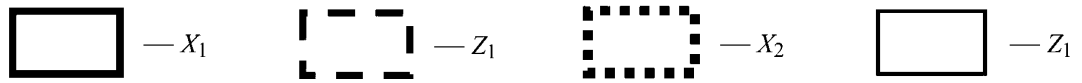


Рис. 4.4. Графическая интерпретация отношений между текстами и контекстами двух моделей

ношений двух моделей. Характеристики и семантика (физический смысл) всех возможных вариантов должен быть представлен в БЗ информационной среды теоретических, проектных и экспериментальных исследований.

Такой классификатор в битовом выражении вектора R' с минимальной интерпретацией семантики отношений моделей приведен в

табл. 4.2. На основании анализа структуры вектора R' выделены классы изоморфности отношений двух моделей.

4.3. Определения совместимости и согласованности текстов, контекстов моделей и функциональных зависимостей

На основании вектора R' можно определить *уровень совместимости* моделей. Иначе этот уровень совместимости можно интерпретировать как меру *семантической близости* соответствующих моделей.

Итак, пусть для двух моделей $MM1$ и $MM2$ имеем вектор R' .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.1. Под *уровнем совместимости контекстов* двух моделей будем понимать вектор (z_{12}, z'_1, z'_2) .

Минимальной совместимости контекстов соответствует $z_{12}=0$.

По мере роста " z_{12} " возрастает и степень совместимости контекстов соответствующих моделей. При этом, очевидно, z'_1 и z'_2 должны уменьшаться (при фиксированных z_1 и z_2).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.2. Под *нормированным уровнем совместимости контекстов* будем понимать бинарное отношение

$$L = (z_{12} / \min(z_1, z_2); z'_1 + z'_2). \quad 4.8$$

Первая компонента этого отношения характеризует относительное число *совпадающих* параметров контекстов моделей, вторая - *несовпадающие*.

Заметим, что первая компонента принимает значения на отрезке $[0, 1]$ и, поэтому, можно говорить о корреляции контекстов моделируемых процессов. Минимальной совместимости соответствует значение $(0, z'_1 + z'_2)$, максимальной $(1, 0)$. В последнем случае: $z_1 = z_2 = z_{12}$.

Полностью аналогично определим уровень совместимости текстов двух моделей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.3. Под *уровнем совместимости текстов моделей* будем понимать вектор (x_{12}, x'_1, x'_2) .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.4. Под нормированным уровнем совместимости текстов моделей будем понимать бинарное отношение

$$Lx = (x_1 x_2 / \min(x_1, x_2); x'_1 + x'_2). \quad 4.9$$

Особый интерес представляет анализ отношений между текстом одной модели и контекстом другой: компонентами вектора R' xz и zx . Исследования показали целесообразность введения показателей "текст в контексте" и "контекст в тексте". Первый характеризуется числом

$$T_k = xz / \min(x_1, z_2), \quad 4.10$$

а второй -

$$K_T = zx / \min(x_1, z_1). \quad 4.11$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.5. Под обобщенным нормированным показателем совместимости текста первой модели с контекстом второй и текста второй с контекстом первой будем понимать бинарное отношение

$$L_{xz} = (T_k, K_T). \quad 4.12$$

Теперь очевидна правомерность следующих определений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.6. Под уровнем совместимости двух моделей будем понимать вектор R' .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.7. Под нормированным уровнем совместимости моделей будем понимать следующее отношение

$$L = (Lx; Lz; Lxz), \quad 4.13$$

или, в "развернутом виде"

$$L = (x_1 x_2 / \min(x_1, x_2); x_1 + x_2; z_1 z_2 / \min(z_1, z_2); z_1 + z_2; xz / \min(x_1, z_2); zx / \min(x_2, z_1)). \quad 4.14$$

Табл. 4.2. Классификатор отношений текстов и контекстов двух моделей

| | | |
|--|--------------------|--------------------|
| 1. «Избыток» и текстов и контекстов обеих моделей | | |
| F0 11110000 | E5 11100101 | B1 10110001 |
| F1 11110001 | ED 11101101 | B3 10110011 |
| F3 11110011 | | B4 10110100 |
| F4 11110100 | D1 11010001 | B5 10110101 |
| F5 11110101 | D5 11010101 | B7 10110111 |
| F7 11110111 | D9 11011001 | B9 10111001 |
| F8 11111000 | DD 11011101 | BB 10111011 |
| F9 11111001 | | BC 10111100 |
| FB 11111011 | C5 11000101 | BD 10111101 |
| FC 11111100 | CD 11001101 | BF 10111111 |
| FD 11111101 | | |
| FF 11111111 | | |
| 2. «Избыток» текстов обеих моделей | | |
| A3 10100011 | 91 10010001 | 73 01110011 |
| A4 10100100 | 95 10010101 | 77 01110111 |
| A5 10100101 | 99 10011001 | 78 01111000 |
| A7 10100111 | 9D 10011101 | 79 01111001 |
| AB 10101011 | | 7B 01111011 |
| AC 10101100 | | 7C 01111100 |
| AD 10101101 | 85 10000101 | 7D 01111101 |
| AF 10101111 | 8D 10001101 | 7F 01111111 |
| 3. «Избыток» текста одной и контекста другой модели | | |
| 63 01100011 | 6B 01101011 | 6D 01101101 |
| 67 01100111 | 6C 01101100 | 6F 01101111 |
| 4. «Избыток» обеих контекстов (обеих моделей) | | |
| 53 01010011 | 59 01011001 | 5B 01011101 |
| 57 01010111 | 5B 01011011 | 5F 01011111 |
| 58 01011000 | 5C 01011100 | |

| | | |
|---|-------------|-------------|
| 5. Особый случай «избытка» контекста | | |
| 4D 01001101 | | |
| 6. «Избыток» и текста и контекста одной модели | | |
| 33 00110011 | 3B 00111011 | 3D 00111101 |
| 37 00110111 | 3C 00111100 | 3F 00111111 |
| 39 00111001 | | |
| 7. «Избыток» текста модели | | |
| 23 00100011 | 2B 00101011 | 2D 00101101 |
| 27 00100111 | 2C 00101100 | 2F 00101111 |
| 8. «Избыток» контекста | | |
| 13 00010011 | 1B 00011011 | 1D 00011101 |
| 17 00010111 | 1C 00011100 | 1F 00011111 |
| 19 00011001 | | |
| 9. Р-изоморфные модели | | |
| 03 00000011 | 0B 00001011 | 0D 00001101 |
| 07 00000111 | 0C 00001100 | 0F 00001111 |

В дальнейшем уровень совместимости моделей будем также трактовать, как *семантическое расстояние между моделями* или их семантическая близость.

Особый интерес представляет введение уровня совместимости ФЗ в одной модели.

Рассмотрим отношения между различными ФЗ одной модели на основе построенного выше классификатора, считая, в данном случае, что исследуются не разные модели, а разные ФЗ конкретной модели. При этом будем исследовать, как и ранее, только две ФЗ. Принципиальным отличием отношений функциональных зависимостей в рамках одной модели от отношений ФЗ различных моделей является то, что для первых контекст полностью совпадает по определению. Таким образом, из классификатора отношений моделей для данного случая необходимо рассмотреть варианты 0.0.100, где вместо точек может быть или 1, или 0. Это обусловлено тем, что множества M_2 , M_4 , M_7 и M_8 должны быть пусты, а M_6 не пусто: именно в этом случае Z_1 и Z_2 будут тождественны. После исключения из рассмотрения аномальных вариантов, мы должны рассмотреть пять случаев: 0001100 - (1), 00101100 - (2), 10100100 - (3), 10001100 - (4), 10101100 - (5). В этих вариантах 2-й и 4-й симметричны, а первый вариант соответствует тождественности ФЗ, (т.к. в этом случае множество X_1 полностью совпадает с множеством X_2) и, фактически, определяется одна и та же ФЗ.

После соответствующих исследований и, по аналогии с предыдущим, можно ввести следующие определения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.8. Под нормированным уровнем совместимости ФЗ модели будем понимать бинарное отношение

$$L_M = (x_1 x_2 / \min(x_1, x_2) - 1; x_1 + x_2 - 2 - 2xz). \quad 4.15$$

Теперь можно ввести понятие связанности модели.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.9. Под связностью модели будем понимать совместимость всех ФЗ модели.

По-видимому, связность модели некоторым образом характеризует ее целостность.

Пусть текст модели содержит " m " ФЗ. Определим все возможные попарные нормированные уровни совместимости ФЗ:

$$L_{Mij} = (x_{ij}/\min(x_i, x_j) - 1; x_i + x_j - 2 - 2x_{ij}), \quad 4.16$$

где i, j - номера ФЗ модели, ($i \neq j$);

X_{ij} - число совпадающих идентификаторов параметров

текстов ФЗ_{*i*} и ФЗ_{*j*}.

Ранее мы, фактически, рассматривали нейтральные (в терминологии известного системолога Дж.Клира) модели: совокупности зависимостей:

$$g_2(x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1})=0, \text{ где } i=1, 2, \dots, m.$$

Естественно, структурные, по сути синтаксические отношения между текстами и контекстами ММ семантически бедны. "Нарастим", теперь, семантикой (в данном случае, физическим смыслом) полученные структуры. Для этого необходимо рассмотреть причинно-следственные отношения в моделях. Начнем с исследования одной ФЗ.

Заметим, что при наличии аналитической (таблично заданной или как-нибудь иначе) зависимости $g(x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1})=0$ мы, быть может всегда (посредством ЭВМ и соответствующих алгоритмов), по крайней мере, в табличном (матричном) формате, а затем, и графически, можем получить ("вывести") значения "у"; т.е., фактически, "обратить" формулу

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1})=0 \text{ в } x_i=f(x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1})=0, \text{ где } i \in [1, n+1].$$

Однако в качестве выходных переменных могут выступать лишь те, которые представляют основной интерес для пользователя (которые он изучает как функции от других параметров) и, главное, которые отображают соответствующую семантику (физические и прочие аспекты) исследуемого процесса, его причинно-следственные отношения. Так например, нельзя изучать высоту волны как функцию амплитуды качки корабля и его скорости, или, правомерно $F=ma$, $a=F/m$, но не $m=F/a$.

Поэтому, в частности, в экспериментально-статистических исследованиях модели, как правило, называют идентификаторами изучаемых (выходных) параметров. Например, модель бортовой качки корабля:

$$A_{\psi 3\%} = 1,93 - 0,24Q_{ВП} + 0,57V^2 - 0,2VQ_{ВП} + 0,45V.$$

Обратим внимание еще на один аспект причинно-следственных отношений в ФЗ. Экспериментально-статистические модели, к примеру строятся на основании какого-либо априорного предположения (гипотезы). Поэтому, статистика "набирается" с ориентацией на "заполнение" значениями (по возможности "полное") соответствующих доменов (областей определения) независимых, в рамках данной гипотезы, параметров. Эту (первичную) ориентацию необходимо учитывать при обращении ФЗ $g(x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}) = 0$ в $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. И это обращение, производимое на синтаксических структурах, ФЗ не должно "игнорировать" семантику причинно-следственных отношений.

Таким образом, в ФЗ можно, вероятно всегда, выделить основную зависимую переменную и параметры, которые могут выступать в роли зависимых переменных. Компоновкой ФЗ в модель занимается пользователь. Одним из основных вопросов, решаемых на этом уровне является: может ли в рамках данной модели какой-либо параметр быть одновременно независимым в одной ФЗ и зависимым в другой ФЗ, т.е. правомерны ли, например, синтез и анализ модели типа

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2), \\ x_1 &= f_2(x_2, x_3). \end{aligned}$$

На данном этапе исследований отношений между моделями, нам представляются также отображения неправомерными. Такие ФЗ, по видимому целесообразно рассматривать в рамках различных моделей по многим причинам. В частности, непонятно, куда относить x_1 : это компонента вектора X или вектора Y . По сути, такие отношения между ФЗ порождают иерархическую их структуризацию.

Часто при изучении каких-либо процессов выделяют управляемые и неуправляемые параметры. Вполне очевидно, что неуправляемые параметры - суть вектор Y в MM , а неуправляемые - вектор X . Однако, в некоторых ФЗ возможны их обращения. Поэтому, правильнее будет говорить о "кандидатах на роль" " y "-ков. Так, например, в модели качки корабля можно изучать амплитуду, как функцию высоты волны, курсового угла движения относительно

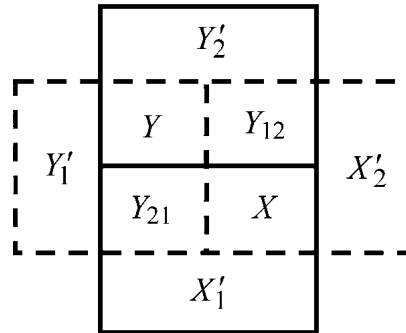
волны, геометрии, водоизмещения корабля и его скорости. Но можно исследовать и скорость движения как функцию остальных параметров, или курсовой угол движения и т.д.

Заметим, что исследование геометрии или водоизмещения корабля от остальных параметров проводится на стадии его проектирования, а скорость его и направление движения можно изменять (с целью минимизации качки) в условиях эксплуатации. То есть *"выделение"* *"у"*-ков в ФЗ зависит от *"прав пользователей моделей"* на изменение значений параметров. Таким образом, что особо значимо для мультимодельных систем, можно зафиксировать возможные точки зрения на исследуемый процесс. Тогда понятие *"управляемости"* можно интерпретировать буквально, т.е. управляемые параметры - это те свойства и характеристики проектируемого изделия, которые данный специалист может варьировать, выбирать их значения, оптимизировать по различным критериям. Например, конструктор силовой установки может выбирать различные ее типы, агрегаты, узлы, компоненты, но не имеет права менять вес, габариты и должен обеспечить требуемую мощность. Для него последние параметры являются неуправляемыми. Более того, они могут быть *"заморожены"* и выступать в роли контекста.

4.4. Отношения между функциональными зависимостями

Теперь рассмотрим все возможные отношения между двумя функциональными зависимостями.

На рис. 4.5 представлена обобщенная графическая интерпретация этих отношений между $MM1: Y1 = F1(X1)$ и $MM2: Y2 = F2(X2)$.



$$MM1 = (Y_1, X_1), MM2 = (Y_2, X_2) \Rightarrow Y_1 \cap X_1 = \emptyset, Y_2 \cap X_2 = \emptyset$$

$$X \cup Y \cup Y_{12} \cup Y_{21} = XY, X_1, X_2, Y_1, Y_2 \subset P$$

$$Y = Y_1 \cap Y_2 \quad Y'_1 = Y_1 - XY$$

$$X = X_1 \cap X_2 \quad Y'_2 = Y_2 - XY$$

$$Y_{12} = Y_1 \cap X_2 \quad X'_1 = X_1 - XY$$

$$Y_{21} = Y_2 \cap X_1 \quad X'_2 = X_2 - XY$$

$$R' = (Y'_1, Y'_2, Y, Y_{12}, Y_{21}, X'_1, X'_2, X)$$

Рис. 4.5. Графическая интерпретация отношений между моделями MM1: $(Y_1 = F_1(X_1))$ и MM2: $(Y_2 = F_2(X_2))$

Можно провести некоторую аналогию между рис. 4.5 и рис. 4.3. И здесь строится вектор R'' . И он тоже содержит восемь координат. Однако их трактовка несколько иная. Представляется что диаграмма, изображенная на рисунке и соответствующие формулы не нуждаются в комментариях.

Теперь будем считать, что вектора Y_1 и Y_2 содержат лишь по одной координате y_1 и y_2 . Таким образом, каждая модель содержит только одну функциональную зависимость в общем случае,

$$MM1: y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n);$$

$$MM2: y_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad 4.17$$

или $MM1: y_1 = f_1(X_1), MM2: y_2 = f_2(X_2),$

На основе анализа всех возможных вариантов, выделено 20 содержательных (семантически корректных).

Трактовки всех возможных отношений между двумя ФЗ представлены в табл. 4.3.

Можно выделить три обобщенных класса таких отношений (на основании семантики отношений Y_1 и Y_2).

Схемы отношений между ФЗ этих обобщенных классов представлены на рис. 4.6.

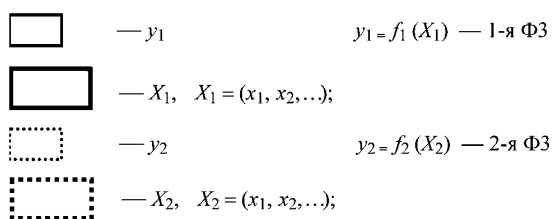
При исследовании "расстояния" между моделями можно выделить пять (последовательных) уровней их "близости".

- *первый* - это наличие общих параметров у них.
- *второй* - число совпадающих параметров.
- *третий* - наличие общих областей определения у совпадающих параметров.
- *четвертый* - размеры этих областей.

пятый - уровень соответствия ("меры совпадения") зависимостей (текстов моделей) одинаковых параметров в общих областях их определения. Последовательными эти уровни мы называем (иначе, можно говорить об их вложенности или суперпозиции) потому, что каждый последующий уровень имеет смысл только при положительности (истинности) параметрических отношений на предыдущем. Так, если есть совпадающие параметры, то можно говорить об их числе, потом имеет смысл анализ совместимости их областей определения.

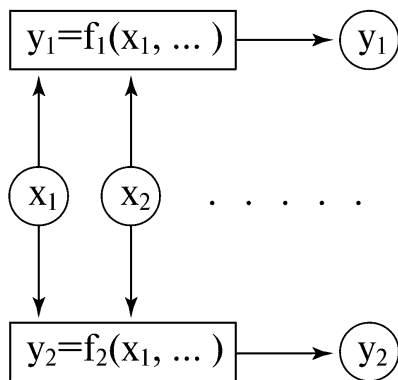
Таблица 4.3. Интерпретация всех возможных отношений между двумя функциональными зависимостями

| № п/п | Графическая трактовка | R-вектор | Пример | Интерпретация отношений между моделями |
|-------|-----------------------|----------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | | 11000110 | $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ $y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6)$ | ФЗ моделируют полностью различные процессы. Основанием их объединения в одну модель может быть только общий контекст. |
| 2 | | 11000111 | $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ $y_2 = f_2(x_1, x_4, x_5)$ | Степени общности и различия, моделируемых посредством ФЗ, процессов определяются количеством одинаковых и разных параметров. |
| 3 | | 11000011 | $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ $y_2 = f_2(x_1, x_2, x_3)$ | ФЗ второй модели определено как подмножество свойств, моделируемых во второй ФЗ. Возможно моделируются «тесно связанные» процессы или разные свойства одного процесса и тогда, быть может, $y_1 = f_3(y_2, x_3)$. |
| 4 | | 00100110 | $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ $y_2 = f_2(x_1, x_2)$ | ФЗ моделируют различные свойства одного процесса, например, бортовую и килевую качку корабля. |
| 5 | | 11000110 | $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ $y_1 = f_2(x_4, x_5, x_6)$ | При наличии общего контекста, исследуются существенно различные аспекты одного и того же свойства некоторого процесса. Возможно получение этих ФЗ из модели $y_1 = f_3(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ при $x_i = \text{const}$, при соответственно, $i = \{4, 5, 6\}$ и $i = \{1, 2, 3\}$. |
| 6 | | 00100111 | $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ $y_1 = f_2(x_1, x_4, x_5)$ | Степени общности и различия моделей одного и того же свойства определяются числами, соответственно общих и различных параметров-свойств, отраженных в ФЗ. |
| 7 | | 00100011 | $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ $y_1 = f_2(x_1, x_2)$ | Первая модель является «расширением» второй, или вторая, — «проекцией» первой при $x_3 = \text{const}$. В этом случае f_1 должно «мало отличаться» от f_2 (при $x_3 = \text{const}$). |

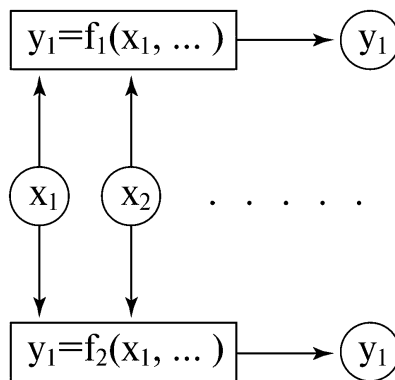


| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|---|----------|--|--|
| 8 | | 00100001 | $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ $y_2 = f_2(x_1, x_2, x_3)$ | При наличии общего контекста, можно считать, что одно и то же свойство моделируется посредством различных методов. Например, сравнивается экспериментально-статическая модель и теоретическая. |
| 9 | | 10001110 | $y_1 = f_1(y_2, x_1, x_2)$ $y_2 = f_2(x_3, x_4, x_5)$ | Вторая ФЗ является подмоделью первой ($y_1 = f_3(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$). Можно ее считать микромоделью, а первую — макромоделью. |
| 10 | | 10001111 | $y_1 = f_1(y_2, x_1, x_2)$ $y_2 = f_2(x_1, x_3, x_4)$ | Помимо отношения микро-макро, модели имеют общие и различные параметры. |
| 11 | | 10001011 | $y_1 = f_1(y_2, x_1, x_2)$ $y_2 = f_2(x_1, x_2, x_3)$ | Вторая модель построена на всех параметрах, входящих в первую и содержит дополнительные (более «подробные») параметры-свойства. |
| 12 | | 10001001 | $y_1 = f_1(y_2, x_1, x_2)$ $y_2 = f_2(x_1, x_2)$ | Микромодель определена на тех же параметрах, что и макро-модель. |
| 13 | | 10001010 | $y_1 = f_1(y_2)$ $y_2 = f_2(x_1, x_2, x_3)$ | ФЗ макро-модели определяется только параметром-свойством, моделируемом посредством ФЗ микро-модели. |
| 14 | | 10001101 | $y_1 = f_1(y_2, x_1, x_2)$ $y_2 = f_2(x_1)$ | Микромодель зависит от подмножества параметров макро-модели. Возможно такая детализация предпринята с целью упрощения ФЗ микро-модели |
| 15 | | 00011110 | $y_1 = f_1(y_2, x_1, x_2)$ $y_2 = f_2(y_1, x_3, x_4)$ | Возможно аномальный вариант, так как «уравнения баланса» определяются на различных (полностью) параметрах. |
| 16 | | 00011111 | $y_1 = f_1(y_2, x_1, x_2)$ $y_2 = f_2(y_1, x_1, x_3)$ | Можно эти ФЗ считать уравнениями баланса (есть общие параметры). Но необходимо проанализировать x_1 и x_3 . |
| 17 | | 00011101 | $y_1 = f_1(y_2, x_1, x_2)$ $y_2 = f_2(y_1, x_1)$ | Система уравнений баланса. Легко сводится к $y_1 = f_{12}(y_1, x_1, x_2)$ и $y_2 = f'_{1}(x_1, x_2)$. |
| | | | | Классическая система уравне- |

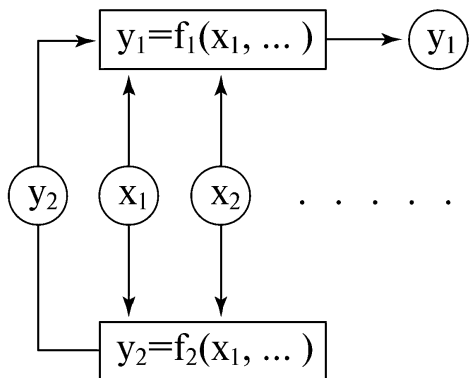
| | | | | |
|----|---|----------|--|--|
| 18 | | 00011001 | $y_1 = f_1(y_2, x_1, x_2)$ $y_2 = f_2(y_1, x_1, x_2)$ | ний баланса. Сводится к системе ФЗ $y_1 = f_{12}(y_1, x_1, x_2)$ и $y_2 = f_{21}(y_2, x_1, x_2)$. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 19 | | 00011100 | $y_1 = f_1(y_2, x_1, x_2)$ $y_2 = f_2(y_1)$ | После традиционных преобразований, в крайнем случае графически (или численно) анализируют $y_1 = f_{12}(x_1, x_2)$ и $y_2 = f_{21}(x_1, x_2)$. |
| 20 | | 00011000 | $y_1 = f_1(y_2)$ $y_2 = f_2(y_1)$ | Взаимообратные ФЗ. Возможны три варианта 1) $f_1 = f_2^{-1}$ и $f_2 = f_1^{-1}$, 3) после подстановки и получения уравнения $y_1 = f_1(f_2(y_1))$ и/или, соответственно, $y_2 = f_2(f_1(y_2))$ определяются решения y_1 и y_2 . 3) оба полученных уравнения или одно из них не имеют решения |



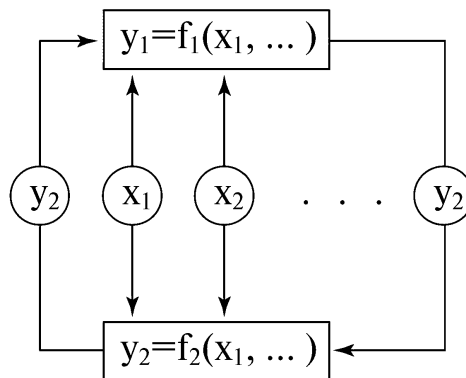
а)



б)



в)



г)

Рис. 4.6. Четыре класса отношений между двумя функциональными зависимостями

Далее, в тех случаях, когда имеются такие области, можно анализировать их размеры, и если эти размеры достаточно велики (и, если у сравниваемых моделей общие зависимые параметры) можно исследовать порядок изменения "выделенных" в обеих моделях

$$y=f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ и } y = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Первый и третий уровни близости моделей представляют качественные аспекты расстояния между ними, остальные три - количественные.

Напомним, что процесс идентификации параметров, характеризующих определенные свойства объектов в ММ мы здесь не рассматриваем; считаем, что идентификация во всех моделях, введенных в БД ММ произведена пользователями однозначно и адекватно исследуемым процессам и/или объектам.

Обратим внимание также, что при оценке меры близости моделей нет необходимости требовать совпадения тех контекстных параметров, которые характеризуют "траекторию" получения этих ММ (методы синтеза, свойства исходных данных, средства их получения, измерения и т. п.). Более того, после формальной ("автоматической, посредством программной реализации исчисления) оценки (пятого уровня) расстояния между моделями, пользователь будет исследовать причины и степень несовпадения и/или совпадения соответствующих фрагментов именно посредством анализа особенностей методов их синтеза, специфики измерительных каналов, свойств исходных данных и т.д.

4.5. Решетки $\langle M, P \rangle$ -пространства

Возможен такой гипотетический взгляд на проблему.

Условно можно представить, что исследуемый сложный процесс или объект представляется "очень большой" системой функциональных зависимостей, которая включает все необходимые локальные ММ - фактически - это одна "супермодель" "Быть может, так в природе и есть, ведь это мы членим процессы на более детальные для удобства (чаще, возможности современными методами и средствами) их изучения. Введем соответствующее пространство пара-

метров $U = X_i \cup Y_j \cup Z_k$, где X_i - независимые переменные всех ММ, Y_j - их зависимые переменные, а Z_k - их контексты. Можно даже считать, что контексты в этой супермодели "перешли" в ее текст.

Заметим (условно) различные исследователи, анализируя "свои" аспекты этой ММ строят соответствующие проекции, образуя локальные контексты. Потом некоторые контексты кажутся им несущественными и они их исключают из рассмотрения. Этот процесс повторяется многократно итерационно и иерархически, т.е. модели делятся на еще более простые (точнее, упрощенные) и т.д. Меняются исследователи и забываются "несущественные" контексты. И, в конце концов, мы получим систему самых различных моделей, из которых хотим теперь построить интегрированную модельную среду (супермодель?!).

В теории множеств такое "суперотношение" называется "универсумом" (см., например, [91]).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.10. Если все множества, рассматриваемые в рамках определенной ситуации или рассуждения, являются подмножествами некоторого множества U , то последнее является универсальным множеством (или универсумом) для данного рассуждения.

Как и в алгебре множеств, так и в нашем исчислении множество U играет существенную роль.

- Во-первых, его введение, обеспечивает возможность рассмотрения специальной операции: дополнения любого подмножества $B=U-A$. В нашем случае - это дополнение модели или их множества.

- Во-вторых, в алгебре множеств оно играет роль специального элемента "1" в пересечении (условно "умножении") множеств, т.е.

$$A \cap U = A.$$

- В третьих, его введение, обеспечивает общую верхнюю грань в частичном упорядочении подмножестве "sup", т.к. любое подмножество $A \subset U$, - у нас любая $M \subset U$.

И, поэтому, можно рассматривать полурешетку, у нас, моделей. После введения "нулевой модели", M_0 которая по определению

входит в любую модель M , т.е. $M\emptyset \subset M$, которая играет роль нулевого элемента в операции объединения ("сложения") – $M\emptyset \cup M = M$ – и общей нижней грани всех моделей. И тогда можно рассматривать решетку отношений моделей.

Без введения этих элементов трудно было бы говорить о совместном анализе различных моделей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.11. Под U -моделью (моделью-универсумом) будем понимать "универсальное" отношение между всеми значениями всех параметров, отображенных во всех моделях, используемых в исследовательском проектировании конкретного сложного объекта.

Троекратное повторение понятия "все" (или квантора \forall) подчеркивает тот момент, что любые отношения на уровнях "модель-параметр-значение" фиксируются в данном универсальном отношении, т.е. нет таких аспектов моделирования при исследовательском проектировании конкретного сложного изделия, которые не были бы отражены в U -модели.

Такие U -модели явно и неявно проектировщики конкретных узлов, агрегатов, исследователи конкретных процессов, подпроцессов всегда, фактически, себе создают. Поэтому эту U -модель можно рассматривать и на уровне "локальных рабочих мест", т.е. можно ввести U_i -модели, где i представляет собой объединение всех моделей данной подсистемы или агрегата. И, тогда U -модель строится на основе объединения U_i ; т.е. $U = \bigcup_i U_i$.

Разумеется, в БЗ U -модель хранится в "распределенном виде" (поэтому можно назвать ее "виртуальной"). И одной из основных целей создания данного исчисления является обеспечение целостности U -модели.

Заметим, что в теории баз данных при определении технологии построения схем отношений, также вводят в рассмотрение универсальное отношение, которое содержит все функциональные зависимости моделируемого (посредством данных) фрагмента предметной области. При этом локальные ФЗ рассматриваются, при декомпозиции U , как его проекции на соответствующие подмножества ("подпространства") атрибутов. Затем анализируется коррект-

ность и эффективность различных декомпозиций. В принципе существует две технологии разработки концептуальной схемы баз данных. В любом случае сначала анализируются информационные процессы данной предметной области. Потом осуществляется синтез **U-отношения**, затем его декомпозиция на отдельные отношения или синтез локальных схем отношений, потом их анализ и синтез **U-отношений**. По-видимому, наиболее эффективна "обобщенная" технология, которая предусматривает итерационность процесса проектирования, т.е. многократный "возврат" к **U-отношению** от локальных схем и многократный, последовательно «улучшаемый переход» к отдельным отношениям.

Обратим внимание, что при построении проекций - локальных отношений на основе **U-отношений**, те переменные, которые фактически становятся контекстом (соответствующие значения атрибутов) неявно переходят в обозначение-идентификацию соответствующей подсхемы.

В нашем же случае контекст формируется явно. Это обусловлено более строгим математическим подходом. И, у нас также как в технологии проектирования баз данных, **U-отношения** (соответственно **U-модель**) предназначены для обеспечения целостности, адекватности, полноты локальных отношений (моделей).

Рассмотрим подробное другое следствие более формализованного (относительно традиционных технологий БД [137]) подхода к созданию и использованию **U-модели**.

Фактически схемы предметных БД [96] определяются атрибутами информационных объектов и отношениями между ними. По аналогии, **U_i-модели** определяются параметрами, исследуемыми в рамках данных исследований (агрегата, узла, процесса и т.п.) и отношениями между ними. Но, если в "традиционных" БД отображение "фрагмент предметной области → схемы баз данных" можно считать бинарным, то в проектных исследованиях целесообразно рассматривать триаду $\langle O, P, M \rangle$, где *O* - объект, *P* - параметры, *M* - модели. Под объектом мы понимаем агрегат, узел, подсистему и т.п. до (включительно) изделия в целом - в зависимости от уровня детальности рассмотрения (см. вторую главу).

Определим понятие "рабочего места".

Концепция рабочего места важна по многим причинам.

- Во-первых, анализом и синтезом конкретных моделей может заниматься вполне конкретный исследователь или коллектив. Поэтому, мы и вводим в рассмотрение "абстрактное" РМ не фиксируя количество исследователей или тематику их исследований. Наибольший интерес, как раз, и представляют собой исследования "на стыке" предметных областей и обобщение и агрегация моделей.

- Во-вторых, введение РМ обеспечит более адекватную классификацию моделей, исследуемых в процессе проектирования сложного объекта, чем их категоризация по подсистемам или иерархичности морфологии изделия. Особый интерес представляет анализ "прямого" отображения структуры РМ проектировщиков-исследователей на структуру сложного изделия и обратного – морфологии и функциональной структуры объекта на структуру РМ.

- В-третьих (как следствие двух предыдущих факторов), построение U_i -моделей должно быть "привязано" к РМ, а не проектируемой компоненте. Так только исследователь может окончательно определить целесообразность включения в анализ тех или иных моделей и/или параметров. Наиболее значим этот процесс для обобщенных и агрегированных моделей. И отношения между U_i -моделями более естественно определять, не через связи между компонентами изделия, а между конкретными исследователями. Наконец, – вспомним, что речь идет и семиотической, а не формальной (дедуктивной) системе исчисления моделей. А изменение аксиом и правил вывода – прерогатива исследователей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.12. Под рабочим местом (исследователя) будем понимать множество моделей, синтезируемых и анализируемых конкретным исследователем или коллективом.

Будем называть это множество U_i -моделью, подразумевая под i – идентификатор данного рабочего места.

Теперь вернемся к рассмотрению триады $\langle O, P, M \rangle$. Будем считать минимальным уровнем декомпозиции U -модели – конкретное рабочее место исследователя, на котором исследуется, конструи-

руется, проектируется или испытывается данный объект (его компонента).

Отношение "O-P" ставит с соответствие объекту свойства-параметры, его характеризующие и исследуемые на данном рабочем месте.

Отношение "O-M" - соответствие объекту моделей, которые анализируются и синтезируются на данном рабочем месте.

Отношение "M-P" - суть "модели-параметры".

Будем условно считать, что на одном рабочем месте рассматривается семейство однотипных объектов. Тогда три отношения "O-P", "P-M", "M-O" - суть "N:M"; т.е.: одному объекту соответствует множество параметров и множество моделей; одной модели соответствует множество объектов и множество параметров: одному параметру - множество моделей и объектов.

| | | | | | |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| o | o | O_1 | O_2 | O_3 | |
| O_1 | | | или | | или |
| O_2 | | | | | |
| O_3 | или | | | | или |
| | | | | | |

a

| | | | | | |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| o | o | O_1 | O_2 | O_3 | |
| O_1 | | | и | и | |
| O_2 | | | | | и |
| O_3 | и | | | | |
| | | | | | |

б

| | | | | | | |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| m | o | O_1 | O_2 | O_3 | | O_n |
| M_1 | | | x | | | |
| M_2 | x | | | | | x |
| M_3 | x | | | | | |
| | | | | | | |

в

| | | | | | | |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| p | o | O_1 | O_2 | O_3 | | O_n |
| P_1 | | | x | x | | |
| P_2 | | | o | x | | o |
| P_3 | x | | o | x | x | |
| | | | | | | |

г

| | | | | | |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| p | P | P_1 | P_2 | P_3 | |
| O_1 | | | o | o | |
| O_2 | x | | | | |
| O_3 | x | | | | |
| | | | | | |

д

| | | | | | |
|----------|-----|-------|-------|-------|-------|
| m | m | M_1 | M_2 | M_3 | |
| M_{21} | O | | | | |
| M_{22} | | x | | | |
| M_{23} | $+$ | $+$ | $+$ | | |
| | | | | | |

е

Рис. 4.7. Матрицы модельно-параметрического пространства

На рис. 4.7 представлены матрицы, которые моделируют отношение $\langle O, P, M \rangle$ в вычислительной среде. Представление ИЛИ-ИЛИ-графа в виде матриц $\langle O, O \rangle$ -И и $\langle O, O \rangle$ -ИЛИ изображены на рис. 4.7а и 4.7б, соответственно, а матрицы $\langle O, M \rangle$ и $\langle O, P \rangle$ представлены на рис.4.7в и 4.7г, соответственно. На рис.4.7в отражаются отношения: "какие модели связаны с данным объектом" и "какие объекты моделируются в данной модели". На рис.4.7г представлены отношения: "Какие параметры характеризуются данными параметрами". На рис.4.7д и 4.7е представлены отношения между моделями и между параметрами, соответственно. Обратим внимание, что в "клетках матриц" можно писать различные характеристики. Например, на рис.4.7г "x" - означает, что значения параметра являются входными для данного объекта, а "o" - выходными, на рис.4.7д-"x" - отношение "проекции", "+" - объединение, "o" - обращение модели, а на рис.4.7е - "o" - объединение параметров, "x" - их агрегация.

С помощью таких же матриц можно описывать топологию (геометрию и размещение) узлов в корабле, системы передачи и преобразования энергии, материи, информации. Но, т.к. любой объект можно определить на уровне вербальной модели, то все эти схемы-матрицы можно представить в виде структурированного семейства $\langle M, P \rangle$ -матриц. При этом такие понятия как "размещение - близко, далеко, ...", или "объект состоит из узлов...", или "энергия передается..." и т.д. моделируются соответствующими параметрами.

На рис. 4.8. представлен пример отношений "модели-параметры".

Если проводить дальнейшую аналогию между БД ММ исследовательского проектирования традиционными БД, то вполне, очевидно, что атрибут (описывающий свойства предметной области) - параметр ММ, а схема ФЗ атрибутов - интенционал ММ, домен атрибута - область допустимых значений параметра, экстенционал отношения - отношение между параметрами в табличном формате.

Однако определенные затруднения представляет собой дальнейшая аналогия. Так, первичным при определении атрибутов, их доменов, функциональных зависимостей между ними являются информационные процессы данного фрагмента предметной области.

| $M \backslash P$ | P_1 | P_2 | P_3 | P_4 | P_5 | P_6 | P_7 | P_8 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M_1 | X_1 | X_2 | Y_1 | X_3 | — | — | Z_1 | — |
| M_2 | Y_1 | Y_2 | X_1 | X_2 | Z_1 | Z_2 | — | — |
| M_3 | — | X_1 | — | Z_1 | — | X_2 | Z_2 | Y_1 |
| M_4 | X_1 | Y_1 | Y_2 | Z_1 | X_2 | X_3 | — | Z_2 |
| M_5 | Z_1 | Z_2 | — | — | X_1 | Y_1 | X_2 | X_3 |
| M_6 | Y_1 | X_1 | X_2 | Z_1 | Z_2 | — | — | — |

Рис. 4.8. Пример отношений «модели-параметры»

Следуя прямой аналогии, в проектных исследованиях, тогда, определяющими должны быть параметры - исследуемые свойства объекта, или сам конструируемый (или исследуемый) объект, который и определяет эти свойства-параметры? Но предметом проек-

тных исследований, в принципе всегда являются модели. Так может быть они первичны? В любом случае, целью проектных исследований является создание облика нового изделия, и объекта пока физически не существует. Поэтому, в триаде $\langle O, P, M \rangle$ базовым будем считать объект, который отображается в БД и БЗ посредством соответствующих параметров и моделей. При этом, параметры в триаде чаще "более" значимы, чем модели, т.к. объект исследуется посредством анализа "своих" свойств. Однако, заметим, что все три компоненты существенно "вливают" друг на друга. Поэтому в БД ММ определение U_i -моделей и легче и труднее, чем в традиционных БД. Так, с одной стороны, определение формальных зависимостей между параметрами в моделях обеспечивает более мотивированное определение множества рассматриваемых в U_i параметров и их областей определения, с другой – исследовательский характер процессов проектирования сложных объектов вносит существенную долю неопределенности состава и структуры параметров и моделей. В любом случае рассматривать дифференцированно эти три компоненты нельзя.

Введение в рассмотрение супермодели обеспечивает возможность построения решеток в $\langle M, P \rangle$ -пространстве.

Фактически каждая модель M «вырезает» некоторое подмножество – контекст данной модели. Такое выделение контекста в основном осуществляется в двух направлениях:

- по множеству $PI = \bigcup_{i \in I} PI_i$ (где I – множество всех параметров $\langle M, P \rangle$ -пространства) идентификация параметров;

- по множеству $Dom P = \bigcup_{i \in I} Dom P_i$.

Введем \emptyset , принадлежащие контексту любой модели. Теперь можно определить решетку $R_I^1 = \langle PI, \subseteq \rangle$ на множестве PI идентификаторов параметров, входящих в различные модели. В ней роль максимального элемента играет контекст-универсум, а минимального – \emptyset . Аналогичную решетку можно построить и на множестве $Dom P$ доменов параметров моделей $R_{Dom}^2 = \langle Dom P, \subseteq \rangle$. Однако, домены могут представлять собой не только дискретные множества, но и

непрерывные и дискретно-непрерывные (например, множества интервалов). В последних двух случаях целесообразно использовать методы *интервального анализа* [92] и построить соответствующие решетки $R_{Dom}^3 = \langle Dom P, \leq \rangle$.

Кроме этого, предлагается специальный класс решеток, обозначаемый нами $R_{Dom}^4 = \langle Dom P, \leq \rangle$, в которых рассматриваются "непрерывные" домены, например, интервалы $[a, b]$ и $[c, d]$.

Будем считать, что $[a, b] \leq [c, d]$ тогда и только тогда, когда $a < b \approx c < d$.

Очевидно абсолютного равенства добиваться не надо, так как для данных классов исследований более характерны нечеткие домены, «зернистость» их значений и т.п. - см. главу 2. И $b - c / \leq PA_i$, где PA_i - точность представления значений параметра P_i , и $[a, b] \subset Dom P_i$, $[c, d] \subset Dom P_i$.

Обратим внимание, что и в этих решетках $Dom P$ играет роль "единицы", а \emptyset - роль "нуля".

Можно ввести специальные операции на решетках: сложение их и умножение. Исследовав дихотомию непрерывных и дискретных областей допустимых значений параметров, можно доказать следующее утверждение.

УТВЕРЖДЕНИЕ 4.2. Топология $\langle M, P \rangle$ определяется на произведении этих четырех типов решеток, т.е.

$$R_{MP} = R_I^1 \times R_{Dom}^2 \times R_{Dom}^3 \times R_{Dom}^4 = \langle PI, Dom P; \subseteq, \leq, \leq \rangle. \quad 4.18$$

В основном решетки строятся посредством операций интеграции моделей. В роли инициатора этой интеграции может выступать *исследователь* или *вычислительная система*. В любом случае посредством операций логики текстов и контекстов определяются: целесообразность интеграции моделей; необходимость синтеза новой модели; требования к ее контексту (составу параметров и областей их допустимых значений), степень непротиворечивости моделей, уровень их полноты и т.п. Все эти операции произво-

дятся на базе анализа $\langle M, P \rangle$, в основе которого лежит исследование отношений между моделями.

Их можно оценивать на *трех последовательных уровнях*:

- степень соответствия параметров, входящих в модели;
- совпадение доменов идентичных параметров;
- степень соответствия причинно-следственных зависимостей эквивалентных подмножеств значений идентичных параметров.

Первые два уровня относятся к контекстам моделей, последний - к текстам. В исследовании отношений между моделями можно выделить *качественный* и *количественный* анализы.

Качественный анализ на каждом из трех уровней касается, соответственно, наличия/отсутствия совпадающих параметров, общих областей определения идентичных параметров, соответствия зависимостей в них.

При *количественном анализе* оценивается, соответственно, число совпадающих параметров, "размеры" совпадающих доменов, "величина областей" совпадающих (по каким-либо критериям) зависимостей.

На рис. 4.9 приведен фрагмент отношений между **MM1** и **MM2**.

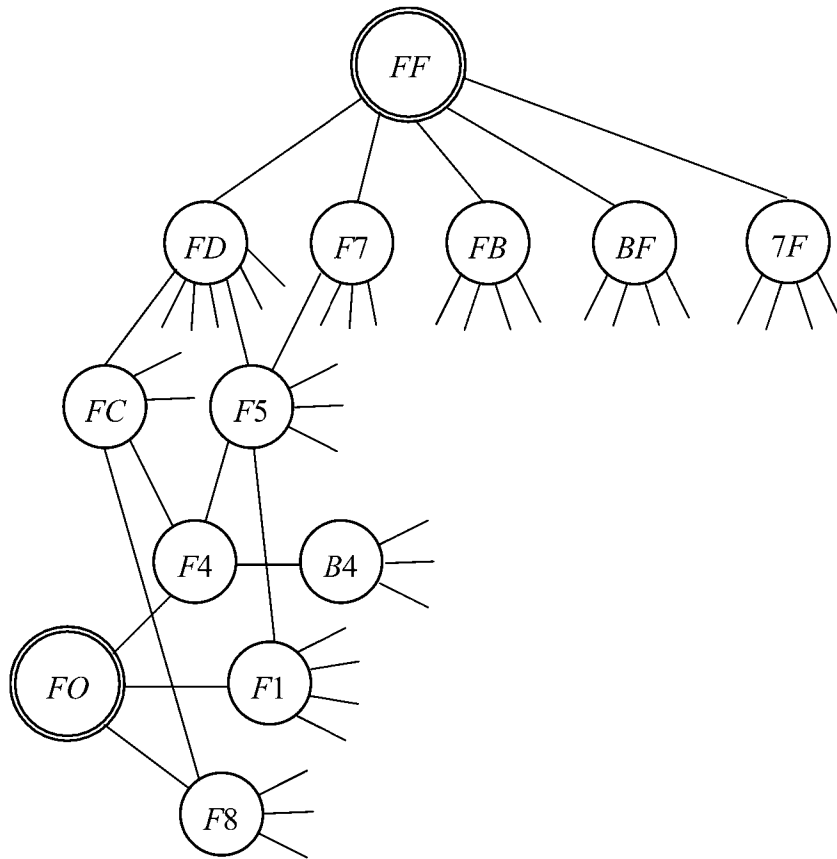


Рис. 4.9. Фрагмент отношений между ММ1 и ММ2

На рис. 4.10 представлены решетки отношений двух функциональных зависимостей. Эти четыре типа решеток соответствуют четырем классам отношений (см. рис. 4.6 и табл. 4.3).

На рис. 4.10 соединены пунктирными линиями минимальные (*inf*) и максимальные (*sup*) элементы каждой решетки.

На рис. 4.11 приведена диаграмма Гессе для атомарной конечной решетки $\langle M, P \rangle$ -пространства методики, изображенной на рис. 4.1.

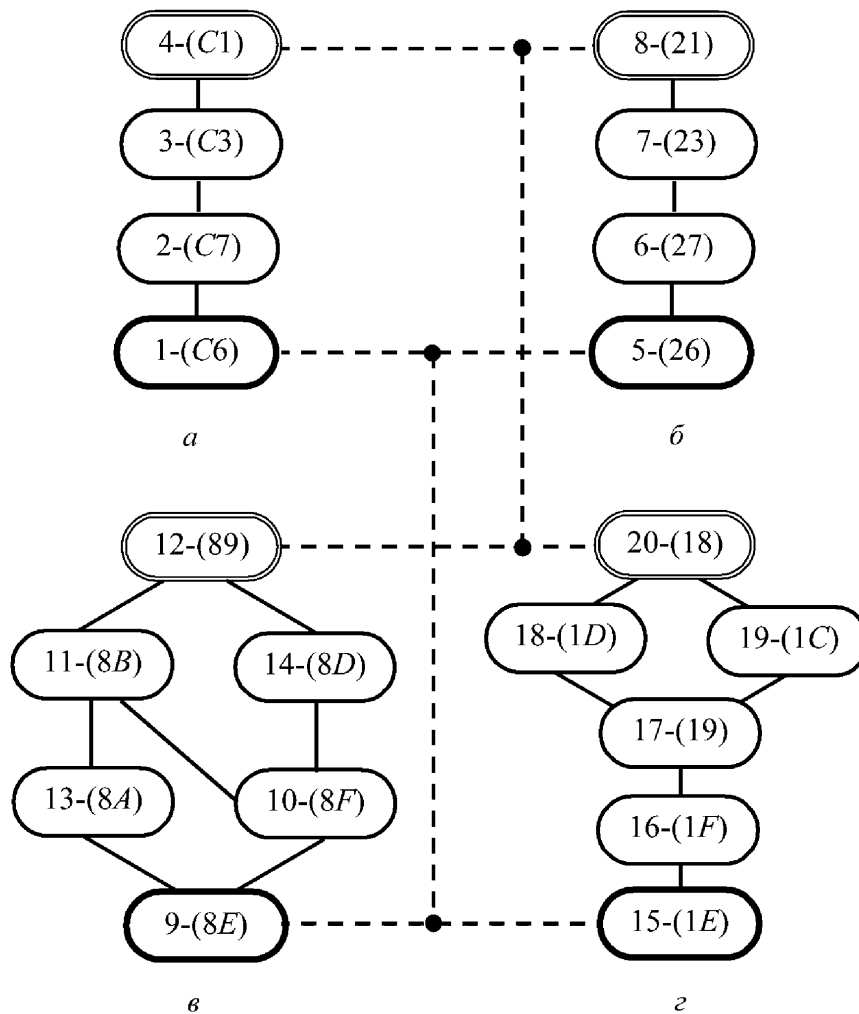
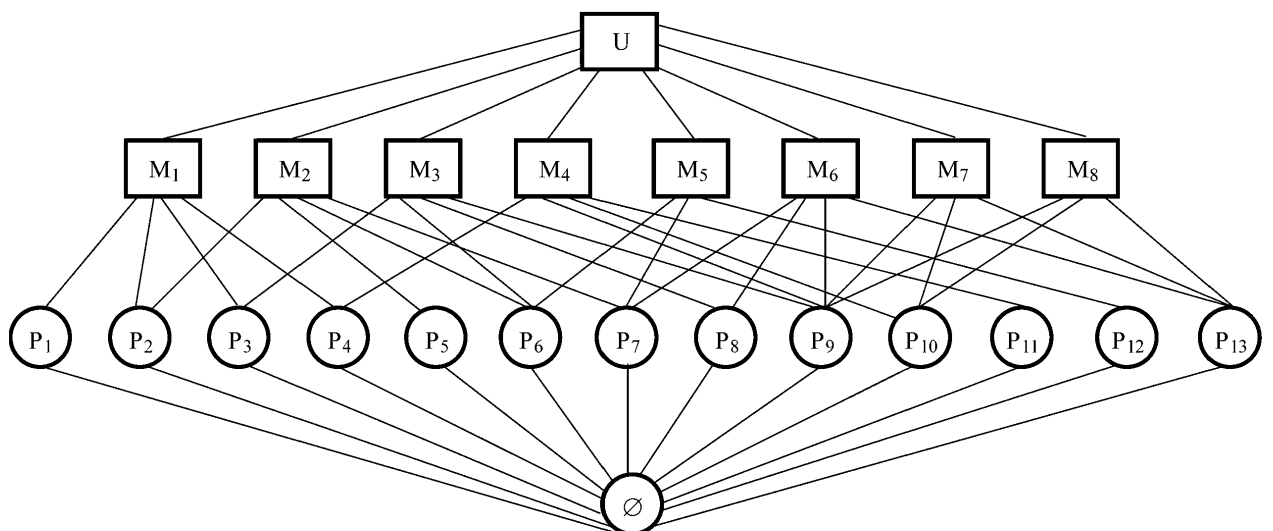


Рис. 4.10. Решетки отношений двух функциональных зависимостей



Построенные решетки обеспечивают возможность анализа и пи-
Рис. 4.11. Атомарная конечная решетка в $\langle M, P \rangle$ -пространстве
агностики $\langle M, P \rangle$ -пространства и его фрагментов с целью опреде-
ления таких его качеств как целостность, целесообразность,

полнота, непротиворечивость, совместимость его моделей, определять степени их связности, уровни согласованности.

В заключение отметим принципиальную разницу между исследованиями естественных процессов и проектированием и исследованием функционирования атрефактов – искусственных систем и объектов. Если в первом классе исследований анализ и, соответствующая декомпозиция процессов и явлений, может производиться "сверху-вниз" и порожденная (синтезированная) структура ММ должна отображать естественные (природные) отношения, то для второго класса исследований в большей мере характерны "возникновения аномальных" (не адекватных структуре) ММ на различных уровнях иерархии строения супермодели сложного объекта (например, корабля), обусловленные использованием новых (часто и качественно) компонентов, агрегатов в проектируемом изделии, априорной неопределенностью их взаимодействия (отношений) с "соседями по структуре".

Поэтому, часто неправомерен автономный анализ таких моделей и затруднен их синтез в единую структуру – супермодель объекта. И, поэтому, для построения БД и БЗ чаще используется технология "снизу-вверх" (от детального, через обобщение и агрегацию, к общему) или гибридная технология.

Возможно несколько стратегий построения обобщенного (интегрального) пространства моделей и параметров исследуемых сложных процессов и объектов.

(1). Полное определение единого параметрического базиса пространства моделей, их идентификация, определение всех типов функциональных зависимостей $X_i \rightarrow Y_i$ для каждой ММ (разделение переменных на зависимые и независимые – выходные и входные – функции и аргументы), определение и выделение текстов и контекстов. Предметом исследований является анализ возможных их трансформаций и отношений между ММ.

(2). Полное определение единого параметрического базиса, идентификация всех моделей и разделение текстов и контекстов. Однако, априори неизвестны функциональные зависимости – они

являются предметом исследования: т.е. большинство моделей определению в формате $\sigma(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$.

(3). Возможно полное определение единого параметрического базиса, но состав моделей изучаемых процессов неизвестен.

(4). Априори не определен полностью даже параметрический базис. Отдельно есть локальные модели фрагментов предметной области (ее свойств, характеристик). Необходимо объединение их в единую систему. Для этого целесообразно определить "недостающие" параметры, провести соответствующие вычислительные или натурные эксперименты, на полученных значениях систематизировать необходимые ММ. Потом построить систему ММ исследуемого процесса.

Все четыре варианта ранжированы по уровню сложности построения, степени полноты априорной информации, противоречивости, достаточности исходных данных.

**ГЛАВА 5. НА ПУТИ К ИСЧИСЛЕНИЮ МОДЕЛЕЙ:
АЛГЕБРА И ЛОГИКА ТЕКСТОВ И КОНТЕКСТОВ МОДЕЛЕЙ**

*... исчисление представляет собой «теорию данной области»,
некоторый способ фиксации имеющихся на данный момент знаний
о способах решения данного класса задач*

С. Ю. Маслов

*В жизни ведь нет таких математических предложений,
в которых мы бы нуждались; мы употребляем их только для того,
чтобы из предложений, не принадлежащих математике,
выводить другие, равным образом не принадлежащие математике*

Л. Витгенштейн

5.1. Основы предлагаемого подхода

Основой интеллектуализации многих компьютерных технологий является погружение максимума знаний опытных специалистов в соответствующих предметных областях в вычислительную среду. Одна из особенностей сложных систем (и объектов) – разнообразие знаний, используемых при их создании и исследовании. По этому для разработки соответствующих интеллектуальных компьютерных технологий необходимо создание базового формального аппарата представления, интеграции. Для представления этих знаний специалисты в различных предметных областях используют самые разнообразные средства, методы, языки. Но, как правило, сформированные и апробированные знания «кодируются» в формах взаимосвязанных «моделей» и «параметров». Но для записи этих моделей используются разные нотации и, соответственно средства их анализа и синтеза различаются. Таким образом, аппарат унифицированного представления моделей должен быть весьма высокого уровня абстракции. Однако, при этом важно не «потерять семантики» для адекватной трактовки синтезированных структур знаний. Соответствующий теоретико-методологический подход описан в [40, 46]. Здесь предлагается его развитие с применением концепции дедуктивных систем или исчислений [103]. Построение аппарата исчисления моделей фактически необходимо для автоматизации процессов получения «новых» знаний на основе существующих (уже погруженных в вычислительную среду). Как известно [103], «...исчисление представ-

ляет собой «теорию данной области», некоторый способ фиксации имеющихся в данный момент знаний о способах решения данного класса задач». Поскольку, однако, при создании и исследовании сложных систем приходится сталкиваться с самыми разнообразными проблемами, то нам необходимо строить «мультиисчисление» (башню дедуктивных систем – в терминологии С.Ю. Маслова [103]).

Предлагаемый аппарат начал разрабатываться для исследовательского проектирования (ИП) кораблей. Корабль представляет собой хороший пример сложной системы. Поэтому многие примеры, здесь, отражают данную предметную область.

5.2. Логические многообразия в исследовании сложных систем

Построим исчисление моделей на основе теории логических многообразий [31].

Как известно в процессах исследовательского проектирования сложных объектов используются самые разнообразные формальные аппараты (в [23] их насчитали более сорока).

Введем множество L этих формальных систем. Например,

L_1 – язык арифметики натуральных чисел;

L_2 – язык арифметики вещественных чисел;

L_3 – язык геометрических образов;

L_4 – язык числовых функций дифференциального исчисления;

L_5 – язык числовых функций интегрального исчисления;

L_6 – язык отношений (в терминах узлов, и ребер) теории графов;

L_7 – язык числовых функций дифференциальных уравнений в частных производных;

L_8 – язык математической статистики;

L_9 – язык теории сопротивления материалов;

L_{10} – язык реляционной алгебры и т.д.

Пусть в ИП используется N формальных аппаратов. Тогда

$$L = \bigcup_{i=1}^N L_i .$$

Представляется важным отметить следующие особенности использования языков L_i в ИП.

УТВЕРЖДЕНИЕ 5.1. Для формальных аппаратов, используемых в ИП характерна следующая специфика.

(1) Многие формализмы могут применяться неявно (например, различные "арифметики", "элементарная" алгебра и т.п.).

(2) Они могут использоваться "не в полном объеме", и в этом отношении нет необходимости поддерживать соответствующие аксиоматику и дедуктивный вывод (например, гильбертовскую геометрию) в вычислительной среде.

(3) Исследователи могут (часто и стремятся) разрабатывать и использовать собственные формальные аппараты; обычно, при этом, они не ставят перед собой задачи обеспечения необходимой непротиворечивости, выделения аксиом и т.п. необходимых атрибутов "оформления" соответствующих языков в виде исчисления.

(4) Часто исследователи используют несколько языков в рамках решения одной задачи (проблемы) явно их не разделяя.

Таким образом, на основании (1) - (4) между двумя языками (L_i и L_j), с учетом симметрии, возможны отношения:

$$L_i \subset L_j; L_i \cap L_j \neq \emptyset; L_i - L_j \neq \emptyset; L_j - L_i \neq \emptyset.$$

Графическая трактовка этих отношений представлена на рис. 5.1.

И, естественно, каждый из этих формализмов (L_i) имеет, явно и неявно свою систему аксиом A_i . Но при использовании различных формальных аппаратов в ИП сложных объектов к этим системам необходимо добавить систему аксиом, характеризующих, проектируемый сложный объект (A_{CP}). В этом множестве A_{CP} можно выделить общие отношения A_{CP}^f для изделий данного класса (корабль, самолет и т.д.), которые его характеризуют как некую целостность, и частные отношения A_{CP}^u , которые определяются в техническом задании на проектирование и фиксируют специфические требования к его функциям (отображаемые, естественно в его архитектуре). Таким образом $A_{CP} = A_{CP}^u \cup A_{CP}^f$.

Эти отношения-аксиомы могут и не отражаться на используемом формализме; например, на исчислениях вещественных чисел, или операциях "элементарной" алгебры. Но могут и определять некоторые подклассы используемых аппаратов.

Например, нет необходимости применять в операциях ИП аппарат решения дифференциальных уравнения в полном объеме И тогда A_{CP} ,

как бы, "вырезает" из данного формального аппарата релевантное подмножество соответствующего L_i .

Таким образом, можно ввести множество $A'_i = A_i \cup A_{cp_i}^U$, где $A_{cp_i}^U$ множество аксиом, полученных отображением множества A_{cp} в исчисление языка L_i .

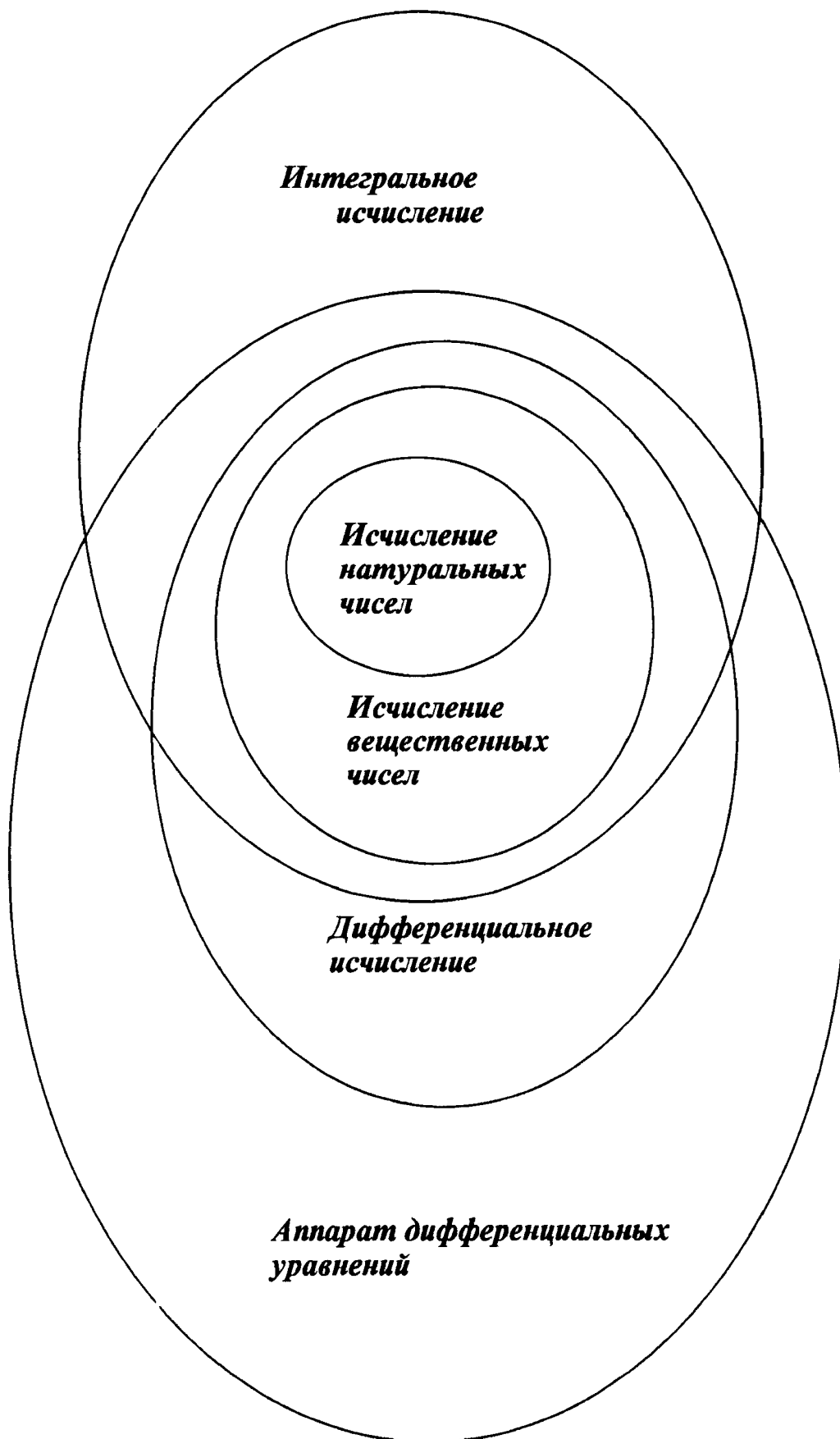


Рис. 5.1. Пример схемы отношений между языками L_i формальных систем, используемых в ИП

Заметим, что в формализме исчислений с позиций теории логических многообразий многие синтаксически-семантические аспекты не указаны явно (см. соответствующие примеры): они рассматриваются в рамках языков L_i и R_i . Поэтому, базовые символы T , синтаксис и семантика правил образования ППФ (соответственно С и П) отражены в H_i, L_i, R_i . И этот факт имеет для построения исчисления моделей в ИП принципиальное значение. Так, мы не собираемся заниматься реализацией всех исчислений, необходимых для операций ИП. Каждый язык L_i остается в сфере компетенции конкретного исследователя, использующего его. Вместе с тем, в логических многообразиях явно выделено тело исчисления T_i , тогда как в семиотической модели оно не фиксируется.

Предметом нашего интереса являются как раз тела T_i , т.е. элементы T_i , которые получаются применением алгоритмов H_i к выражениям из A'_i : обозначаем их T'_i (вполне очевидно, что $T'_i \subset T_i$ для всех $i = 1, 2, \dots, N$). Точнее те элементы тел T_i , которые исследователь считает целесообразным разместить в $\langle M, P \rangle$ -пространстве. Введем $T' = \bigcup_{i=1}^N T'_i$. И тогда может показаться, что $\langle M, P \rangle \subset T'$. Однако, как следует из [40, 43, 46], в $\langle M, P \rangle$ -пространство могут входить модели, которые не выводятся дедуктивными средствами каких-либо исчислений, а отражая опыт исследователей, являются обобщением его знаний - *индуктивной*, по сути, компонентой $\langle M, P \rangle$ -пространства. И, т.к. такие модели нельзя относить к каким-либо телам T'_i , то, в общем случае $\langle M, P \rangle \not\subset T$, но представляет интерес анализ множества ($\langle M, P \rangle - T'$). А для обеспечения возможности его осуществления необходимо T' представить в форме $\langle M, P \rangle$ -пространства. *И эта проблема является центральной в построении исчисления моделей в ИП, точнее их логического многообразия.*

Может показаться, что, строго говоря, из-за наличия в $\langle M, P \rangle$ -пространстве моделей, не имеющих "дедуктивного хвоста" к A'_i (соответствующих цепочек вывода от аксиом) логическим многообразием $\langle M, P \rangle$ называть нельзя. Но, с позиций $\langle M, P \rangle$ -пространства эти модели являются исходными (аксиомами), поэтому мы имеем право говорить об исчислении моделей. Заметим, что и в решении практических задач мы не доводим доказательство какого-либо утверждения до уровня аксиом

известных исчислений, а останавливаемся на уровне общеизвестных истин.

Решение проблемы отображения T' в $\langle M, P \rangle$ значимо, по крайней мере еще по трем причинам.

Во-первых, для определения "пересечения" двух и более тел локальных исчислений $T_i \cap T_j$.

Во-вторых, для обеспечения "перехода" от одних T_i к другим, или - от одних L_i к другим.

В-третьих (как следствие, во-первых и во-вторых), для определения причин противоречий, получаемых посредством использования различных формальных аппаратов (L_i) в приложении к интерпретации одних и тех же данных.

Фактически для этого необходимо построить изоморфные отображения соответствующих

$$A'_i \rightarrow A'_j, H'_i \rightarrow H'_j \quad (\text{или } L_i \rightarrow L_j \text{ и } R_i \rightarrow R_j).$$

Но для того, чтобы не строить отображение всех $L_i \rightarrow L_j$ для различных i и j (их очевидно будет $N^2/2$), предлагается строить только изоморфизмы $L_i \rightarrow L_{MP}$, число которых равно N . И при появлении в ИП нового, $(N + 1)$ -го, формального аппарата и включения его в логическое многообразие необходимо будет только разработка процедур изоморфного отображения $L_{N+1} \rightarrow L_{MP}$. Здесь под L_{MP} понимается язык построения $\langle M, P \rangle$ -пространства. Его мы называем алгеброй и логикой текстов и контекстов моделей [45, 103].

Таким образом, язык L_{MP} позволит не только транслировать различные $L_i \rightarrow L_j$, но и "склеивать цепочки" дедуктивных выводов (т.е. такая цепочка может начинаться в одном языке, продолжаться в другом, а заканчиваться в третьем). И тогда действительно станет возможным построение $T' = \bigcup_{i=1}^N T'_i$. При этом, как показано в [40,

43, 45, 46, 103], элементами языка L_{MP} являются параметры, модели и отношения между ними. Поэтому, вероятно, не все элементы языков L_i будут иметь образы в L_{MP} . И тогда (как уже неоднократно подчеркивалось) появляется необходимость в текстовом сопровождении соответствующих отображений.

Обозначим систему этих отображений

$$\Sigma = \{\sigma_i : L_i \rightarrow L_{MP}\}, \quad i = \overline{1, N}.$$

Вполне очевидно, что многие операции этих отображений будут включать процедуры (φ, Ψ, γ) (см. [45]).

Для языка L_{MP} можно определить систему аксиом $A'_{MP} \subset L_{MP}$ и построить язык R_{MP} .

На основании определений и приведенных рассуждений можно показать справедливость следующего вывода.

УТВЕРЖДЕНИЕ 5.2. Любая аксиома из множества R_{MP} языка L_{MP} :

- (1) представляет собой определение модели (M_j) или параметра (P_i) ;
- (2) принадлежит телу H'_i какого-либо языка L_i ($i = \overline{1, N}$) или вводится вообще "извне" (относительно исчислений, используемых в ИП), например, в форме требований к функциям сложного объекта, или из стандартных методик.

Соответствующее тело $T_{MP} \subset L_{MP}$ мы называем $\langle M, P \rangle$ – пространством, т.е. $T_{MP} = \langle M, P \rangle$. Но, если в [40, 43, 46] $\langle M, P \rangle$ рассматривалось как статическая структура отношений между множествами M и P , то в языке L_{MP} акцент делается на динамических аспектах $\langle M, P \rangle$. И здесь уместно еще раз обратить внимание на дуализм трактовки любой модели, отражающей причинно-следственные отношения.

С одной стороны, ее можно рассматривать как терм: действительно, по значениям "независимых параметров" (термов) мы можем вычислять значения зависимого параметра (терма).

С другой – можно такую модель трактовать как правила вывода (H_{MP}) . Тем более, когда процедура вывода H_{MP} имеет (в данном случае, всегда – см. [45, 46]) алгоритмическое выражение и соответствующий образ в вычислительной среде. И, поэтому, соответствующие R (P_1, P_2, \dots, P_n) можно относить как к языку L так и к языку R . Это зависит от точки зрения конкретных исследователей и проектировщиков сложных объектов.

5.3. Принципы построения аппарата исчисления моделей

Теперь, по аналогии с определением обликов в широком и узком смыслах [45] можно ввести понятие "исчислений моделей".

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 5.1. Исчислением моделей в широком смысле (в ИП) в форме логических многообразий будем считать систему

$$CM_{LM} = (\{ A'_i, H_i, T'_i \}_{i=\overline{1,N}}, \Sigma, A_{MP}, H_{MP}, \langle M, P \rangle),$$

где A'_i, H_i, T'_i - локальные формальные системы и исчисления, используемые в ИП ($i = 1, \dots, N$);

$\Sigma = \{ \sigma_i : L_i \rightarrow L_{MP} \}_{i=\overline{1,N}}$ - система изоморфных отображений языков L_i ($i=\overline{1,N}$) в язык L_{MP} ;

A_{MP} - аксиомы исчисления моделей (языка L_{MP});

H_{MP} - операции вывода языка L_{MP} ;

$\langle M, P \rangle$ - модельно-параметрическое пространство.

На рис. 5.2 представлена условная схема отношений между телами T_i и $\langle M, P \rangle$ в логическом многообразии исчислений, используемых в ИП сложных объектов.

Как известно [31], логические многообразия могут приводить к возникновению противоречивых данных в соответствующей информационной структуре (теории): см. пример (1) в [31]. И, это положительный аспект предлагаемого подхода, т.к. такие антиномии допустимы (и характерны!), как для "естественного интеллекта", так и для процессов исследовательского проектирования. Обычно это происходит когда модель и ее отрицание (см. тот же пример) получены средствами двух различных исчислений. Таким образом, все зависит от контекста интерпретации соответствующих фактов. И часто, при этом, говорят, что данные две модели противоречивы. Однако, с нашей точки зрения, более правомерно говорить о противоречии значений каких-либо свойств (параметров), получаемых посредством этих моделей. Заметим, и популярные примеры для мотивации немонотонного вывода также приводятся в форме "идентификатор свойства" - "значение": "Сократ - смертен", "птица лебедь - белая".

Для моделей, синтезируемых и анализируемых в процессах ИП, такие противоречия носят более сложный характер.

Во-первых, для некоторых свойств моделируемых процессов возможна многозначность, поэтому, необходимо анализировать каждое значение и оценивать его адекватность.

Во-вторых, возможно для одного и того же свойства одни значения синтезируются с помощью одной формулы (цепочки вывода), другие - посредством другой формальной системы.

В-третьих, для оценки противоречивости значений свойств, полученных в различных формальных системах, необходимо учитывать НЕ-

факторы: "зернистость" значений параметров, нечеткость исходных данных, их неполноту и т.п. – см. седьмую главу в [45].

В-четвертых, необходимо сравнивать не только значения, полученные посредством различных моделей, между собой, но и с данными "реального мира".

И, наконец, часто только исследователь может определить действительно ли значения противоречивы. И уж конечно, почти всегда только он (или консилиум исследователей-конструкторов) может выявить источник противоречия и, быть может, намеренно "отставить" его в своих исследованиях соответствующим образом идентифицировав.

Одной из главных целей построения $\langle M, P \rangle$ -пространства и исчисления моделей является автоматизированное определение и локализация этих противоречий и предъявление их пользователю, с соответствующей диагностикой, для анализа и принятия решений. Именно поэтому приходится хранить и обслуживать в БДиЗ так много различных характеристик моделей и параметров (см. [45]).

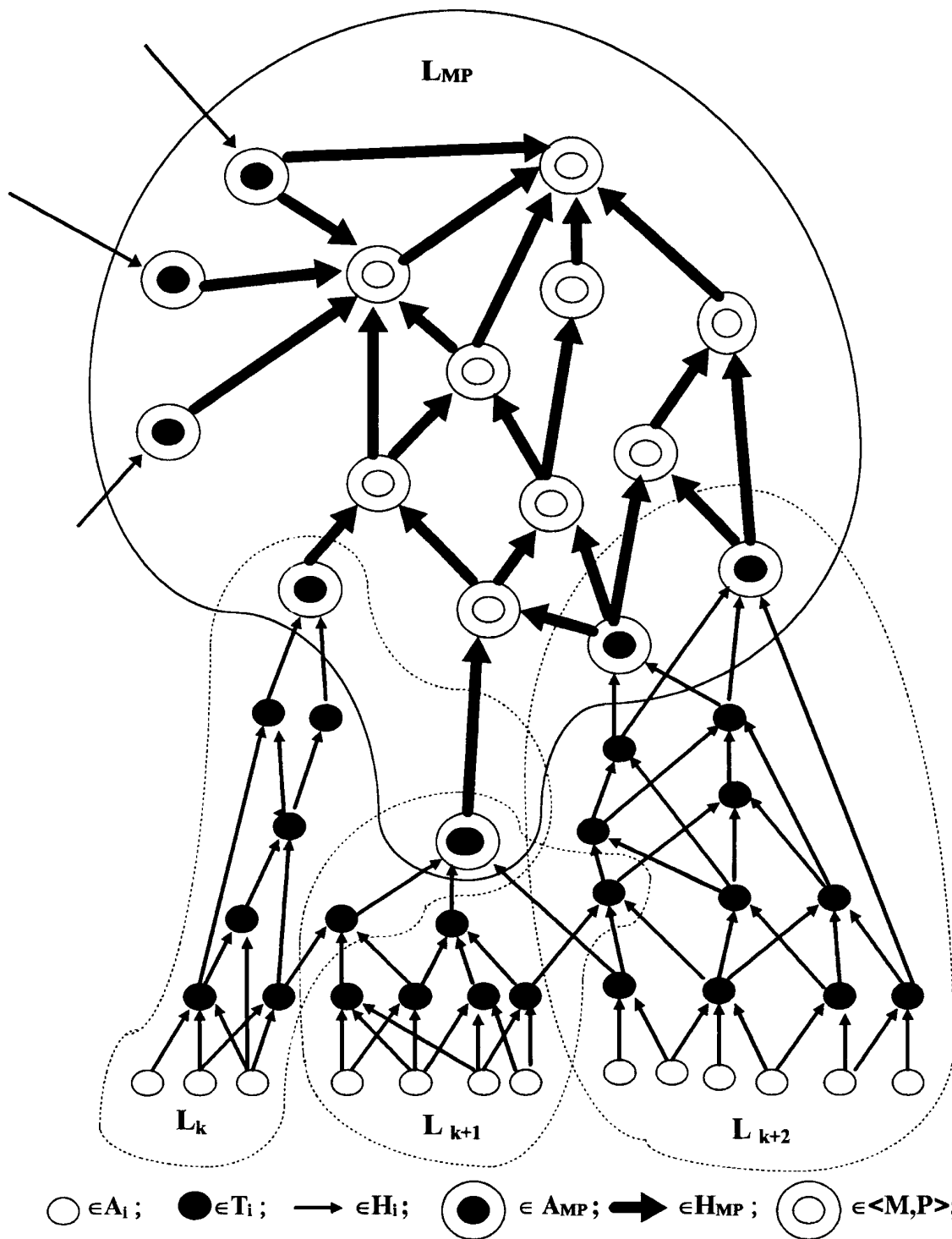


Рис. 5.2. Условная схема отношений между телами T_i и $\langle M, P \rangle$ в логическом многообразии исчислений, используемых в ИП.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 5.2. Исчислением моделей в узком смысле (в ИП) будем называть систему

$$CM_{MP} = (A_{MP}, H_{MP}, \langle M, P \rangle) .$$

Все компоненты этого именованного множества были определены в определении 5.1.

В [45,103] рассмотрены некоторые операции H_{MP} данного исчисления в форме алгебры и логики текстов и контекстов моделей.

Заметим, что локальные исчисления в логических многообразиях в ИП образуют несколько "башен" (см. пример (3) в трактовке логических многообразий), т.к., в частности, соответствующие формальные аппараты можно упорядочивать по различным признакам. Приведем несколько примеров.

По уровням абстракции моделируемых свойств (их агрегации и обобщения)

По глубине проработки проекта (уровень ТЗ, ТП, РП).

В некотором отношении исчисление моделей CM_{MP} можно считать *метауровнем* по отношению к остальным классам исчислений.

Можно синтезировать модели отдельных процессов (посредством каких-либо исчислений) на основе параметров, на базе моделей - строить методики функционирования локальных агрегатов, и, наконец, используя методики - разрабатывать облики сложных объектов (в целом).

Один из возможных подходов к построению исчисления обликов - рассматривался в [45].

Представляется уместным подчеркнуть, что создание исчисления моделей во всей полноте не является предметом данного исследования. Принципы построения этого исчисления и аппарат алгебры и логики текстов и контекстов моделей кратко изложены в [45,103].

В дальнейших исследованиях планируется построение исчисления моделей с четким определением его алфавита, термов, ППФ (точнее ППМ) примерно в такой форме.

1. Алфавит исчисления моделей включает множества:

- всех параметров, характеризующих сложный объект и его исследования - $\{P_i\}$, $i \in I$, где I - множество индексов параметров;

- анализируемых и синтезируемых в процессах ИП моделей - $\{M_j\}$, $j \in J$, где J - множество индексов моделей;

- всех областей допустимых значений параметров (их контексты $\{Dom P_i\}, i \in I$;
- логических символов $\&, \vee, \wedge, \neg, \sim, \rightarrow$, и т.д.;
- двуместных предикатов $\neq, >, <, \geq, \leq, \subset, \supset, \in$, и т.д.;
- алгебраических операций $+, -, :, \times, \ln, \exp, \sin$;
- элементарных функций \ln, \exp, \sin и т.д.;
- функциональных и предикатных символов F, R и т.д.

2. Термами называются переменные и константы любых типов.

3. Моделью называется выражение отношения между параметрами, определенное в нотации любого формального аппарата, используемого в ИП, для которого в БДиЗ хранится вся необходимая информация (см. [4]): в самом общем виде - $R(P_1, P_2, \dots, P_n)$.

4. Правильно построенные модели (ППМ) определяются так.

1.) Любой параметр с областью допустимых значений $(P_i, Dom P_i)$, информация о которых имеется в БДиЗ, является ППМ.

2.) Любая модель, релевантность предметной области которой подтверждает пользователь и для которой имеется вычислительный модуль в БДиЗ (см. 1 - 4), является ППМ.

3.) Если $R_1(P_1, P_2, \dots, P_n)$ - ППМ и $R_2(P_1, P_2, \dots, P_n)$ - ППМ и они имеют общий контекст $(P_i, Dom P_i), i = \overline{1, n}$ то $R_1 \cup R_2$ - ППМ.

4.) Если $P_1 = F_1(P_2, P_3, \dots, P_n)$ - ППМ и $P_2 = F_2(P_3, P_4, \dots, P_n)$ - ППМ, то $P_1 = F_1(F_2(P_3, P_4, \dots, P_n), P_3, \dots, P_n)$ - ППМ, при условии общего контекста и т.д.

5.4. Принципы построения алгебры и логики текстов и контекстов моделей

Для анализа процессов и объектов, отражаемых в моделях, необходима реализация соответствующих операций, при проведении которых происходит трансформация их текстов и контекстов. Эти операции объединены в категории *алгебры и логики*. Принципиальной особенностью является осуществление их только на основе информации, хранимой в БД и БЗ моделей. Операции алгебры и логики тесно взаимосвязаны: поэтому, в некоторых случаях их трудно разграничить. К ал-

гебре будем относить операции, которые формализованы и имеют реализацию в вычислительной среде (без ввода дополнительных данных), а к логике – процедуры обоснования, мотивации, возможности и целесообразности их осуществления, которые требуют дополнительной информации от исследователя ("естественного интеллекта"). Поэтому мы считаем, что предлагаемый формальный аппарат обеспечивает естественную интеграцию эвристических процедур (принятия решений в форме ЭС) и алгоритмических (расчета количественных значений параметров моделей – в форме ППП).

Аналогичное, с нашей точки зрения, разделение на алгебру и логику предлагается в [60]. Там алгебра контекстов включает операции сужения, расширения, погружения, объединения и пересечения контекстов, а логика – создает основания для определения схем метафорического и ассоциативного вывода, схем обобщения и вывода по аналогии. Однако в [60] все сведено к контекстам; тексты не рассматриваются ввиду специфики постановки задачи создания универсальной ЭС.

Здесь также выделяются процедуры сужения и расширения; но эти операции уже касаются и текста, и контекста моделей. А операции объединения и пересечения контекстов сводятся соответственно к их расширению и сужению.

В обоих классах этих операций выделяются операции на уровне параметров и их значений (P и $DomP$).

К первому классу относятся операции, при осуществлении которых, в текст и/или контекст модели вводятся (или из них удаляются) "новые" параметры, а ко второму – операции, которые касаются только значений параметров.

В любой модели выделяется текст (Mt) и контекст (Mk).

Модель не может существовать без текста и без контекста. И если первое очевидно, то второе нуждается в пояснении. Действительно, в соответствии с определением 2.9 (см. Главу 2) к контексту любой модели относятся все интерпретации параметров, на которых она построена. Оставить модель без контекста – это все равно, что написать $F=ma$, не объяснив, что F – сила, m – масса, a – ускорение. Таким образом, в контекст модели, по крайней мере входит вербальная идентификация ее компонент (параметров). Но кроме этого «желательно» также отметить, что в тексте $F=ma$ не учитывается со-

противление, трение, и т. д., что $V \ll C$ (скорость движения объекта значительно меньше скорости света – механика Ньютона существенно отличается от механики Эйнштейна – часто «неявный контекст», т.е. считается очевидным и не отображается в локальном контексте модели $F=ma$) и т. п.

Поэтому, текст (M_{Tj}) и контекст (M_{Kj}) необходимые и достаточные компоненты (j -ой, в данном случае модели M_j).

При этом, очевидно, что текст без модели не существует. А возможен ли контекст без модели или без текста?

Отрицательный ответ обусловлен в частности тем, что в противном случае возникает следующий вопрос: контекст чего? И действительно, области допустимых значений параметра зависят от моделей в которые он входит.

Заметим, что и идентификация свойств (параметров) обусловлена моделями (быть может, весьма высшего уровня), к которым они относятся. Например, $Af3\%$ – амплитуда бортовой качки корабля при трехпроцентном волновом обеспечении. То есть, по крайней мере неявно, речь идет о моделировании качки корабля и если текста модели в форме причинно-следственного отношения еще нет, то модель на уровне родовидовых связей между свойствами корабля уже учитывается.

Рассмотрим возможные операции с моделями, их текстами и контекстами.

Введем следующие обозначения

- OM_j – операции с моделями;
- OM_{Tj} – операции с текстами моделей;
- OM_{Kj} – операции с контекстами моделей.

На рис. 5.3 представлена условная система координат $\langle OM_j, OM_{Tj}, OM_{Kj} \rangle$ для определения свойств операций алгебры и логики текстов и контекстов моделей.

На каждой координатной оси располагаются подмножества всех возможных операций для данного объекта (M_j, M_{Tj} или M_{Kj}). Поэтому вводимые операции должны обладать функциональной полнотой.

Рассмотрим их свойства и характеристики сначала, по возможности, на уровне каждой координатной оси.

1. Модели на уровне OM_j могут:

- не изменяться – Zr (zero),

- удаляться из $\langle M, P \rangle$ - пространства - Dl (*delete*);
- вводиться в $\langle M, P \rangle$ - пространство - In (*insert*);
- редактироваться - Md (*modify*);
- выводиться (посредством операций алгебры и логики) - Dc (*deduction*)

Все операции с моделями исследуются относительно $\langle M, P \rangle$ -пространства.

Таким образом, модель может оставаться без изменения (Zz - условная операция - введена для обеспечения функциональной полноты операций), может вводиться в $\langle M, P \rangle$ - In , редактироваться в нем - Md , или удаляться из него - Dl , редактироваться и выводиться средствами исчисления моделей Dc .

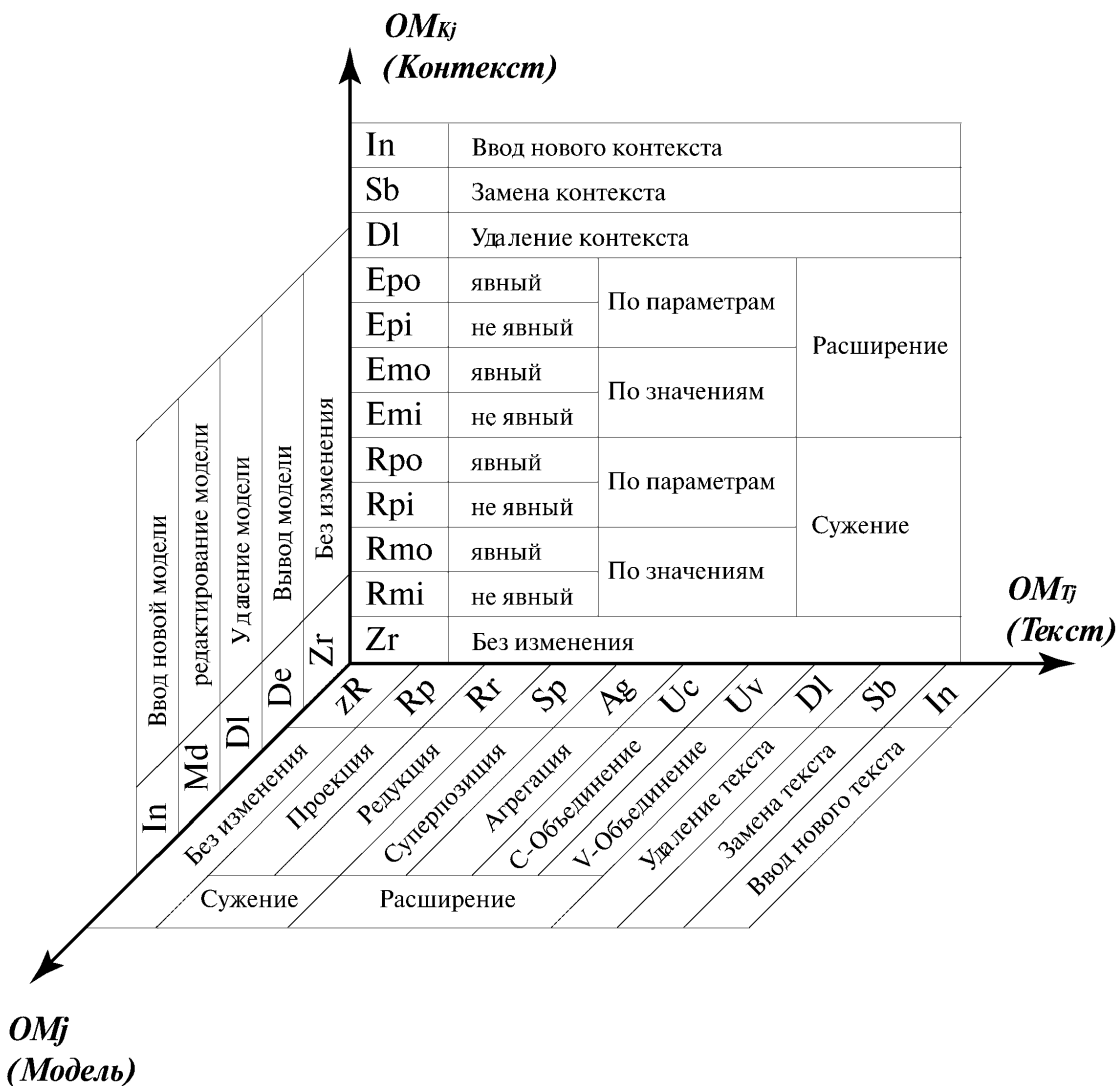


Рис. 5.3. Система координат определения свойств операций алгебры и логики текстов и контекстов моделей

Если операции Dl , In , Md касаются внешнего взаимодействия с $\langle M, P \rangle$ -пространством, то операции вывода моделей (Dc) производятся средствами логики. Таким образом, модели, «порождаемые» операциями Dc используют только объекты $\langle M, P \rangle$ -пространства.

Все эти операции производятся на уровнях текста и контекста. Так, ввод новой модели соответствует вводу Mt и Mk . Операции логики контекстов "помогают" исследователю произвести необходимые модификации структур $\langle M, P \rangle$. Еще в большей мере эти операции значимы при удалении моделей. Фактически все операции (Dl , In , Md , Dc) касаются Mt и Mk .

2. Операции OMT_j на уровне текста моделей MT_j . включают:

- * отсутствие изменения текста модели - Zr ;
- * удаление текста модели - Dl ;

- * сужение текста модели (Rd - reduce):
- * «замену» - Rc (replace);
- * ввод нового текста - In .
- * «проекцию» текста модели - Rp (recluse-projection);
- * «редукцию» - Rr (reduse-reduse);
- * «суперпозицию» - Sb (substitution);
- * Расширение текста модели (Ex - extention):
- * «агрегацию» - Ag (aggregate),
- * «V-объединение» - Uv (union-variable);
- * «C-объединение» - Uc (union-constant);

На уровне Zr - операция значима, т.к. контекст какой-либо модели может изменяться без редактирования ее текста: например, ввод новых неявных контекстов или уточнение (сужение или расширение) явных контекстов (P или $DomP$).

Следующие две операции Rp и In предназначены соответственно для замены текста какой-либо модели и ввода нового текста.

Как правило, при этом модели вводятся в $\langle M, P \rangle$ -пространство «со стороны». И, если в первом случае (Rp) «место» в $\langle M, P \rangle$ -пространстве априори определено (фиксировано, т.е. контекст «известен компьютерной среде»), то во втором In необходимо предварительно подготовить это «место» (т.е. определить куда в $\langle M, P \rangle$ эта модель вводится).

Подмножество операций Rd включает два вида операций: Rp и Rr .

Обе операции Rp и Rr приводят к "сжатию", сужению текста моделей. Заметим, что обратная операция не всегда возможна.

Под «проекцией» Rp текста M_j понимается подстановка в MT_j значения какого-либо параметра (входящего в текст) из области допустимых значений: таким образом, осуществляется проекция модели в некоторое подпространство $Dom M_j$.

Например, пусть $M_t: (y=2x_1^2+2x_2^2+x_1x_2+4x_3^2)$, $M_k: \{x_1 \in [1, 10]\}$, $x_2 \in [-5, 5]$, $x_3 = \{0, 01; 0, 02; 0, 03\}$. Проекция этой модели: $M(x_3=0, 01): (y=2x_1^2+2x_2^2+x_1x_2+0, 0004)$

Под редукцией Rr модели обычно [71] понимают ее упрощение "огрубление". Часто эту операцию проводят с целью получения сбалансированного модельного множества, отражающего исследуемый объект.

Например, для той-же модели ввиду того, что параметр x_3 мало влияет на моделируемый процесс, ее «просто удаляют» из модели. То есть теперь модель M_t : $(y=2x_1^2+2x_2^2+x_1x_2)$

Следующие четыре класса операций приводят к расширению текста моделей и делятся на две категории: *агрегации* и *обобщения*.

Обычно [12,100,102] агрегирование связывают с процессами сжатия информации, понимая под ним [102] переход на более высокие уровни абстрагирования. Здесь агрегация Ag понимается в контексте синтеза, на основе моделей, АКО-отношений [81] или построения моделей-агрегатов [142]. Таким образом, в данном случае – это операция является разновидностью объединения моделей, которые описывают различные свойства некоторого макросвойства сложного изделия.

Операция "*суперпозиции*" Sb трактуется полностью как это принято в классической математике (см., например, в [21]): т.е. – это подстановка вместо какого-либо параметра, входящего в MT_j , его выражения – текста другой модели. Например, имеем две модели M_{t1} : $(P_1=2P_2^2+2P_3^2)$ и M_{t2} : $(P_2=2P_3^2+3P_4)$. В результате суперпозиции получаем модель M_{t3} : $(P_1=3P_3^2+3P_4)$

И лучше такой анализ проводить с использованием решетки отношений между операциями. Ее диаграмма представлена на рис. 5.4.

В решетке, в соответствии с изложенным, выделяется три уровня: операции с моделями, на уровне их текстов и контекстов.

Эту операцию можно рассматривать как обратную по отношению к традиционной трактовке агрегирования модели.

В операциях обобщения выделяются V -объединение моделей и C -объединение. Этот класс операций в искусственном интеллекте называют построением ISA-отношений [81], а в технологии БД – объединением [142]. Пример операции V -объединения Исходные модели: M_1 : $(P_1=f_1(P_2, P_3))$ для $P_2 \in [1; 10]$, $P_3 \in [0,1; 1,1]$ и M_2 : $(P_1=f_2(P_2, P_3))$ для $P_2 \in [1; 10]$, $P_3 \in [1,1; 2,1]$. Результатом данной операции является M_3 : $\left\{ \begin{array}{l} P_1=f_1(P_2, P_3), \text{ если } 0,1 \leq P_3 \leq 1,1, \\ P_1=f_2(P_2, P_3), \text{ если } 1,1 \leq P_3 \leq 2,1; \end{array} \right.$

Пример операции C -объединения Исходные модели: M_1 : $(P_1=f_1(P_2, P_3))$ для $P_2 \in [1; 10]$, $P_3 \in [0,1; 2,1]$, $P_4=100$ и M_2 : $(P_1=f_2(P_2, P_3))$ для

$P_2 \in [1; 10]$, $P_3 \in [0,1; 2,1]$, $P_4 = 200$). Результатом данной операции является M_3 :

$$\begin{cases} P_1 = f_1(P_2, P_3), & \text{если } P_4 = 100, \\ P_1 = f_2(P_2, P_3), & \text{если } P_4 = 200. \end{cases}$$

Операции **Uv** и **Uc**, фактически, обратны *Rp-операции*. Они предназначены для расширения текстов моделей при расширении областей допустимых значений.

3. На уровне операций OMk_j с контекстами моделей M_j выделены:

- процедуры, не изменяющие контекст - Zr ;
- удаление контекста - Dl ;
- замена контекста модели - Rc ;
- ввод нового контекста - In .
- сужение явного контекста по значениям - Rmo (*recluse - meaning - obvious*) и по параметрам - Rpo (*reduce - parameter - obvious*);
- сужение неявного контекста по значениям - Rmi (*reduse - meaning - invisible*) и по параметра M - Rpi ;
- расширение явного контекста по значениям - Emo (*extension - meaning - obvious*) и по параметрам - Epo ;
- расширение неявного контекста по значениям - Emi и по параметрам - Epi ;

Здесь под контекстом модели M_k понимается (см. введение) вся система декларативных утверждений и процедурных компонент, касающихся отношений "свойство - параметр - модели" в части параметра. Но, как было показано выше, практически, весь контекст модели можно свести к обозначениям и областям допустимых значений параметров; т.е. $Mk_j = (\{Pi_j\} \ i_j \in I_j, \text{Dom } M_j$, где I_j - множество параметров модели M_j .

Область допустимых значений $\text{Dom } M_j \subset \times_{i_j \in I_j} (\text{Dom } j \ Pi_j)$, где $\text{Dom } j$ - область допустимых значений i_j -го параметра в модели M_j . В контексте модели M_j мы выделяем *явный контекст* - значения параметров, которые входят в текст модели, и *неявный* (методы синтеза/анализа моделей и т.д.) - значения параметров, не входящих в MT_j .

Таким образом, операции на уровне контекстов могут приводить к "уменьшению" (R) их, "увеличению" (E) или касаться и того и другого: операции Zr, Sb, In, Dl .

R - и E -операции могут касаться явного ($\dots o$) и/или неявного ($\dots i$) контекста, и производиться на уровне локальных значений $Dom\ j\ Pi_j$ ($\dots m$) или параметров в целом – $(Pi_j, Dom\ j\ Pi_j)$ ($\dots p$).

Далее мы убедимся, что одной операции с моделью M_j или с ее текстом MT_j может соответствовать две операции с ее контекстом: так Mk_j по одним параметрам может сужаться, а по другим – расширяться. Кроме этого, далеко не все сочетания операций с MT_j и с Mk_j возможны; например, при проведении проекции (Rp) расширяться контекст (E) не может. Поэтому, очевидна справедливость (см. рис. 5.3) такой формулы:

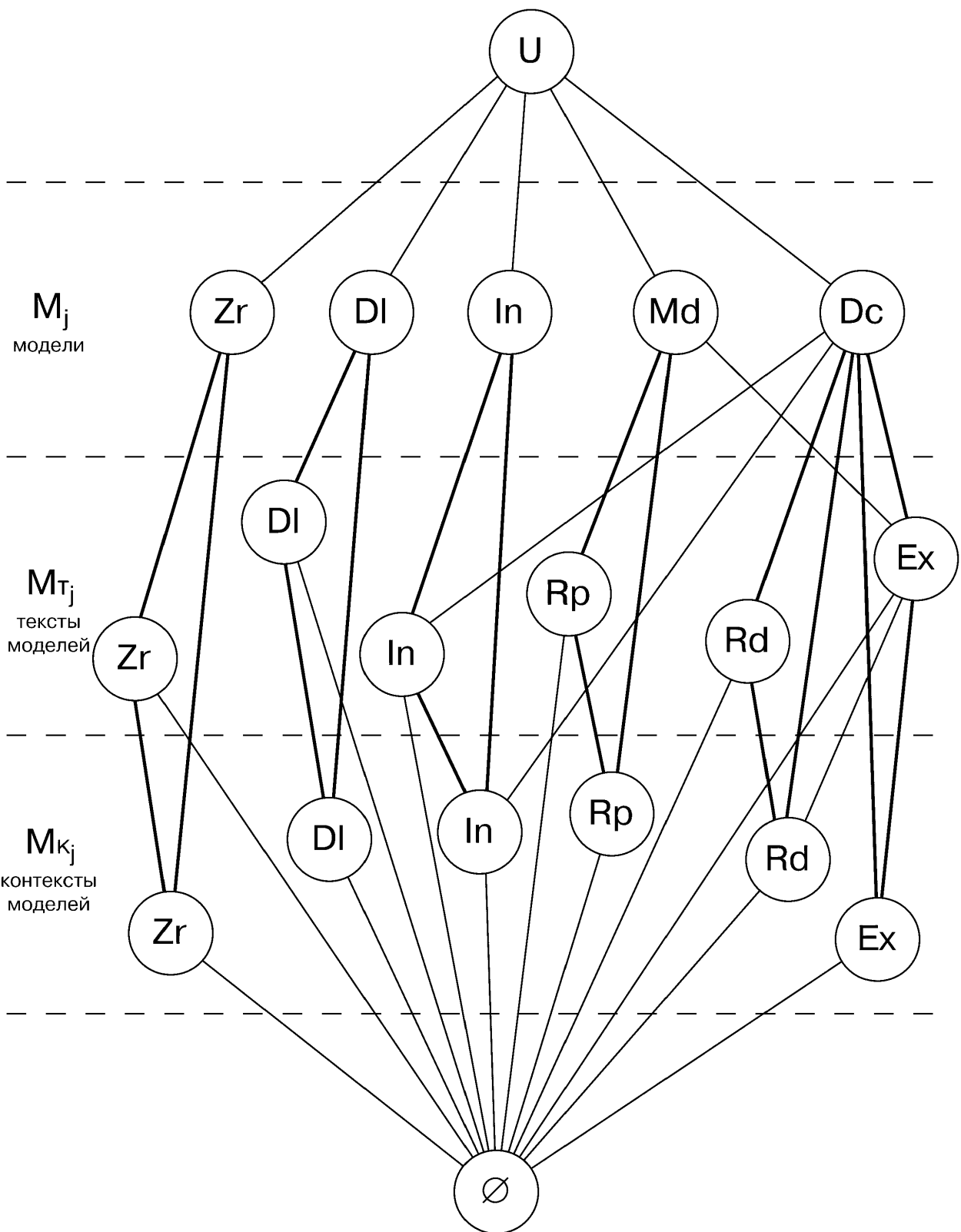


Рис. 5.4. Решетка отношений между операциями на уровнях M , M_T , M_K

$$OM_j \subset OMT_j \times OMK_j \times OMK_j,$$

где:

$$OM_j \in \{Zr, Dl, In, Md, Dc\},$$
$$OMT_j \in \{Zr, Dl, Rc, Rp, Rr, Sb, Ag, Uc, Uv, In\},$$
$$OMK_j \in \{Zr, Dl, Rmo, Rmi, Rpo, Rpi, Emo, Emi, Epi, Rp, In\}.$$

Рассмотрим операции OMT_j и OMK_j детальнее.

1. Операции на уровне контекстов M_j , не касающиеся текстов моделей. Здесь выделим два класса операций: процедуры, которые не меняют контекст и процессы, которые модифицируют MK_j .

- К первому классу операций относятся процедуры вычисления различных мер в $\langle M, P \rangle$ -пространстве, построения $\langle M, P \rangle$ -окрестностей, их анализа.

В этом классе операций выделим:

- вычисление расстояний между моделями и/или параметрами в $\langle M, P \rangle$ -пространстве (см. вторую главу).
- расчет уровней совместимости и согласованности различных моделей (см. (3.8) – (3.20) в третьей главе);
- навигацию (анализ) структур $\langle M, P \rangle$ -пространства;
- синтез $\langle M, P \rangle$ -окрестностей по требованиям пользователей и генерацию их графических образов (см. третью главу);
- построение пересечений и объединений $\langle M, P \rangle$ -окрестностей.

Фактически все эти процедуры относятся к анализу модельно-параметрического пространства: его структуры, наполнения, свойств.

Для их проведения пользователь вводит только идентификаторы моделей, параметров, их характеристики (например, порядок окрестности, и т.п.). Поэтому, эти операции можно считать алгебраическими. Заметим, что модификации контекстов (в $\langle M, P \rangle$ -пространстве) при этом не производится, т.е. и на рис. 5.3 и рис 5.4 этим операциям соответствует отношение: (Zr, Zr, Zr) .

- Второй класс операций этого уровня: $OM_j = (Zr, O_1, O_2)$,

где $O_1 \in \{Rmo, Rmi, Rpi, Zr\}$, $O_2 \in \{Emo, Emi, Epi, Zr\}$.

В этом классе операций можно выделить два типа процедур:

- ввод в $\langle M, P \rangle$ -пространство новых параметров и их характеристик;
- корректировка областей допустимых значений параметров модели.

Заметим, поскольку текст модели не модифицируется, то явный контекст на уровне параметров (R_p, E_p, D_l, R_c, I_n) не корректируется. И тогда все равно речь идет о неявном контексте до тех пор, пока на этих параметрах не будут построены какие-либо модели. Поэтому, в этом случае, с нашей точки зрения, лучше считать, что для этого класса операций $OM_j = (Z_r, Z_r, E_{pi})$, чем $OM_j = (Z_r, I_n, Z_r)$.

Важнейший класс процедур – это редактирование $Dom M_j$ без изменения MT_j . Посредством процедур этого типа исследователь модифицирует области допустимых значений модели при обнаружении каких-либо несоответствий, неадекватности, некорректности: вводятся новые неявные контексты. Расширяются и сужаются области допустимых значений явных контекстов.

2. Операции на уровне текстов моделей, не изменяющие контекста:

$$OM_j = (R_c, Z_r, Z_r).$$

Преобразованием текстов моделей без изменения их контекстов, в основном, занимаются в рамках параметрической и структурной идентификации; синтез новой модели производят соответствующими методами математической статистики. При этом, априори почти всегда мотивированы причинно-следственные отношения в исследуемых процессах и объектах, т. е. известны все идентификаторы векторов X и Y и их домены. Посредством изменения структуры модели (как правило, полинома) добиваются более адекватных параметрических характеристик исследуемых процессов. Соответственно должен трансформироваться и вычислительный модуль.

3. С точки зрения исчисления моделей наиболее интересна система операций

$D = (O_1, O_2, O_3)$, где: $O_1 \in \{R_p, R_r, S_p, A_g, U_v, U_c, Z_r\}$, $O_2 \in \{\{R\}, S_b, Z_r\}$, $O_3 \in \{E\}$, где под $\{R\}$ и $\{E\}$ понимаются все возможные соответствующие операции над контекстом моделей.

Эту систему процедур можно назвать *логико-алгебраической*, т.к. на их уровне производятся как логические, так и алгебраические операции.

Характерной их особенностью является то, что при их проведении из "внешней среды" не вводятся новых моделей. Используя модельное наполнение $\langle M, P \rangle$ -пространства исследователь выводит различные мо-

дели посредством операций с их текстами и контекстами с целью анализа полноты непротиворечивости, целостности $\langle M, P \rangle$.

При проведении этих операций широко используются решетки отношений моделей, построенные в четвертой главе: см. табл. 4.1 - 4.3 и рис. 4.4-4.11.

Поэтому для анализа семантики этих операций нам необходим формальный аппарат, введенный в разделах 5.1-5.2.

Локальные модели $\langle M, P \rangle$ будем рассматривать на уровне:

$$M_1 : y_1 = f_1 (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}), \text{ dom } y_1, \{ \text{Dom}_1 x_{1i} \} \ i=\overline{1, n}, \{ \text{Dom}_1 z_{1j} \} \ i=\overline{1, k}$$

$$M_2 : y_2 = f_2 (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}), \text{ dom } y_2, \{ \text{Dom}_2 x_{2i} \} \ i=\overline{1, n}, \{ \text{Dom}_2 z_{2j} \} \ i=\overline{1, k} \quad 5.2$$

...

$$M_m : y_m = f_m (x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn}), \text{ dom } y_m, \{ \text{Dom}_m x_{mi} \} \ i=\overline{1, n}, \{ \text{Dom}_m z_{mj} \} \ i=\overline{1, k}$$

Здесь $y_i, x_j, z_2 \in P$, где P - множество всех параметров $\langle M, P \rangle$ -пространства, Z - переменные представляют неявный контекст моделей, а $\text{Dom } x$ и $\text{Dom } y$ - явный.

Все Dc -операции будем рассматривать с точки зрения процедур, проводимых на уровне $M_{Tj} : (y_j = f_j (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn}))$.

Первые две операции (R_p и R_r) "сужения" текстов моделей можно считать унарными, третью (S_p) - бинарной, остальные - n -арными.

- посредством R_p -операции осуществляется, фактически "проекция" зависимостей, отображаемых в текстах моделей в подпространство меньших размерностей. Сутью этой операции является фиксация значений некоторых входных параметров.

Синтаксис этой операции $M_j (X_{ji} = C_{jr})$, где M_j - исходная модель, а C_{jr} - константы и $C_{jr} \in \text{Dom } X_{ji}$, где ji - индексы параметров по которым осуществляется проекция.

Интересно отметить, что при осуществлении проекции то подмножество параметров, по которым производится R_p переходит из ранга явного контекста в ранг - неявного. Не потому ли потом (забывая о проведенной R_p) мы некорректно используем модель, без учета ее неявного контекста. Таким образом, R_p приводит к сужению по парамет-

рам явного контекста и к расширению (по параметрам) - неявного, т.е. в этом случае $Dc = (Rp, Rpo, Epi)$.

Эта операция важна для анализа "анатомии" исследуемого процесса.

- Операцию редукции можно трактовать как "носильное огрубление" модели с целью обеспечения сбалансированности модельного наполнения $\langle M, P \rangle$ на определенном этапе проектирования сложного изделия [69]. При ее проведении малоинформативные, точнее параметры, мало влияющие на исследуемый процесс, исключаются из модели,

Естественно, информация о проведении такой модификации модели должна быть отражена в соответствующих атрибутах, описывающих $\langle M, P \rangle$ -пространство (см. вторую главу). Целесообразно специальным образом маркировать соответствующие параметры в контексте (теперь также неявном) модели. И тогда эту операцию можно рассматривать как разновидность проекции: $M_j (X_{ji} = \emptyset)$ и $Dc = (Rr, Rpo, Epi)$

Заметим, что если Rp можно рассматривать как алгебраическую операцию, то Rr в большей мере относится к логике; т.к., конечно, система может определить степень влияния изменения какого-либо параметра на изменение выходного параметра, но окончательное решение о его исключении из модели может принять только исследователь.

- Операция суперпозиции является базовой при построении методик определения интегральных показателей функционирования сложных изделий новой техники и одной из основных вообще при построении любых классов исчислений и логик. В последних она трактуется как операция подстановки.

И эта операция в ИП четко делится на алгебраическую и логическую компоненты. При ее проведении фактически осуществляется интеграция знаний, представленных в двух моделях. Поэтому, сначала необходимо их привести к единому базису. Рассмотрим две первые модели M_1 и M_2 из 4.2.

Для осуществления их суперпозиции необходимо чтобы $y_2 \in \{x_{1i}\}$
 $i=1, n$:

см. в табл. 4.3 случаи, когда $R' = 10001\dots(9 - 14)$.

И этого обычно достаточно в классической математике. В ИП также необходимо, чтобы $Dom M_1 \cap Dom M_2 \neq \emptyset$, т.е. нужно рассмотреть

$$\begin{aligned}
 & (Dom\ y_1 \cup (\bigcup_{i=1}^n Dom_1 x_{1j}) \cup (\bigcup_{j=1}^k Dom_1 z_{1j})) \cap \\
 & (Dom\ y_2 \cup (\bigcup_{i=1}^n Dom_2 x_{2i}) \cup (\bigcup_{j=1}^k Dom_2 z_{2j}))
 \end{aligned}
 \tag{5.3}$$

И построенная модель $M = M_1 (M_2)$ будет иметь контекст, определенный в (5.3). Однако, исследователь может не только "пересекать" контексты моделей, но и "объединять" их, расширяя в необходимой мере "недостающими" значениями соответствующие домены. Может наблюдаться и некоторый симбиоз пересечения и объединения контекстов, т.е. в какой-то степени контексты моделей расширяются, а какой-то - сужаются. Заметим, что при суперпозиции моделей, вторая - подставляется в первую. Поэтому, операцию совмещения их контекстов можно трактовать, как "погружение" второго контекста в первый. В любом случае эти аспекты, фактически, приведения моделей к единому контексту, мы считаем логическими и система должна предъявлять исследователю синтезированный контекст модели-результата и предоставлять ему возможности его корректировки.

После этого производится уже алгебраическая операция суперпозиции моделей (или подстановки). Заметим, что текст одной из моделей (или обеих) может быть представлен в форме таблицы (см. вторую главу). В этом случае суперпозиция сводится к реляционной операции объединения отношений, а проекция - к соответствующей проекции реляционной алгебры [95].

- Здесь под операцией агрегации подразумевается синтез модели-агрегата.

Предположим, агрегируются m моделей из (5.2). Тогда, необходимым условием корректности Ag -операции являются.

Во-первых, $y_i \cap y_j = \emptyset$, где y_i и y_j - идентификаторы выходных параметров соответственно M_{T_i} и M_{T_j} и $i \neq j$, $i=\overline{1,m}, j=\overline{1,m}$.

Во-вторых, вектор параметров (y_1, y_2, \dots, y_m) должен представлять входные переменные какой-либо модели "макроуровня", не обязательно имеющей аналитическое представление.

Достаточным условием осуществимости Ag -операции является возможность построения общего контекста для всех X -переменных и Z -

переменных. Поэтому формула (5.2), в данном случае, модифицируется следующим образом:

$$\bigcap_{j=1}^m \left(\left(\bigcup_{i=1}^n \text{Dom}_j x_{ji} \right) \cup \left(\bigcup_{i=1}^k \text{Dom}_j z_{ji} \right) \right) \quad 5.4$$

И также как в (4.16), в (4.17) многие параметры, выступающие в одной модели в качестве явного контекста, в другой могут выступать в роли неявного контекста. Но здесь приходится к единому контексту модели-результата приводить уже все j моделей, "участвующих" в процессе агрегации.

И также, при этом, параллельно с пересечением контекстов целесообразно рассматривать возможность их объединения, сужая одни контексты и расширяя другие. И опять-таки все решения принимают пользователи.

Однако, в отличие от суперпозиции Ag -операция не имеет алгебраической компоненты. После получения в $\langle M, P \rangle$ -пространстве модели-агрегата можно анализировать ее ФЗ совместно.

В табл. 4.3 операции агрегирования соответствуют R' -вектора 11000..., кроме 111000110 (2-4). Поэтому, помимо двух необходимых условий осуществимости агрегации, представленных выше, желательно требовать также, чтобы существовал по крайней мере один параметр, входящий в каждую ФЗ агрегируемых моделей в качестве независимого.

Заметим, что в табл. 4.3. рассматриваются модели без контекстов и только двумерный случай ($m = 2$). Для анализа совместимости контекстов для $m > 2$ системой используется таблица 4.2 и решетка, представленная на рис. 5.5.

* В операциях объединения моделей выделяется два типа процедур:

* операции, при которых неявный контекст M_j ($j = \overline{1, m}$) переходит в явный (Uc);

* операции, которые не меняют состава параметров контекстов (Uv).

Графическая интерпретация различий этих операций показана на рис. 5.6. С помощью U -операции осуществляется расширение текста модели на логическом уровне. В этом отношении модели-результаты, полученные с помощью U -операции, можно считать "виртуальными", т.к. общего текста их не существует. Но во многих случаях в ИП до-

статочно такого "дискретного текста". Тем более, что часто для моделирования некоторых процессов в различных областях допустимых значений используются различные методы.

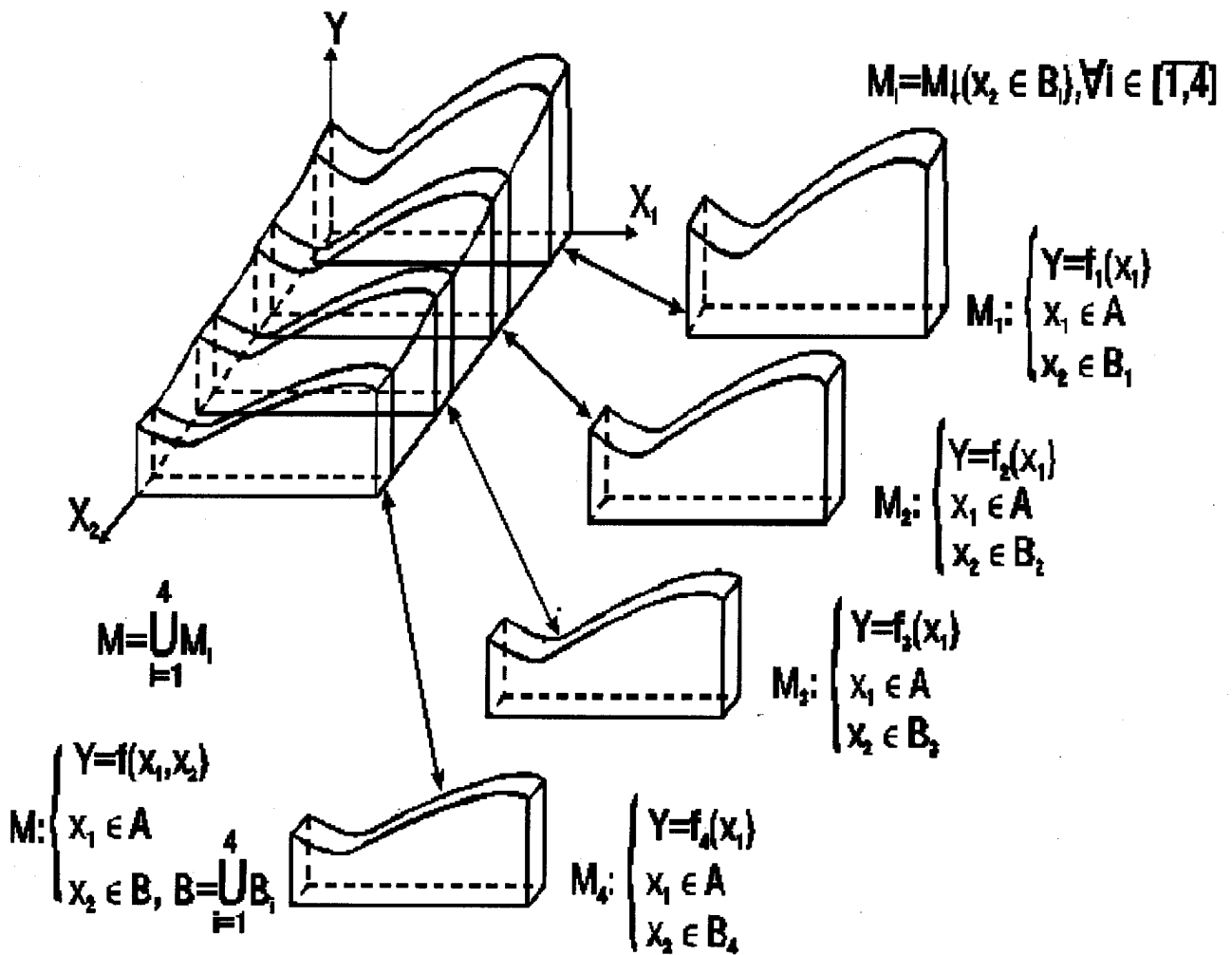


Рис. 5.5. Пример U_c - операции «с расширением контекста»

Обратим внимание, что *Uc-операция* является обратной по отношению к *Rp-операции* (см. рис. 5.6)

В отличие от агрегирования, необходимым условием осуществимости *U-операции* *j* моделей является совпадение всех идентификаторов выходных параметров объединяемых ФЗ. Такая операция в технологиях БД называется обобщением. Фактически производится расширение области допустимых значений модели.

И в отличие от агрегирования перед проведением *U-операции* необходимо проанализировать объединение контекстов обобщаемых моделей:

$$\bigcap_{j=1}^m \left(\left(\bigcup_{i=1}^n \text{Dom}_j X_{ji} \right) \cup \left(\bigcup_{i=1}^k \text{Dom}_j Z_{ji} \right) \right) \quad 5.5$$

Таким образом (как и в случае проведения *Ag-операции*) при осуществлении **U**-операции контексты локальных моделей способствуют определению целостного целесообразного общего контекста обобщаемых знаний. И также окончательное решение о контексте модели-результата принимает исследователь, и также данная операция включает только логическую компоненту.

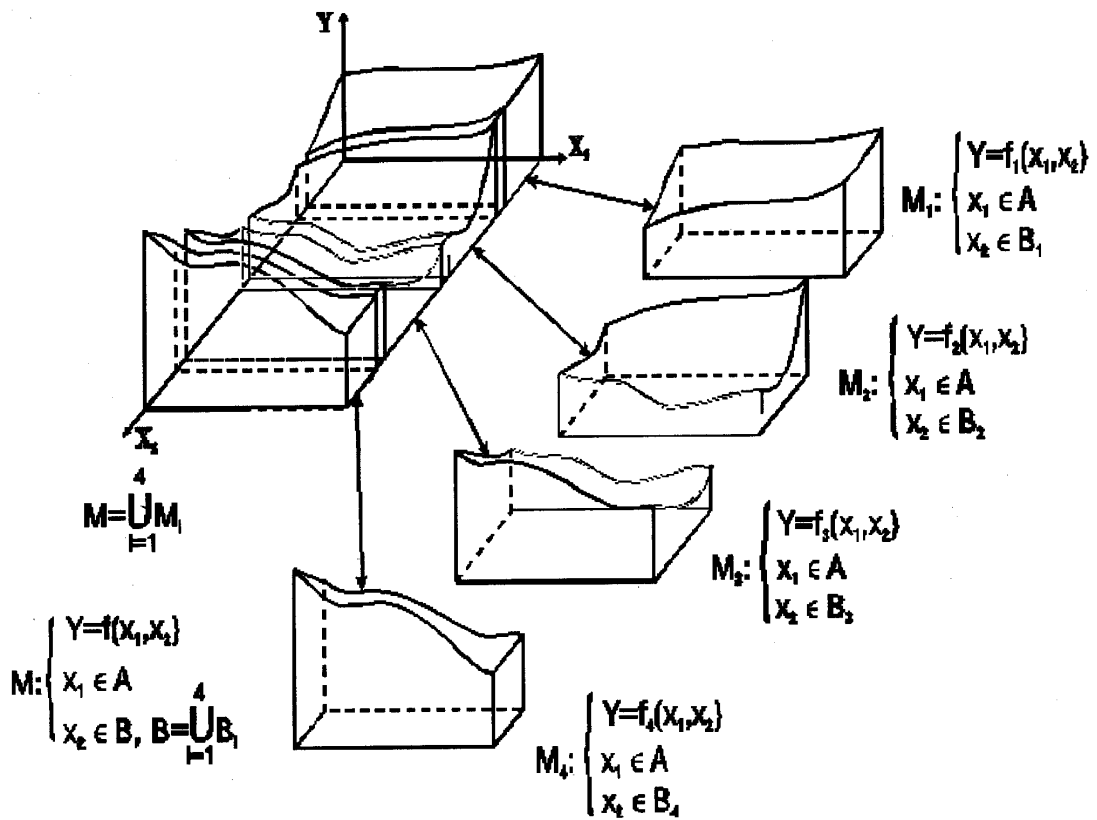


Рис. 5.6. Пример U_v - операции «с расширением контекста»

этому *аналогичны* – *Ag*. Именно этим обусловлено название операции и модели-результата.

Кооперация часто используется исследователями для структуризации своих знаний о моделируемых процессах и операциях.

Заметим, что в процессе получения дедуктивных выводов все описанные в данном разделе операции используются многократно и в различных сочетаниях. При этом несмотря на *дедуктивную замкнутость* $\langle M, P \rangle$ в данном случае ("общения с внешней средой нет") *алгебра и логика исчисления моделей не может работать полностью автоматически*, необходимо интерактивное общение с исследователем. Это обусловлено, фактически, необходимостью учета НЕ-факторов в ИП сложных изделий (см. главу 6).

Теперь рассмотрим операции, касающиеся "общения $\langle M, P \rangle$ с внешней средой". В этом интерфейсе выделены процедуры: *Dl, Sb, In*. Все эти операции трансформируют $\langle M, P \rangle$ -пространство в логическое многообразие, а дедуктивную систему в – семиотическую, обеспечивая ее "открытость".

4. Операции класса $Dl = (Dl, Dl, Zr)$ производится в случае обнаружения в $\langle M, P \rangle$ -пространстве некорректной модели, не подлежащей какому-либо редактированию.

Сложность проведения *W-операции* заключается в обеспечении корректности модификации $\langle M, P \rangle$ -пространства при ее осуществлении.

5. Операции редактирования модели соответствует отношение $Md = (Sb, Sb, Zr)$, т.е. на уровне $\langle M, P \rangle$ -пространства соответствующие тексты и контексты заменяются. Но возможно, что замещается только текст модели. В этом случае $Md = (Sb, Zr, Zr)$.

6. И последний класс операций – *ввод новой модели*: $In = (In, In, Zr)$.

При вводе новой модели, точнее ее Mt_j и Mk_j в $\langle M, P \rangle$ -пространство необходимо найти ей в структуре $\langle M, P \rangle$ "нишу". Или сформировать ее. Она готовится исследователем с привлечением всего арсенала средств, описанных выше; т.е. пользователь анализирует текст и контекст (в большей мере) модели M_j , исследует релевантные структуры в $\langle M, P \rangle$ – пространстве с помощью операций $\{E\}$, $\{R\}$, Rp , Rr , Sp , Ag , Uc , Uv , Au , пересечения и объединения различных контекстов ($\langle M, P \rangle$ -окрестностей).

Операцию Md можно трактовать как удаление Dl одной модели и ввод In - другой. В этом случае, собственно как и при всех других операциях общения с внешней средой, необходим анализ и корректировка $\langle M, P \rangle$ -пространства.

Заметим, что если ввести в качестве значения для каждого параметра в его область допустимых значений еще и «0», то все операции 3-го класса (Rp, Rr, Sp, Ag, U) можно трактовать как операции объединения. Проекция в этом случае будет соответствовать $M_j \cup X_{ij}$, где $X_{ji} = const$ и $X_{ji} \in Dom j X_{ji}$, а в редукции $X_{ji} = 0$. Далее можно было бы построить алгебру строго формально, например в такой форме $A_{\langle M, P \rangle} = \langle M, P, \cup, \cap \rangle$.

Обратим внимание, что если для текстов (частично и для контекстов) моделей алгебраические операции естественны, то для контекстов характерны в большей мере логические операции, т.е., например, если

$$MT_1 \cup MT_2 = MT_3, \text{ то } Mk_1 \cup Mk_2 \rightarrow Mk_3$$

И контекст-универсум носит условный характер ввиду открытости $\langle M, P \rangle$ -пространства.

Представляется уместным подчеркнуть, что предметом данного исследования является определение и обоснование принципов построения алгебры и логики текстов и контекстов моделей, достаточных для реализации соответствующих программно-информационных комплексов и компьютерной технологии ИП сложных объектов.

ГЛАВА 6. НЕ-ФАКТОРЫ В ИССЛЕДОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: ОТ НАИВНОЙ ФОРМАЛИЗАЦИИ К ЕСТЕСТВЕННОЙ ПРАГМАТИКЕ

Ввиду своей универсальности, НЕ-факторы играют ключевую роль не только в структуре реальных знаний, но и в приложениях, относящихся к сфере вычислительной математики. Однако до последнего времени этой области исследований, имеющей без преувеличения стратегическое значение, внимание практически не уделялось

А. С. Нариньяни

6.1. Определение свойств НЕ-факторов

Много лет назад, в работах [108] и затем [109,110] была сделана попытка сравнительного рассмотрения комплекса факторов, активно моделируемых в инженерии знаний и некоторых технических приложениях, но недостаточно изученных или вообще игнорируемых в традиционной математике. В [109] они были названы *НЕ-факторами*, поскольку каждый из них получил наименование, лексически и содержательно отрицающее одно из традиционных свойств формальных систем – *точность, полноту, определенность, корректность* и т.п.

При создании интеллектуальных систем ИП учет этих факторов ввиду специфики объекта и операций исследовательского проектирования (см. главу 1) особо значим.

А. С. Нариньяни в [109] рассматривает четыре НЕ-фактора: *неточность, недоопределенность, неоднозначность и нечеткость*. Этот выбор определен тем, что формальное представление данных факторов связывается обычно с использованием *интервала знаний*. Такое внешнее сходство делает более наглядным обсуждение их взаимосвязи, а, главное, содержательных различий в их прагматике.

В [109] отмечается, что понятие нечеткой переменной, введенные Л. Заде в [73] за истекшие почти три десятилетия достаточно устоялось и породило огромную область исследований – *нечеткую математику*, обладающую всеми внешними атрибутами серьезной науки: обширной библиографией, специальными журналами, множеством проходящих ежегодно конференций и даже специальными типами компьютеров, базирующихся на нечеткой логике.

Однако, у любого формального понятия, даже нечеткого, не может быть нечеткой прагматики. Другими словами, должно быть совершенно точно определено, какие именно эти свойства определяют выбор конкретных операций и отношений над формальными объектами, т.е. саму содержательную интерпретацию данных объектов. В противном случае такой выбор оказывается достаточно произвольным, и внешне претендуя на отображение реальности, система становится псевдо-моделью, порождая результаты, адекватность которых не поддается проверке [109].

Такое смешение совершенно различного порядка характерно, к сожалению, для подавляющего большинства работ в области нечеткой математики.

Итак, ключевой термин НЕ-факторы продолжает до сих пор обозначать только видение проблемы, поскольку ее разработка не продвинулась пока настолько, чтобы предложить хотя бы ядро соответствующей теории [109].

1. Реальность и, соответственно, наша система знаний о мире устроены совершенно по иному, чем современные формальные аппараты, призванные эту реальность моделировать и эти знания представлять. Постулируемые для традиционных формализаций *точность, полнота, определенность, непротиворечивость* и т.п. являются (возможно!) необходимыми атрибутами самих этих систем, т.е. *мета-атрибутами* модели, в то время как для реальных знаний указанные свойства являются в общем случае совершенно искусственными;

2. В тех случаях, когда специалисты берутся за создание аппаратов, отражающих особенности интересующих нас свойств данных и знаний, они чаще всего ограничиваются "*внешним сходством*" формального и реального объектов. При этом реальная прагматика моделируемого явления игнорируется и аппарат строится на основе интуитивного представления автора о естественности прагматики самой формальной системы. Примеров применения подобного "метода" сколько угодно: упомянутая выше нечеткая математика, различные подходы к оценке уверенности и правдоподобия, некоторые многозначные логики.

С нашей точки зрения, НЕ-факторы – это попытка (часто на лингвистическом уровне) зафиксировать учет наших НЕ-знаний при абстрагировании, переходе к формальным системам и интерпретации выводов, полученных на формальном уровне. Можно выделить, по крайней мере, четыре уровня использования категории "*НЕ-факторы*" .

- отображения "свойства → параметры" (спецификация, экспликация, формализация, параметризация свойств) (1);
- отображения "параметры → модели" (синтез "отношений свойств") (2);
- отношения «модели - модель» (трансформации и интеграции) моделей (3);
- отображения «параметры→ свойства» и «модели→ свойства» (интерпретации моделей) (4).

И, поскольку нам не всегда удается полностью моделировать НЕ-факторы посредством формальных систем, то, практически всегда, формальные отношения сопровождаются текстовыми описаниями (на ЕЯ-уровне), в которых фиксируются соответствующие ограничения, допущения, определения: см., например, определения моделей *Мр* и *Мм* в четвертой и пятой главах.

А. С. Нариньяни в [109], фактически, приводит принципы построения формального аппарата учета НЕ-факторов на первом уровне. Поэтому НЕ-факторы Нариньяни в большей степени касаются использования этой категории в приложении к свойствам сложного объекта, их измерениям, "данным", их параметризации и, в некоторой степени, их интерпретации (4-й уровень). Точнее трактовки знаний "закодированных" в параметрах; но не в моделях.

Когда мы говорим о втором уровне, то на первый план выступают с одной стороны, аспекты, выделенные Захаровым И.Г. [85] - постановка задачи моделирования исследуемых процессов и объектов, с другой стороны, - Эрлихом А.И. [155] - особенности использования различных формальных аппаратов в моделировании. Естественно, эти аспекты не являются независимыми.

Третий уровень в большей степени связан с контекстами моделей, т.е. с определением возможности их интеграции и корректного анализа. Заметим, что НЕ-факторы всех четырех уровней взаимосвязаны. Так, аспекты, выделенные явно Нариньяни, и, неявно Захаровым и Эрлихом, находят свое отражение на всех выделенных уровнях. И в связи с этим необходимо сделать несколько замечаний.

(1) Целесообразность учета НЕ-факторов возникает на уровнях моделирования одних отношений - другими. И, чаще всего, они являются следствием абстрагирования, необходимостью описания и формали-

зации контекстов создаваемых моделей, «кодирующих» соответствующие данные и знания.

(2) В приложении к различным категориям данных и знаний НЕ-факторы *трактуются по разному*. Так, например, НЕчеткость данных - это одно, НЕчеткость вывода - это другое, НЕчеткость постановки задачи - третье и т.д. Поэтому, НЕ-факторы целесообразно рассматривать как определение каких-либо процессов, объектов, явлений. А когда речь идет о моделировании, то, возможно, что НЕ-факторы характеризуют и отношения между объектом и моделью.

(3) Нельзя прямолинейно относить к категории НЕ-факторов любые характеристики объектов рассматриваемой предметной области с приставкой НЕ. Например, по-видимому, по крайней мере странно к НЕ-факторам относить понятия "непрерывности", "независимости", "недетерминированности", "неравномерности", "неявности" и т.д. Равно как НЕ-факторы могут определяться и без приставки НЕ: *противоречивость* и т.п.

(4) При моделировании НЕ-факторов формальными средствами некоторые из них могут иметь меру (например, целесообразно говорить о степени точности данных или об уровне адекватности модели исследуемым процессам), а другие - не иметь (так, модели могут быть согласованы по "входным - выходным" параметрам или НЕ согласованы).

(5) В исследовательском проектировании НЕ-фактором можно сделать почти любое определение качества используемых данных, информации, знаний (их "зеркального противопоставления"). Однако, далеко не каждое из них в настоящее время моделируемо формальными средствами. Например, трудно формализовать понятие *несбалансированности* (или степени сбалансированности) моделей в модельно-параметрическом пространстве - см. [41-43]. Поэтому многие НЕ-факторы, пока по крайней мере, останутся в моделях, синтезируемых и анализируемых в процессах ИП, на уровне текстовых комментариев. И их важно учитывать в формальных преобразованиях и интерпретациях.

В отношении последнего свойства НЕ-факторов в процессах ИП интересно отметить работу Нариньяни [110], в которой исследуется категория "неоднозначности" на доформальном уровне с целью выяснения сферы действия этого НЕ-фактора в контексте коммуникативных и когнитивных процессов.

Таким образом, выделим следующие категории НЕ-факторов, на характерных, с нашей точки зрения, для процессов ИП, уровнях:

* отображения "свойство → параметр: *неточность, нечеткость, недоопределенность, неоднозначность измерений свойств*;

* отображения "параметры → модель": *немультипликативность доменов параметров в модели, необратимость модели, неортогональность параметров в модели*;

* отношений «модели - модель» (синтез-анализ методик): *неоднородность формальных аппаратов, неполнота модельно-параметрического пространства, несогласованность моделей, противоречивость моделей (см. [41-43])*;

* отношений "модель - объект" (интерпретация моделей): *некорректность модели, неточность ее, неадекватность моделируемому объекту, неоднозначность трактовки результатов моделирования*.

Заметим, что мы не говорим о неполноте, недостаточности и неоднозначности наших знаний, противоречивости оценок исходных данных различными исследователями, "размытости" задания на проектирование, словесности описания целей и т.п. категориях НЕ-факторов, которые нам представляются слишком общими и подлежащими детализации.

Предлагается три формальных аппарата для моделирования НЕ-факторов в операциях синтеза-анализа моделей в процессах ИП: *интервальный анализ; традиционные механизмы оценки адекватности и других качеств моделей; алгебра и логика текстов и контекстов моделей*.

6.2. Интервальный анализ - средство моделирования НЕ-факторов на уровне параметризации свойств

В [109] убедительно показана эффективность использования интервальной математики для моделирования неточности значений свойств, их недоопределенности, неоднозначности и нечеткости. И, данный раздел написан на основании материалов [109].

Начнем с того, что сам интервал (пара чисел) как формальная конструкция еще не является типом данных, представляющим реальный объект или его свойства, - он выступает лишь как компонент таких типов, реализующих различную прагматику в зависимости от природы моделируемого объекта или свойства.

Действительно, интервал может получать совершенно разный смысл при использовании по крайней мере в четырех различных типах фор-

мальных объектов, которые отражают прагматику рассматриваемых ниже четырех НЕ-факторов.

1. *Неточность*: неточное значение есть величина, которая может быть получена с ограниченной точностью, не превышающей некоторый порог, определенный природой соответствующего параметра. Очевидно, что практически все реальные оценки значений параметров в ИП являются неточными и что сама оценка точности также является неточной. Таким образом, интервал – неточное значение задается двумя более точными величинами – границами.

Сущность неточной переменной, представляющей некоторый реальный параметр, такова, что попытка сделать ее значение более точным просто не имеет смысла, – например, оценка длины корабля с точностью до миллиметра или момента отправления судна – с точностью до сотой доли секунды или водоизмещения судна – с точностью до килограмма. Таким образом, неточное значение обладает своего рода "зернистостью", порядок которой не может быть понижен без выхода за рамки понятия, представляемого соответствующим параметром.

В каталогах параметров [49] рабочих мест исследователей для каждого моделируемого свойства пользователь определяет адекватную точность представления его значений.

2. *Недоопределенность*: недоопределенное значение является оценкой некоего денотата (см. главу 4), который является по своей природе более точным, чем позволяет установить доступная нам в данный момент информация.

Таким образом, интервал, представляющий недоопределенное значение, содержит внутри себя значение-денотат, которое остается пока неизвестным (вернее, известным с точностью до данного интервала) ввиду грубости измерений и/или недостатка информации. При поступлении более точных данных недоопределенный интервал может стягиваться, отражая представляемое значение-денотат все с большей определенностью. Это означает, что для недоопределенной переменной следует различать два значения:

- то реальное (неизвестное нам) значение-денотат, которое она представляет, и
- ее текущее интервальное значение, являющееся доступной оценкой этого реального значения.

В ИП в модельно-параметрической среде [49] обслуживается система каталогов параметров. В них поддерживаются отношения между об-

ластями допустимых значений параметров в различных моделях. Поэтому, действительно, по мере появления в модельно-параметрическом пространстве [41-43, 49] новых моделей области допустимых значений соответствующих параметров доопределяются, при этом они могут как «расширяться», так и «уточняться», т.е. точность их представления может увеличиваться,

Еще раз отметим, что традиционная математика оперирует определенными и точными значениями, которые в реальных задачах являются скорее исключением, чем правилом, поскольку и неточность и недоопределенность – факторы, присущие практически всем параметрам реальных объектов. Таким образом, каждая переменная адекватной математической модели должна быть одновременно и неточной и недоопределенной, т.е. обладать способностью уточнять, но до определенного предела, заданного уровнем "зернистости" ее области значений.

3. Неоднозначность: неоднозначное значение является более сложным, чем недоопределенное, поскольку кроме недоопределенного интервала включает задание на нем распределения вероятности (возможности, правдоподобия, уверенности и т.п.). Это распределение отражает относительные "шансы" каждого значения интервала оказаться тем реальным значением-денотатом, которое представлено данной интервальной переменной. Такое распределение необходимо, если приходится принимать решение на основе приблизительных, неоднозначных данных.

Интервал может стягиваться, а распределение меняться при поступлении новой информации, дополняющей знания о денотате. При этом распределение и интервал тесно связаны между собой: стягивание интервала приводит к корректировке распределения и, наоборот, если распределение принимает значение 0 на концах интервала, то соответствующие участки исключаются и интервал сокращается.

Правила трансформации распределения при уточнении знаний о реальном значении-денотате определяются природой отражаемой распределением оценки, которая может представлять объективный опыт – *вероятность*, субъективный – *возможность* и т.п. Таким образом, неизвестная или, точнее, недоопределенная, реальная величина-денотат в случае неоднозначной переменной представлена с помощью пары (*интервал, распределение*).

4. Нечеткость: нечеткость значения приписывается лингвистическим переменным, соответствующим таким понятиям как *слабый* (ветер),

сильное (волнение), *полное* (водоизмещение) и т.п., а также часто распространяется и на числовые параметры. В нечеткой математике лингвистические переменные, также введенные Л. Заде, представляются фиксированным, т.е. статическим, интервалом в соответствующей количественной шкале (спектр, диапазон расстояний, скоростей и т.п.). Нечеткому интервалу сопоставляется функция принадлежности, также статическая, которая фиксирует выраженную в шкале $[1, 0]$ меру принадлежности каждой точки интервала данному понятию.

Кажется очевидным, что описанный тип формального объекта, состоящий из статического интервала и статической функции принадлежности, не может адекватно отражать прагматику конкретных лингвистических переменных и контексте конкретного языкового использования.

Что касается диапазона данной оценки, то его конкретные границы определяются:

(1) контекстом, в котором используется данное понятие, например:

- недалеко от люка,
- недалеко от Санкт-Петербурга,
- недалеко от границ России, и т.п.

(2) места значения "недалеко" в ряду связанных с ним нечетких оценок расстояния, таких как "рядом", "очень близко", "сравнительно далеко" и т.п.

В свою очередь, у обоих участников коммуникации существуют свои, в общем случае несовпадающие, выработанные индивидуальной языковой практикой интерпретации понятия "недалеко" в данном контексте.

Аппарат, учитывающий зависимость нечеткого значения лингвистической переменной от контекста успешно разрабатывается в цикле работ, начатых публикацией [109].

6.3. Тексты и контексты в моделировании НЕ-факторов на уровнях синтеза моделей, их интеграции и интерпретации

Общеизвестны такие формальные средства оценки и анализа корректности, точности, адекватности моделей, как теория вероятностей, методы математической статистики, технология моделирования, диск-

ретная математика, теория размерности и подобия, методы вычислительного эксперимента, планирования эксперимента, системного анализа. В этих математических механизмах, при определенных допущениях, можно выделить различные средства моделирования указанных НЕ-факторов. Здесь их рассматривать не будем.

Заметим, что в настоящее время зародилось и развивается новое научное направление, названное *квалиметрией моделей*. В его рамках исследуются проблемы разработки научных основ, методологии, методов и методик количественной оценки показателей качества, характеристик и свойств как самих моделей, так и вычислительных экспериментов с ними. Заметим, что при этом рассматриваются модели, определенные в самой различной нотации: дифференциальные, интегральные уравнения, регрессионные функции, сети Петри, конечные автоматы и т.д. В показателях качества моделей выделяются: *адекватность, степень универсальности, сложность, адаптивность, надежность, чувствительность* и т.п. Таким образом, в некоторой степени квалиметрия моделей также должна "поставлять" средства моделирования НЕ-факторов в процессах исследовательского проектирования сложных изделий новой техники.

Здесь акцентируем внимание на использовании *текстов и контекстов моделей* в качестве методов учета НЕ-факторов в ИП. По сути, определенные ниже аспекты применения текстов и контекстов моделей целесообразно рассматривать как требования к операциям алгебры и логики, которые строятся в [39, 46].

1. На уровне синтеза моделей на базе локальных параметров или использования "готовых" моделей в ИП мы выделили:

⇒ немультимативность доменов параметров при описании областей допустимых значений модели;

⇒ необратимость модели;

⇒ неортогональность факторов-параметров в моделях.

- *Немультимативность доменов параметров* обсуждалась в главе 5. Этот НЕ-фактор в моделировании имеет фундаментальный характер, т.к. приводит к невозможности автоматического определения контекста модели на основе областей допустимых значений параметров, входящих в текст модели.

Таким образом, в общем случае область допустимых значений модели (в рамках которых модель адекватна отображаемому с ее помощью

объекту) может представляться в пяти форматах: двух экстенциональных, интенциональном, текстовом и "гибридно".

(1) Решетка допустимых значений параметров определяется "простым перечислением" векторов значений соответствующих параметров.

(2) Решетка контекста модели определяется на "прямом произведении" доменов параметров с исключением из него некорректных значений.

(3) Контекст модели определяется формально, т.к. допустимые значения входных параметров вычисляются с помощью использования каких-либо формул (не обязательно функциональных зависимостей).

(4) Под текстовым форматом определения контекста модели мы понимаем естественно-языковую форму представления ограничений, накладываемых на допустимые значения входных параметров в модели.

(5) Гибридный формат представления области допустимых значений модели предполагает использование в рамках определения контекста одной модели одновременно первого или второго, и/или третьего, и/или четвертого форматов.

Представляется целесообразным сделать три замечания.

- * Во-первых, учитывая интервальный характер определения доменов параметров (см. главу 2), мы действительно в случаях (1) и (2) будем иметь решетку.
- * Во-вторых, контекст модели может быть "многослойной конструкцией", т.е. представлять собой иерархическую структуру: контекст в контексте, в контексте и т.д. Такая ситуация наблюдается в тех случаях, когда входные параметры данной модели являются выходными других моделей. И тогда возможную гибридность (5)-го формата представления контекста можно рассматривать как "вертикальную структуру".
- * В-третьих, быть может, необходимо рассматривать для каждой модели несколько контекстов (см. рис.5.4): область корректности модели, область ее точности, полезности, информативности и адекватности. Тогда особый интерес представляет анализ результатов теоретико-множественных операций пересечения, объединения, разности таких контекстов.
- НЕ-фактор, названный нами "необратимость модели", связан с другим НЕ-фактором "неоднозначность" или, лучше, многозначностью моделей.

Под "необратимостью модели" понимается следующий, часто неявный, аспект моделирования сложных объектов. При построении, например, модели $M: P_1 = f(P_2, P_3)$ мы априори знаем, что параметр P_1 зависит (функционально) только от параметров P_2 и P_3 .

Пусть $P_2 \in \text{Dom } P_2$ и $P_3 \in \text{Dom } P_3$.

Тогда $\text{Dom } M \subseteq \text{Dom } P_2 \times \text{Dom } P_3$.

Построив решетку (или "сетку" для вычислительного эксперимента) на $\text{Dom } M$ и собрав данные о значениях P_1 , например, натурным или вычислительным экспериментом, с помощью методов математической статистики, мы можем построить текст модели $P_1 = f(P_2, P_3)$. Но можно этот текст оставить и на уровне таблицы. Вполне правомерно желание исследователя проанализировать, на основе этого текста, и зависимость $P_2 = \mathbf{f}_1^{-1}(P_1, P_3)$ или $P_3 = \mathbf{f}_2^{-1}(P_1, P_2)$. И соответствующие вычислительные процедуры Ψ_3 и Ψ_4 поддерживают эту операцию обращения функции если не на уровне синтеза "аналитического текста", то, по крайней мере, графического или табличного его представления. Но не всегда такая операция будет правомерна. Действительно, значения P_1 "вычислялись" для $\text{Dom } P_2 \times \text{Dom } P_3$, а для того, чтобы получить значения, например P_2 , надо их "вычислять" на $\text{Dom } P_1 \times \text{Dom } P_3$. Заметим, из того что P_1 зависит только от P_2 и P_3 , не вытекает, строго говоря, что P_2 зависит лишь от P_1 и P_3 .

Однако, опыт исследователя может мотивировать, в некоторых случаях, правомерность таких обращений моделей. Поэтому, пользователю нужно предоставить средства необходимой маркировки фрагментов контекстов моделей, для которых можно исследовать обратные зависимости. И тогда более корректно говорить не о проблеме "необратимости модели", а о ее *ограниченной обратимости*. Таким образом, контекст в вычислительной среде нельзя представлять в форме "некоторого монолита". Заметим, что ранее, когда обращение функций являлось прерогативой лишь аналитических преобразований (и поэтому далеко не всегда было возможно: тривиальный пример - $y = x^4 + x^3$), такая проблема вообще не стояла.

Другим аспектом ограниченной обратимости модели является возможность получения из функциональных зависимостей многозначных отношений. Простые примеры: $y = \text{tg}x$ или $y = x^2$. И в том, и в другом, случаях эту проблему решают ограничением $\text{Dom } x$ (и действительно,

если $S = a^2$, то длина стороны квадрата $a > 0$). Однако, в моделировании "реального мира" такая многозначность может быть обусловлена физикой процесса или явления. Поэтому, представляется целесообразным предоставить пользователю средства "разбиения" контекстов моделей на фрагменты, для исследования причин многозначности, устранения ее или идентификации (вместе с "выделенным контекстом").

Заметим, что модели, синтезируемые и анализируемые в ИП, часто строятся более чем на 5 параметрах (см., например, в [69]). Таким образом, их области допустимых значений являются структурами в многомерном пространстве; в отличие от приведенных выше примеров.

- НЕ-фактор, определенный как "неортогональность параметров" в моделях здесь назван больше с целью обозначения проблемы и надеждой, что тексты и контексты модели могут способствовать ее решению. Суть проблемы заключается в том, что мы привыкли считать, что в рассматриваемых моделях параметры являются независимыми и, соответственно, представлять их в общем случае в n -мерной декартовой системе координат. Тогда как исследования частных случаев этих моделей (проекций их в соответствующие подпространства) показывают зависимость этих параметров друг от друга. Например, если $P_1 = f_1(P_2)$ и $P_3 = f_2(P_1, P_2)$ рассматриваются "вместе", то нельзя уже представлять P_3 в трехмерной декартовой системе координат, т.к. P_2 не ортогонально P_1 . Собственно, часто и немультимпликативность $Dom P_1$ в модели обусловлена этими аспектами. Например, P_1 и P_2 в некоторых точках $Dom P_1 \times Dom P_2$ несовместимы, а это значит, что они взаимозависимы. С этих позиций можно рассматривать и частичную обратимость моделей и их многозначность.

Но поскольку в этом случае, фактически, неявно, анализируется взаимодействие минимум двух моделей, быть может, эту проблему целесообразно рассматривать в рамках НЕ-факторов следующего уровня.

2. На уровне интеграции моделей или их совместного анализа мы выделили следующие НЕ-факторы:

- ◇ неоднородность формальных аппаратов объединяемых моделей;
- ◇ несогласованность объединяемых моделей;
- ◇ противоречивость и неполнота модельно-параметрического пространства.

- *Неоднородность формальных аппаратов, используемых в ИП для синтеза-анализа моделей обсуждалась в главе 2. Суть проблемы заключается в том, что "тексты моделей (которые необходимо рассматривать совместно) пишутся на разных формальных языках". Этот НЕ-фактор, по сути, представляет проблему невозможности специалистов обладать глубокими знаниями во всех предметных областях, имеющих отношение к проектируемому объекту, и невозможности использования для описания различных аспектов сложного изделия одного формального аппарата. Для его моделирования предлагается некий метаязык, который обеспечивает единую форму определения моделей в виде их текстов и контекстов. При этом, в тексте отражается синтаксис (знаковое выражение) моделируемого отношения между параметрами-свойствами, а в контексте - семантика, необходимая и достаточная для совместного анализа моделей и/или их интеграции.*

Для обоснования корректности создания какой-либо "модельной целостности" необходимо привести все объединяемые модели к единому контексту. Для этого нужно сначала построить общий параметрический базис этой "целостности", затем провести на нем операцию пересечения контекстов всех объединяемых моделей. Полученный контекст (если он не пуст) и будет основанием для синтеза, быть может на логическом уровне (см. [41]), общего текста "модельной целостности". Под модельной целостностью мы здесь понимаем какую-либо методику (см. [41-43]), агрегат, подсистему сложного изделия.

- *Несогласованность объединяемых моделей выражается в том, что область допустимых значений выходного параметра модели "нижнего уровня" не имеет общих значений с доменом соответствующего параметра модели "верхнего уровня". Например, модель $P_1 = f_1(P_2, P_3)$ объединяется с моделью*

$P_2 = f_2(P_4, P_3)$. При этом, $(Dom P_2)_{f_1} \cap (Dom P_2)_{f_2} = \emptyset$, где

$(Dom P_2)_{f_i}$ - область допустимых значений P_2 в модели f_i . Семантически близким к этому НЕ-фактору является "несовместимость моделей". Для вышеприведенного примера она заключается в том, что возможно

$$(Dom P_3)_{f_1} \cap (Dom P_3)_{f_2} = \emptyset.$$

Таким образом, если модели согласованы, но несовместимы, их объединять нельзя. Очевидно условие совместимости моделей является необходимым для операции их интеграции на формальном уровне.

Также, очевидно, что условие полной совместимости контекстов моделей является обоснованием построения моделей-агрегатов (АКО-отношений, или фреймовых моделей) на их базе. Например, в случае если

$$P_1 = f_1(P_3, P_4) \quad \text{и} \quad P_2 = f_2(P_3, P_4)$$

и

$$(Dom P_1)_{f_1} \cap (Dom P_1)_{f_2} \neq \emptyset,$$

где $i = \{3, 4\}$, то можно говорить о модели M - агрегате f_1 и f_2 . При совместном анализе моделей (в выше приведенном примере, P_1 и P_2) модели и не должны быть согласованы по входу-выходу.

С другой стороны, если

$$P_1 = f_1(P_2, P_3) \quad \text{и} \quad P_1 = f_2(P_2, P_3)$$

и

$$(Dom P_1)_{f_1} \cap (Dom P_1)_{f_2} = \emptyset,$$

и

$$(Dom P_2)_{f_1} \cap (Dom P_2)_{f_2} \neq \emptyset,$$

то модели f_1 и f_2 можно обобщать.

Все эти операции рассмотрены в [39, 46]. Здесь только сделаем два замечания.

* Во первых, в целях упрощения мы рассматриваем только согласование и совместимость на уровне областей допустимых значений параметров. Но не менее (а быть может и более, по крайней мере с этого надо начинать) важны совместимость и согласование параметров в моделях на уровне идентификации (точнее выявления сущности) моделируемых посредством их свойств.

* Во-вторых, при выявлении несовместимости или несогласованности доменов и идентификации параметров в моделях, исследователь должен иметь возможность отредактировать соответствующие атрибуты моделей; считая, возможно, на основе своего опыта корректной такую операцию.

- Определение, свойства, структура модельно-параметрического пространства рассматривается в [41-43]. Здесь кратко остановимся на проблеме учета неполноты и противоречивости его фрагментов.

Под *неполнотой* понимается недостаточность моделей для исследования каких-либо подсистем или агрегатов сложного изделия. При этом предполагается, что на основе своего опыта проектировщик знает параметрический базис соответствующей компоненты сложного объекта. И тогда, посредством анализа областей допустимых значений этих параметров мы можем определить подмножество моделей, в которых они

используются в качестве контекста. Затем выявить "оставшиеся непокрытыми фрагменты" доменов параметров. После этого можно сформировать контексты моделей, которые необходимо синтезировать для обеспечения функциональной полноты исследуемого процесса, объекта, явления.

Под противоречивостью моделей в модельно-параметрическом пространстве понимается наличие в "модельном покрытии" какого-либо компонента сложного изделия моделей, которые "генерируют" различные значения для одного и того же параметра в идентичных условиях (полностью совместимом контексте). Выявив такие фрагменты контекстов и текстов (по сути, автоматически), мы предоставляем пользователю возможность анализа ситуации, выявления и идентификации причин и принятия решений. Заметим, что он имеет возможность зафиксировать необходимые характеристики в контексте ММ модели.

3. На уровне интерпретации моделей были выделены следующие НЕ-факторы: *некорректность, неточность, неадекватность, модели и неоднозначность трактовки результатов моделирования.*

Заметим, что все модели предыдущих НЕ-факторов, за исключением последнего, строились на основе анализа контекстов моделей. НЕ-факторы этого класса касаются в большей мере текстов моделей.

Однако, на первом этапе возможен анализ взаимоотношений областей допустимых значений корректности, точности и адекватности интерпретируемой модели. При этом, как обычно, оценка качества модели включает и процессы анализа операций ее построения. Поэтому области допустимых значений нельзя понимать как "некоторые границы". Здесь необходимо учитывать и точность представления значений, и их достоверность, и т.п. Этот этап мы называем этапом *качественного* анализа адекватности модели исследуемому процессу, объекту.

На втором этапе (*количественного* анализа) вычисляются, с помощью \square_3 -процедур значения выходных параметров модели и на основе их сравнения с денотатами моделируемого объекта определяются меры корректности, точности и адекватности рассматриваемой модели. В качестве образца для сравнения могут служить результаты натуральных и/или полунатурных испытаний, модель-аналог, и другие объекты (по выбору исследователя). Окончательное решение принимает пользователь. Полученные оценки он записывает в характеристиках ММ модели.

Неоднозначность трактовки результатов моделирования и оценки полезности моделей, в настоящее время, осуществляется в большей

мере на эвристическом уровне; т.е. не предполагается реализация каких-либо формальных механизмов учета этих НЕ-факторов. Но свои заключения пользователь должен внести в базу знаний.

Естественно, возникает вопрос: *каким же образом обычная математика позволяет решать до сих пор практически задачи?* В [109] на него отвечают так.

- *Во-первых*, математика решает только некоторые типы задач. Мы так привыкли к этому, что как бы не замечаем все, что лежит вне этой зоны досягаемости, и не отдаем себе отчет в том, что подавляющее число реальных проблем остается нерешенными. Именно во многих из таких "слепых зон" стандартной математики пышно цветет чертополох нечетких приложений.

- *Во-вторых*, безупречность традиционных вычислительных методов также часто является мифом: во многих случаях накапливающаяся ошибка счета не оценивается и не контролируется, - получая формально точные значения, мы не знаем, в какой степени они соотносимы с реальным результатом. Поэтому так часто в приложениях результаты расчетов умножают для надежности на различные коэффициенты, взятые "с потолка".

- *В-третьих*, неточность параметров задачи, а часто и неполнота ее условий, допускает и определенную неточность выбора способа ее решения. Произвольным образом выбрав точные значения параметров в пределах их естественной зернистости, мы применяем к ним "точные" методы и получаем результат с количеством разрядов, намного превышающим всякие разумные пределы. После чего, взяв с того же потолка плюс-минус нечто, переходим к такой неточности результата, которая с запасом превышает его натуральную неточность.

Все вышесказанное говорит о том, что *игнорируя НЕ-факторы, мы расплачиваемся за это потерей качества решения, а во многих случаях и уверенностью в его адекватности.*

На самом общем уровне обсуждения приходится признать, что традиционная математика, доступная нам сегодня для формулировки и решения практических задач, весьма далека от адекватности: она оперирует с формальными объектами, которые, как правило, слишком абстрактны и плохо представляют сложную прагматику реальности. Предполагается выделять в этой прагматике составляющие - НЕ-факторы, которые поддаются формализации, а также существенным образом допол-

няют и расширяют возможности математики по естественному отражению человеческой модели мира.

ГЛАВА 7. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ И ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Эйнштейн утверждал, что должны существовать простые объяснения природных процессов, так как Бог не действует из каприза или по произволу. У программиста нет такого утешения: сложность, с которой он должен справиться, лежит в самой природе системы.

Ф. Брукс

Великие проекты создаются великими проектировщиками, а не инструментами. Инструменты проектирования дают возможность проявиться индивидуальности, освобождают ее, чтобы она могла сосредоточиться исключительно на творческих задачах проектирования и анализа.

Г. Буч

7.1. Особенности реализации программно-информационных комплексов

В настоящее время при создании программных продуктов широко используются методы макетирования [15] и объектно-ориентированного проектирования [7]. Уже разработан широкий спектр адекватных технологий и методологий: Warnier / Orr, DSSF, DFD, ERD- и STD-диаграммы Йодана, MERISE, FAFOS, LOIPE и т.д. Детальный обзор и анализ этих концепций и идеологий дан в [19]. И здесь на их особенностях останавливаться не будем. Одной из целей реализации этих идеологий является максимальный охват жизненного цикла информационных технологий (ИТ) и обеспечения быстрых обратных связей с пользователями при создании программно-информационных комплексов (ПИК).

На рис.7.1 представлена общая схема отношений между этапами научно-исследовательской работы (НИР) по созданию ИТ (и соответствующего ПИК), соответствующей опытно-конструкторской работой (ОКР) и опытной эксплуатацией ПИК. Эта схема в частности отражает три обобщенных этапа: НИР закончена, НИР в стадии реализации, НИР планируется (составляется частное техническое задание, например). Эти этапы, фактически, соответствуют трем степеням готовности алгорит-

мов: необходимые методы разработаны; создаются; неизвестны, но "видятся".

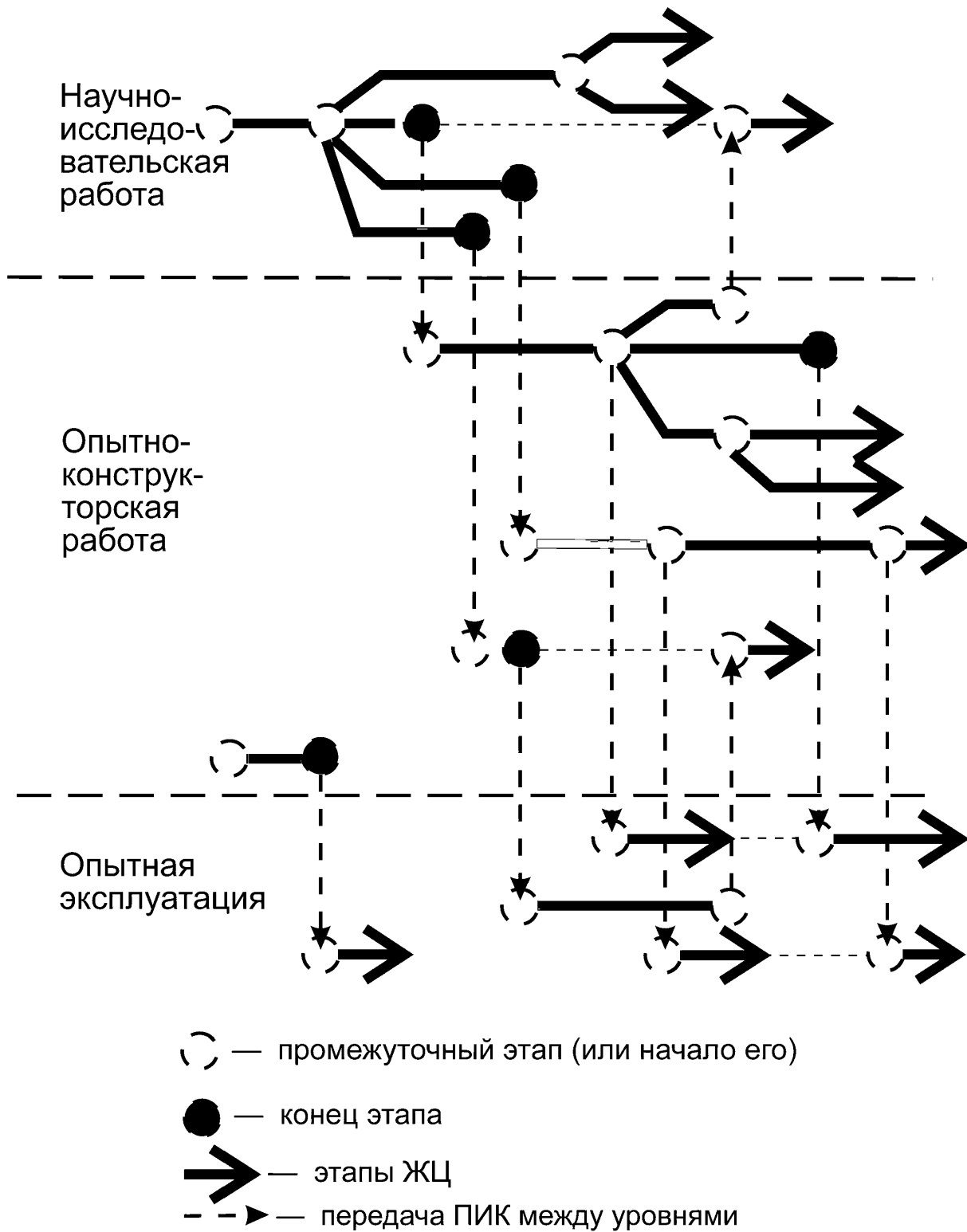


Рис. 7.1. Общая схема отношений между этапами НИР, ОКР, ОЭ жизненного цикла ПИК

Вполне очевидны следующие особенности организации и проведения работы по реализации ПИК.

В процессе проведения НИР и ОКР многие исследования и разработки могут "разветвляться" на "достаточно" независимые направления .

ОКР может начинаться и без проведения соответствующей НИР.

Но, как правило, ОКР должна начинаться когда соответствующие алгоритмы и методы разработаны.

В результате проведения ОКР (или на каком-то ее этапе) могут появиться новые идеи, для проверки реализуемости которых необходимо провести соответствующую НИР.

Опытная эксплуатация ПИК может начаться по завершении ОКР.

Но можно (и желательно) проводить апробацию некоторых функций и в процессе реализации ПИК, по мере готовности их средств.

Результатом апробации ПИК может быть и возвращение комплекса на доработку или даже перепроектирования в целом.

Именно этими принципами мы руководствовались при создании программно-информационных комплексов поддержки компьютерных технологий ИП сложных объектов. Исследовательский характер создания ИТ ИП приводит к необходимости в рамках ОКР проводить и НИР, которая должна закончиться адекватными алгоритмами и методами. Кроме этого желательно постоянно "отслеживать" направления развития и формирования новых компьютерных технологий и теоретических методов с целью их использования в создании перспективных информационных технологий ИП.

7.2. Технология создания и общая структура информационной технологии исследовательского проектирования

Как и в любой технологии, в ИТ выделяют процессы и ресурсы. Но поскольку рассматривается информационная технология, то ресурсы – данные, информация, знания, а процессы – операции их обработки с целью получения новых знаний, информации, данных.

Как известно, и неоднократно выше обсуждалось, знания и информация в процессах ИП "кодируются" в форме моделей и параметров. А операции их обработки представляют собой процедуры их синтеза, анализа, модификации, преобразования, интеграции и систематизации.

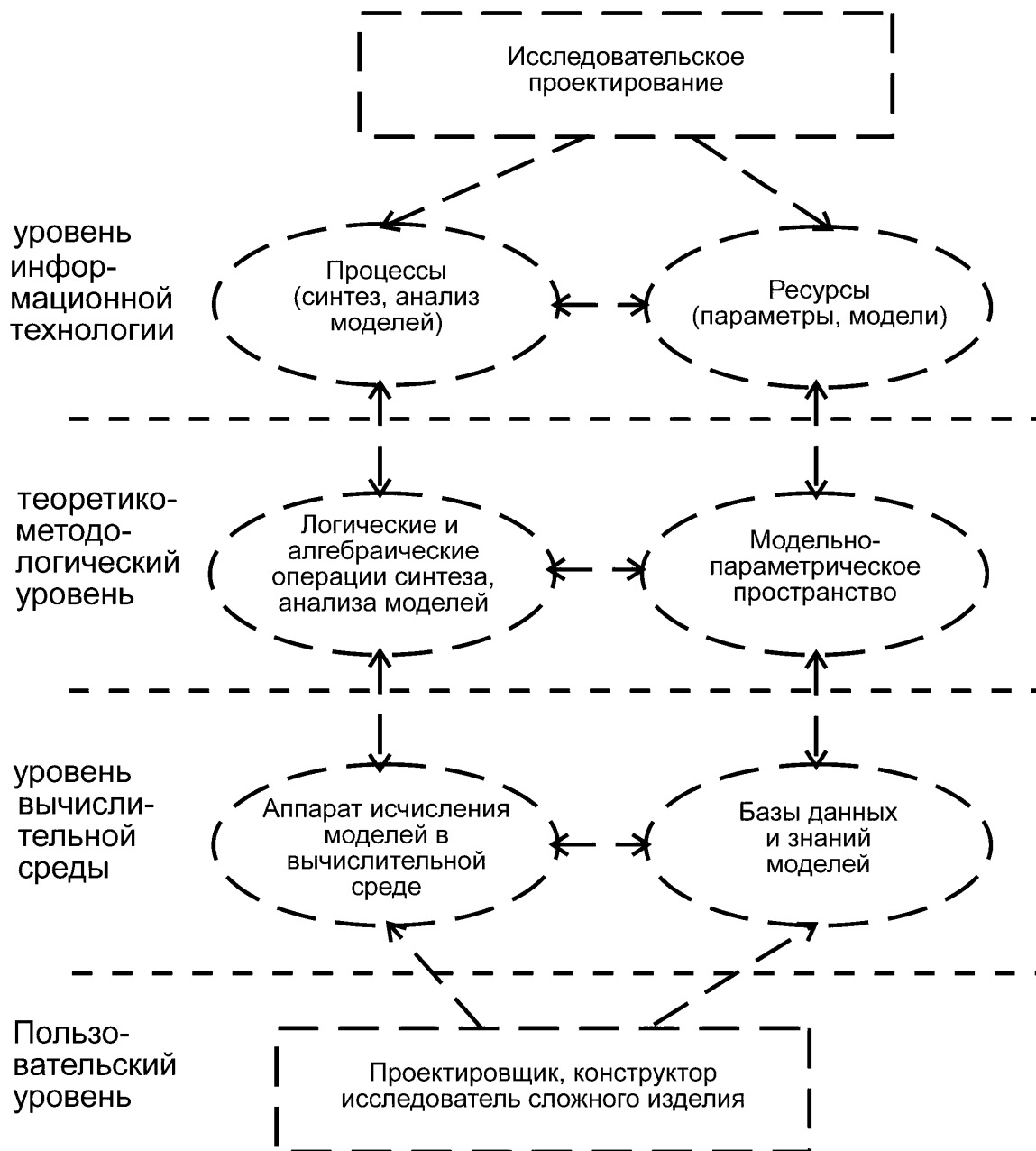


Рис. 7.2. Общая структура отображений «процессов» и «ресурсов» информационной технологии исследовательского проектирования

Поэтому на теоретико-методологическом уровне мы ввели и рассмотрели формальные механизмы представления модельно-параметрического пространства и соответствующий аппарат алгебры и логики их текстов и контекстов.

Далее, на уровне погружения конкретных моделей и параметров и операций их обработки в вычислительную среду ИТ мы построили соответствующие БД и БЗ моделей и разработали аппарат их исчисления в вычислительной среде.

Именно с этими компонентами работают пользователи ИТ ИП: проектировщики, конструкторы, исследователи сложных изделий ВК.

На рис. 7.2 представлена общая структура отображений "процес-сов" и "ресурсов" информационной технологии исследовательского проектирования. Эта структура отражает технологию реализации ИТ и соответствующий процесс (во времени) последовательной трансформации компонент (макрообъектов) технологии исследовательского проектирования.

Теперь созданный программно-информационный комплекс и соответствующую технологию можно представить в форме трехмерного графического образа. Его условная система координат изображена на рис. 7.3. На оси X выделяются макрообъекты ИТ: процессы (операции), ресурсы (данные, информация, знания). На оси Y – уровни: формальный и ИТ. На оси Z – уровни: методологии и пользовательский.

Теперь на рис. 7.4 представлена в этой системе координат общая структура отношений и отображений макрообъектов ИТ исследовательского проектирования сложных изделий.

Интересно сопоставить эту структуру с архитектурой интеллектуального пакета прикладных программ МАВР [20,21]. В этой системе выделены следующие уровни представления знаний:

– компоненты предметной области прикладного уровня (A); – подсистема переформулирования ($A \rightarrow M$); – компоненты предметной области математического уровня (M); – подсистема переформулирования ($M \rightarrow P$); – компоненты предметной области программного уровня (P). С нашей точки зрения очевидны соответствия:

(1.2.2 и 2.2.2.) \Leftrightarrow (A);

(1.1.2 и 2.1.2.) \Leftrightarrow (M);

(2.1.1. и 1.1.1.) \Leftrightarrow (P);

Заметим, ИППП МАВР был в свое время пионерской системой, один из первых интеллектуальных ППП, возможно, вообще первой САПР, использующей методы и средства искусственного интеллекта. И, по-видимому, отмеченная прямая аналогия структуры рассматриваемой ИТ ИП и его архитектуры не случайна, а демонстрирует преемственность идеологий создания интеллектуальных систем в данной предметной области.

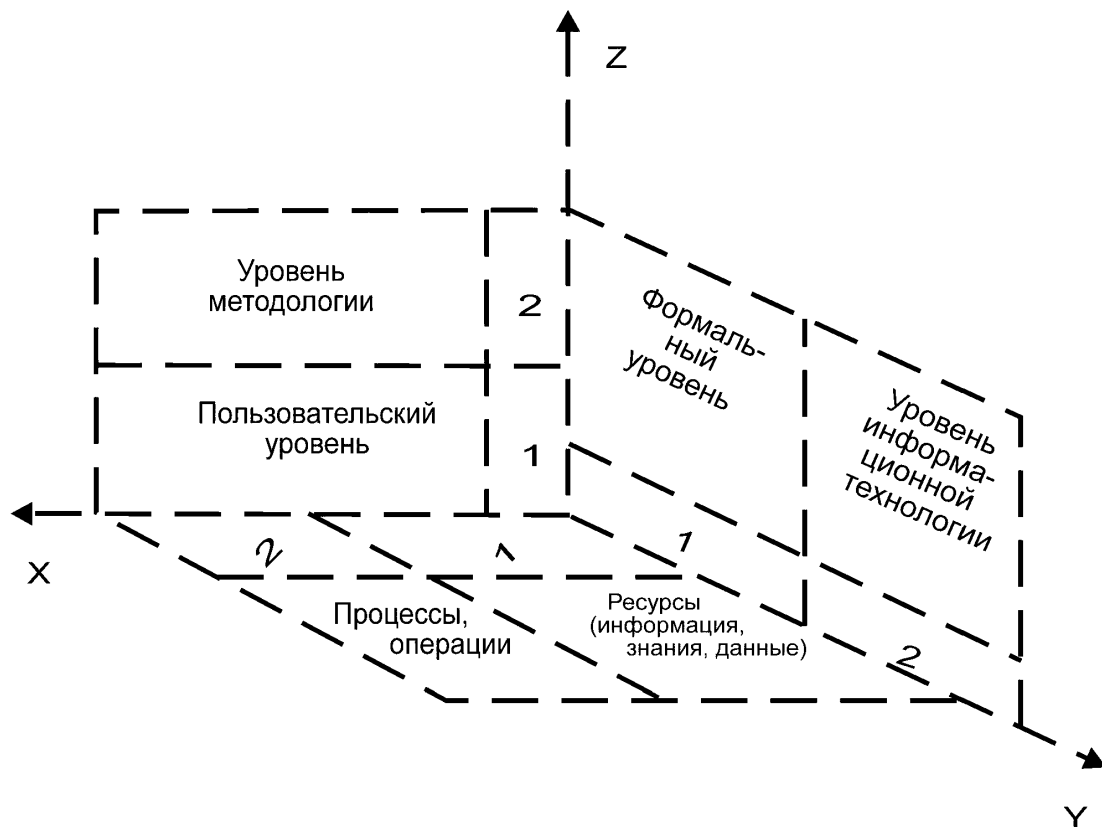


Рис. 7.3. Условная система координат для представления отношений <процессы, ресурсы> ИП в различных средах

В следующем разделе рассмотрим проектные решения создания базового программно-информационного комплекса реализации ИТ исследовательского проектирования: МАМОД-М. Эта система предназначена для создания и поддержки в вычислительной среде БДиЗ модельно-параметрического пространства ИП.

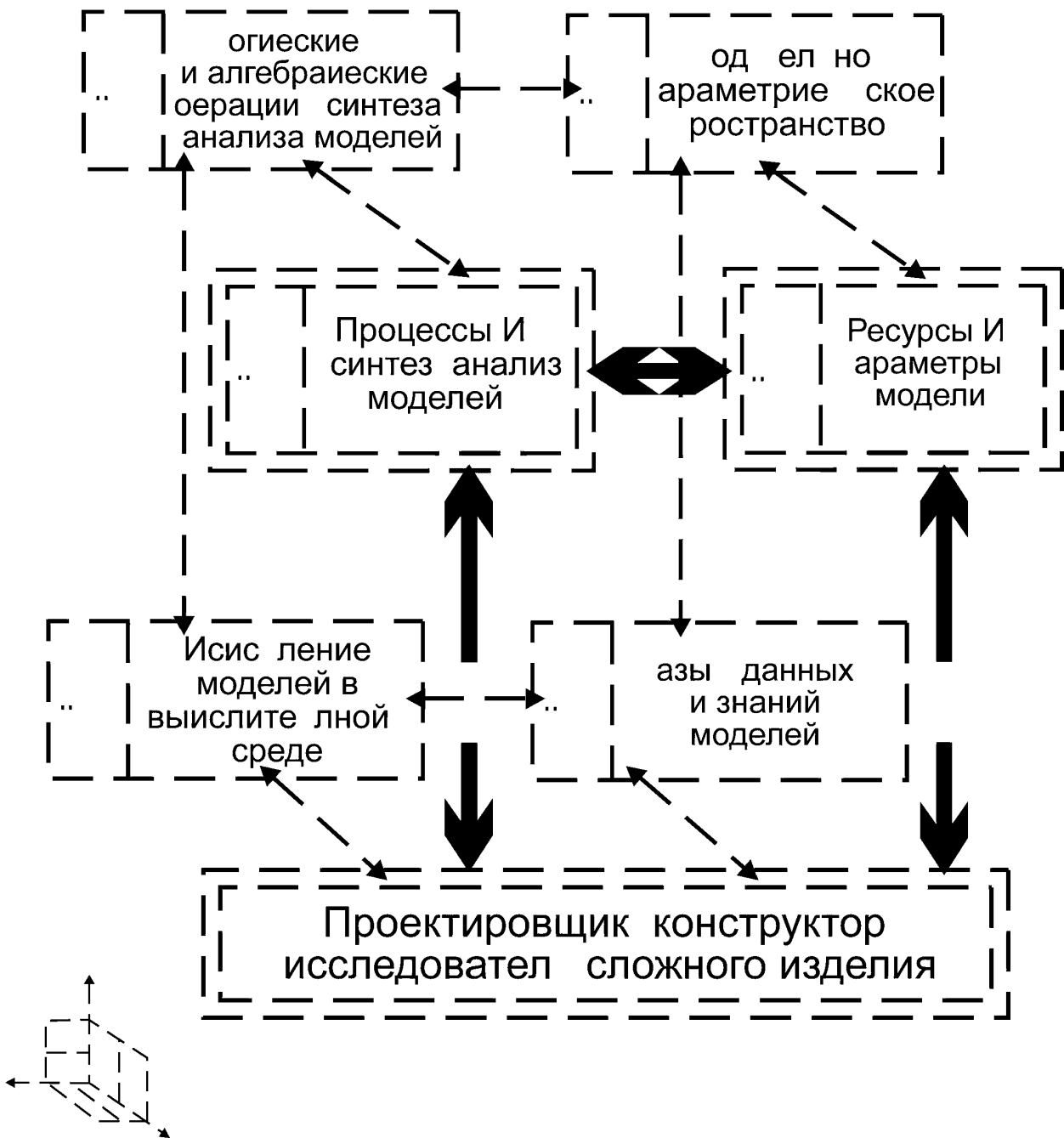


Рис. 7.4. Общая структура отношений и отображений объектов информационной технологии ИП сложных изделий

7.3. Спецификация проблемно-ориентированной системы управления базами данных и знаний моделей исследуемых процессов и объектов

7.3.1. Назначение системы МАМОД-М. Общая структура баз данных и знаний $\langle M, P \rangle$ -пространства

Целью создания СУБДиЗ МАМОД-М является разработка и внедрение в составе автоматизированных рабочих мест сотрудников научных подразделений КБ или НИИ программно-информационных средств управления базами данных и знаний математических моделей, используемых в теоретических, экспериментальных и проектных исследованиях сложных объектов и процессов.

Целью реализации системы управления базами данных и знаний математических моделей как основы создания *единой информационной среды проектных, научных и экспериментальных исследований*, создание программно-информационных интерфейсов СУБДиЗ с пакетами прикладных программ и системами обработки данных, используемых в подразделениях КБ или НИИ и разработка технологии использования СУБДиЗ в практической деятельности специалистов данной организации.

Таким образом, СУБДиЗ МАМОД-М является естественным интегрирующим средством всех СОД и ППП, синтезирующих модели и использующих их для анализа, генерации проектных и исследовательских альтернатив и принятия мотивированных и целесообразных решений в области создания сложных объектов.

На рис. 7.5 представлена общая схема исследований.

Пользователь (в данном случае, проектировщик, конструктор или исследователь) управляет процессами синтеза и анализа моделей. На основе последнего принимает проектные, конструкторские или исследовательские решения. Далее мы увидим, что среду в которой хранятся модели правомерно называть модельно-параметрическим пространством. В этой (информационной среде) пользователь не только хранит модели, но и посредством специальных средств осуществляет их классификацию, систематизацию, "вычисляет" целостность и непротиворечивость хранимых и вводимых моделей, производит их обобщение и агрегацию.

Стрелки на рисунке показывают, что модель в информационную среду поступает после ее синтеза, из среды модели "берутся" для

анализа. На основе анализа, они могут быть отредактированы и вновь "возвращены" в модельно-параметрическую среду. Кроме этого, для синтеза "новых" моделей могут быть использованы "старые", хранимые.

На рис 7.6 представлена общая схема архитектуры программно-информационного комплекса ИТ исследований сложного объекта, которая представляет собой "отображение" схемы, изображенной на рис 7.5 в вычислительную среду.

Синтез моделей осуществляется соответствующими ППП, в частности, например, системами статистической обработки результатов вычислительных (или натуральных) экспериментов, или ППП, решающими дифференциальные уравнения, моделирующие исследуемый процесс. Но могут вводиться пользователем и непосредственно через терминал, например, на основе монографий, отчетов, статей и т.п.

Анализ моделей может производиться различными ППП, но, очевидно, наибольший интерес представляет в этом отношении визуальный анализ исследуемых моделей посредством синтеза их графических образов. Эта подсистема реализуется в рамках системы ГРАММ-М.

Отображение модельно-параметрического пространства в вычислительную среду производится средствами проблемно-ориентированного, программно-информационного инструментального комплекса системы управления базами данных и знаний математических моделей. При этом мы выделим процедурную компоненту-систему управления процессами создания и использования информационных ресурсов и декларативную компоненту - БД и БЗ - систему сложно структурированных и "семантически насыщенных" данных и знаний (об исследуемых процессах и проектируемых объектах).

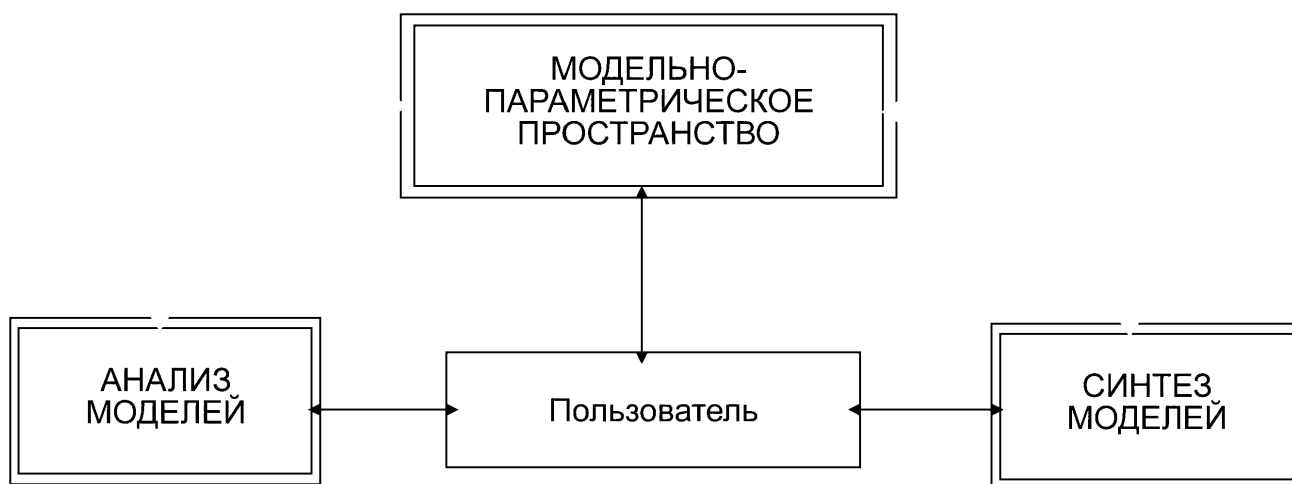


Рис. 7.5. Общая схема проектных, теоретических и экспериментальных исследований

Отдельной подсистемой является пользовательский интерфейс, который, с одной стороны обеспечивает диспетчеризацию процессов и анализа моделей, с другой - обеспечивает ввод необходимых данных через терминал и визуальную интерпретацию результатов обработки данных. Кроме этого посредством пользовательского интерфейса осуществляется управление работой СУБДиЗ моделей.

Очевидно (как следует из схемы) любая модель после синтеза должна быть записана в БД и для анализа модели "берутся" только из БД.

Поэтому интерфейсы "ППП-БД" должны быть унифицированы и обеспечивать возможность "подключения" любого ППП, релевантного использованию в ИТ проектных, научных и экспериментальных исследований. С другой стороны, в структуре БДиЗ математических моделей всегда должна быть "ниша" для размещения соответствующей проектируемому объекту модели.

Поэтому, в БДиЗ, фактически, должна поддерживаться модель моделей ("супермодель"?) проектируемого сложного изделия. В этом отношении функции СУБД и СУБЗ моделей можно разделить (условно) так. Посредством СУБД создаются и поддерживаются структуры параметров и моделей различных компонент сложного объекта и их отношений, а с помощью СУБЗ "вычисляется" их полнота, согласованность, совместимость, непротиворечивость, целостность (непрерывность) их структуры, осуществляется некоторая интерпретация. В процессе проведения исследований БДиЗ непрерывно пополняются новыми моделями, корректируются их структуры, редактируются и модифицируются хранимые модели.

Таким образом, БД и БЗ моделей с системами их управления должны занимать центральное место в ИТ исследований сложных объектов и играть роль согласующего, интегрирующего звена в создании эффективной, целесообразной ИТ.

Заметим, однако, что без методов и средств синтеза моделей, они не появятся в БДиЗ, а без методов и средств анализа, невозможно трактовать, интерпретировать данные и знания "закодированные" в моделях.

Теоретико-методологическое обоснование проектных решений в создании СУБДиЗ МАМОД-М базируется на научно-исследовательской работе, проводимой в течении около 20 лет и обобщении 25-летнего опыта

разработки систем обработки результатов испытаний и проектирования сложных объектов новой техники.

Таким образом, основное назначение СУБДиЗ – *создание, и поддержка в вычислительной среде модельно-параметрического пространства* ИП сложных объектов. При этом выделяются операции синтеза-анализа $\langle M, P \rangle$ -пространства и процедуры поддержки операций исчисления моделей.

Рассмотрим общую структуру баз данных и знаний $\langle M, P \rangle$ -пространства. Общая схема этой структуры представлена на рис. 7.6.

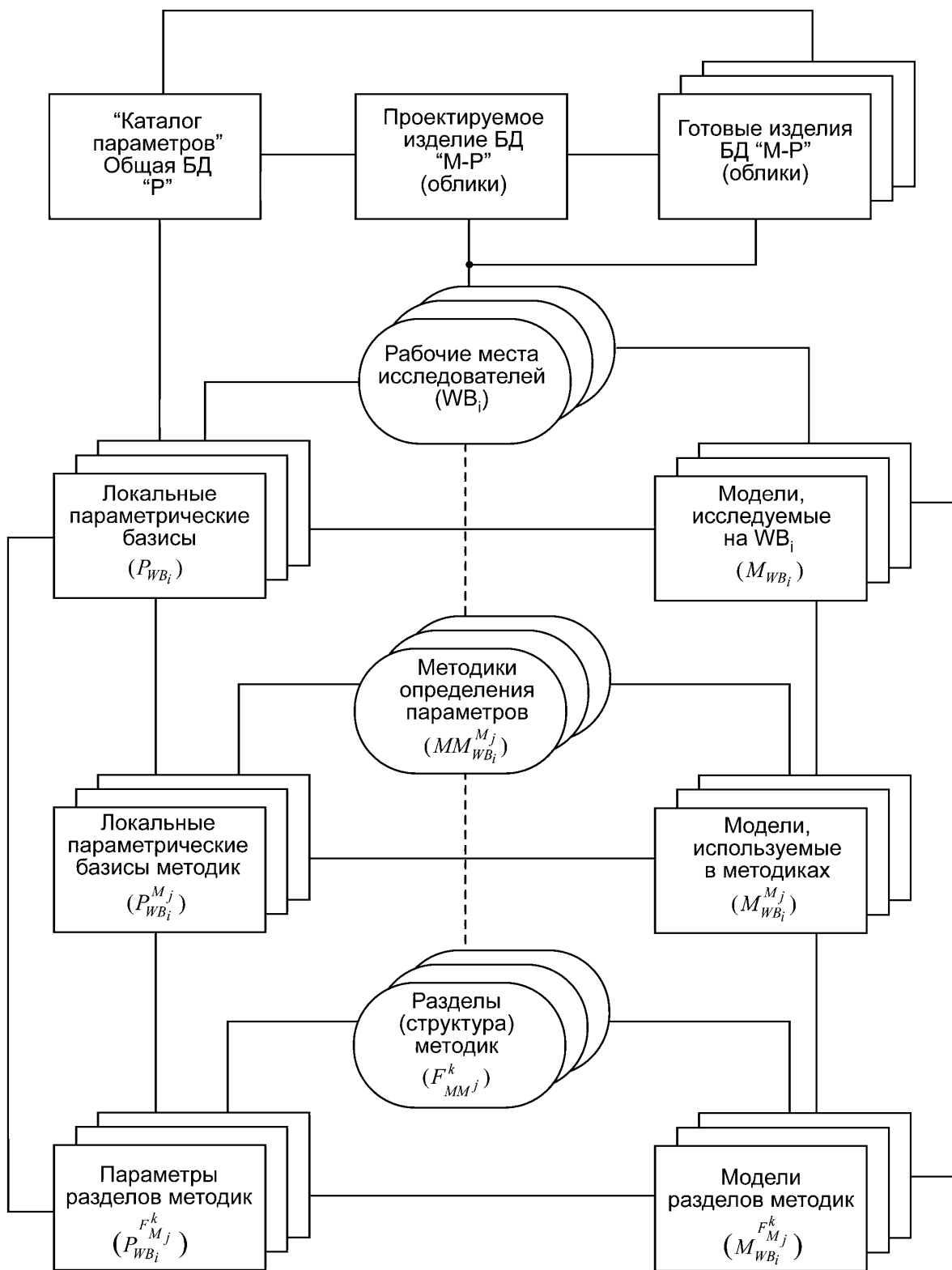


Рис. 7.6. Общая структура базы данных и знаний $\langle M, P \rangle$ -пространства

В предлагаемой технологии все операции синтеза-анализа параметров, моделей, методик, обликов сложных изделий привязаны к конкретным рабочим местам исследователей. При этом рабочие места могут быть и обобщенными: лаборатории, отделы, и т.д. Кроме этого они могут классифицироваться по различным критериям. Например, WB администратора системы, WB главного конструктора силовой установки, генерального конструктора сложного изделия, технолога плазменного отдела и т.п.

В любом случае, по отношению к $\langle M, P \rangle$ -пространству исследователи занимаются синтезом-анализом параметров, моделей, методик и обликов (субобликов - см. [6]). Поэтому в структуре БДИЗ выделяются пять обобщенных классов объектов (макрообъектов) : рабочие места (WB), параметры (P), модели (M), методики (MM) и облики (M-P).

В БДИЗ параметров выделяются пять взаимосвязанных объектов:

общий каталог параметров сложного изделия и процессов синтеза-анализа моделей его агрегатов, подсистем, компонент;

общий каталог параметров моделей, которые входят в облик сложного изделия - P_{MP} ;

локальные каталоги параметров моделей, синтезируемых и анализируемых на рабочих местах (локальные параметрические базисы P_{WB_i});

локальные параметрические базисы методик, разрабатываемых и используемых на данных рабочих местах - $P_{WB_i}^{M_j}$;

параметры моделей, входящих в разделы F^* методик - $P_{WB_i}^{F^*M_j}$

Вполне очевидны отношения между множествами

$$P, P_{WB_i}, P_{WB_i}^{M_j}, P_{WB_i}^{F^*M_j} :$$

$$(1) \quad \forall i \in I, P \subset \bigcup_{i \in I} P_{WB_i};$$

$$(2) \quad \forall i \in I, P_{WB_{i1}} \cap P_{WB_{i2}} \neq \emptyset, i1 \neq i2;$$

$$(3) \quad \forall i \in I, P_{WB_i} - P \neq \emptyset, P - P_{WB_i} \neq \emptyset;$$

$$(4) \quad \forall i \in I, \forall j \in J, P_{WB_i}^{M_j} \subset P_{WB_i};$$

$$(5) \quad \forall i \in I, \forall j \in J, P_{WB_i}^{M_{j1}} \cap P_{WB_i}^{M_{j2}} \neq \emptyset, j1 \neq j2;$$

$$(6) \quad \forall i \in I, \forall j \in J P_{WB_{i1}}^{M_{j1}} \cap P_{WB_{i2}}^{M_{j2}} \neq \emptyset, j1 \neq j2, i1 \neq \emptyset;$$

$$(7) \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K P_{WB_i}^{F^k M_j} \subset P_{WB_i}^{M_j};$$

$$(8) \quad \forall i \in I, \forall j \in J_i P_{WB_i}^{M_j} = \bigcup_{k \in K_j} P_{WB_i}^{F^k M_j};$$

$$(9) \quad \forall i \in I, \forall j \in J_i, \forall k \in K_j^i P_{WB_i}^{F^{k1} M_j} \cap P_{WB_i}^{F^{k2} M_j} \neq \emptyset, k1 \neq k2;$$

$$(10) \quad P_{MP} \subset P, P_{MP} \subset \bigcup_{i \in I} \left(\bigcup_{j \in J_i} P_{WB_i}^{M_j} \right);$$

где: I - множество всех рабочих мест данной организации;

J_i - множество методик, разрабатываемых на i -ом рабочем месте;

K_j^i - множество разделов j -той методики i -го рабочего места.

Все эти отношения важны для построения процедур обеспечения целостности БДЗ $\langle M, P \rangle$ -пространства, Можно было бы для каждого отношения привести текстовую его интерпретацию. Например, отношения (1) и (3) означают, что в общем каталоге не может быть параметров, не используемых на каком-либо рабочем месте, но на каждом рабочем месте могут использоваться не все параметры общего каталога и могут определяться параметры ("рабочие", "внутреннего" использования), не входящие в общий каталог,

Аналогичную структуру имеет микрообъект "модели":

модели архива моделей - M_{AK} ;

модели облика сложного изделия - M_{MP} ;

модели, анализируемые и синтезируемые на данном рабочем месте - M_{WB_i} ;

модели, используемые в методиках - $M_{WB_i}^{M_j}$;

модели, используемые в разделах методик - $M_{WB_i}^{F^k M_j}$;

Заметим, что на рис. 7.6 не приведены архив моделей и каталог параметров обликов.

Для локальных БДЗ моделей можно привести отношения, аналогичные отношениям (1) - (10) для параметров. Однако представляется, что все эти отношения и отношения, приведенные на рис. 7.6 не нуждаются в дополнительных комментариях,

В следующем подразделе будем рассматривать три объекта: каталог параметров, каталог моделей и ассоциатор отношений "параметры-модели", понимая под этими объектами соответствующие подмножества "обликов", "рабочих мест" и "методик".

7.3.2. Классификация параметров, математических моделей и отношений между ними

В [156] рассматривалась классификация моделей по типам исследований, в которых они применяются. Такая категоризация позволила определить основные форматы представления моделей и операции их использования.

Заметим, что здесь, и далее, не рассматриваются классификации моделей по функциональному признаку; т.е. не различаются модели устойчивости, прочности, мореходности, надежности и т.п. Это обусловлено, с одной стороны тем, что мы действительно их не разделяем, считая процедуры их записи в БДиЗ, хранения, структурирования, редактирования, поиска, независимыми по отношению к моделируемым посредством их процессам и объектам, и, с другой стороны, рассматриваются инвариантные программно-инструментальные средства АРМ исследователя; т.е. стратегия их разработки ориентирована на их применение на любом типе АРМ в любом подразделении соответствующего КБ или НИИ.

Таким образом, на логическом уровне (или уровне концептуальной схемы) БДиЗ моделей можно выделить два основных типа объектов: классификатор параметров и классификатор моделей.

В свою очередь классификаторы содержат каталоги и ассоциаторы. Заметим, что пока мы рассматриваем только декларативную компоненту БД и БЗ моделей.

А каталогах параметров описывается, по сути, "локальный" контекст моделей, а в ассоциаторах - "обобщенный" контекст. При этом, если в первом содержатся домены отдельных параметров, то во втором - домены их совокупностей. При этом нельзя путать категории "обобщенный" и "глобальный".

Каталог параметров. В каталоге описываются свойства и характеристики параметрической среды исследований. Его можно считать тезаурусом системы моделей. На нем:

строится ассоциатор отношений между различными параметрами по самым разнообразным признакам;

производится полная идентификация параметров (полное, краткое наименование, обозначение, аббревиатура);

описываются их свойства и характеристики, (единицы измерения, диапазон допустимых значений и т.п.).

Он обладает характерными чертами систем словарей-справочников и, поэтому, будем его считать словарем-справочником параметров.

Каталог параметров хранится в БД и БЗ в распределенном виде, т. к. на каждом АРМе пользователь строит свою проблемно-ориентированную параметрическую среду исследуемого им модельного пространства. При этом СУБДиЗ должна обеспечить образование и поддержку соответствующих структур-отношений (в частности, наследования свойств и характеристик) между различными каталогами. Например, специальные механизмы СУБДиЗ должны обеспечивать целостность такого распределенного параметрического базиса, его непротиворечивость.

Характеристики параметров мы разделяем на: идентификацию; математические свойства; отношения; связь с объектом.

В настоящее время, каталог параметров имеет следующие атрибуты:

и д е н т и ф и к а ц и я :

- системный код;
- обозначение общепринятое;
- альтернативные обозначения*;
- аббревиатура*;
- идентификаторы для визуализации*;
- идентификаторы для программных модулей*;
- альтернативные идентификаторы*;
- краткое описание;
- расширенное описание назначения*;

м а т е м а т и ч е с к и е с в о й с т в а :

- дискретность /непрерывность;
- метричность (наличие метрики);
- упорядоченность (частичная, полная, нет);
- четкость/нечеткость канала измерения/наблюдения/вычисления;

с в я з ь с о б ь е к т о м :

- единица измерения;
- размерность*;
- точность представления в ЭВМ*;
- формат представления в ЭВМ;
- область допустимых значений;
- источник получения значений (вычисление, наблюдение, измерение, непосредственный ввод);
- атрибуты оператора, введившего в БДиЗ характеристики параметра;
- дата ввода (или последней редакции);
- классификатор параметров:
- управляемый/нет,
- постоянный/переменный,
- характеризует (процесс, конструкцию, внешнюю среду);
- о т н о ш е н и я:
- наследование характеристик ("родители"):
- обобщение,
- агрегация,
- ассоциация;
- наследование характеристик ("дети"):
- обобщение,
- агрегация,
- ассоциация;
- отношения с моделями:
- входной,
- выходной.

Здесь звездочками помечены необязательные характеристики. Кроме этого предусматривается "мягкая" технология построения каталога параметров. Пользователь имеет возможность динамически (по мере необходимости) "добавлять" в каталог описания различных свойств. Однако, для работы многих механизмов СУБЗ МАМОД-М необходимо определение всех математических свойств параметров, т.к. они используются для синтеза решеток шкал областей допустимых значений, а на их основе производится отработка (анализ и трактовка) моделей БДиЗ.

Рассмотрим назначение каждого атрибута.

1) "*Системный код*" предназначен для однозначной идентификации параметров, для обеспечения целостности и непротиворечивости информации в каталоге. Поэтому однозначно может идентифицироваться более 65000 параметров. Формируется, поддерживается и используется системой МАМОД-М. Пользователям не доступен. Но посмотреть его значение, при особом желании, можно.

2) Атрибут "*Обозначение общепринятое*" предназначен для определения обозначения параметра. В настоящее время для определения значения этого атрибута используется международный каталог. Пользователь посредством специального языка имеет возможность ввода новых обозначений, редактирования и удаления уже хранимых в БД обозначений.

3) "*Альтернативные обозначения*" - атрибут имеющий точно такие же характеристики как и предыдущий. Предназначен для определения альтернативных обозначений параметров. Очень удобен, например, в случаях. Для данного свойства в международном кодастре используется одно обозначение, в методиках ВМФ - другое, в судостроении - третье, в разных организациях - четвертое, пятое, шестое, и т. д., а в нашей лаборатории - "n"-ое. Одно из главных достоинств системы МАМОД-М - поддержка в актуальном и непротиворечивом состоянии соответствия этих обозначений. Системой МАМОД-М поддерживается до 250 альтернативных обозначений.

4) "*Идентификаторы для программных модулей*". Основным считается - международный (из соответствующего кодастра), остальные (до 30) по усмотрению пользователя. Он сам определяет каким образом данный параметр участвует в соответствующем пакете прикладных программ.

5) "*Краткое описание*" - атрибут который идентифицирует назначение параметра для специалистов в данной предметной области. Ее отслеживает и редактирует, при необходимости.

6) "*Расширенное описание назначения*" - самое широкое описание значений параметров. В этом поле пользователь имеет возможность описать все нюансы и специфику данного свойства и характеристики, каким образом они отображаются в параметр, и что отсюда следует и все что они желают об этих свойствах в качестве этого параметра сказать.

7) *"Тип домена"*. Под доменом в системе "МАМОД-М" понимается область допустимых значений соответствующего параметра. Система предлагает пользователю выбор из 4 вариантов:

- дискретный;
- непрерывный;
- дискретно-непрерывный;
- непрерывно-дискретный.

Последние два типа здесь не рассматриваем. Дискретный - может определяться:

- вектором чисел значений параметра;
- значениями "начала и конца" и числом значений;
- значением "начала", "дискретом", его количеством.

"Непрерывный" определяется - началом и концом интервала.

8) *"Значения домена"*. В этом поле пользователь определяет конкретные значения, о которых говорилось в п. 7. В системе это поле называется "областью допустимых значений".

9) *"Источник получения значений"* - атрибут определенный системой. Пользователь только выбирает:

- "вычисляется" системой;
- "результат наблюдений" (вводится пользователем);
- "результат измерений" (пользователь указывает путь, как);
- "непосредственный ввод" (пользователь вводит все значение и, естественно, за них несет ответственность). В базе данных отмечается кто, что, как ввел; каким образом значения параметров в ней появились.

10) *"Атрибуты оператора"* - реквизиты пользователя (Фамилия, имя, отчество, отдел, должность, телефон), который вводил или последний редактировал характеристики параметров в каталоге (заметим - это поле будет всегда заполнено - система "обязет");

11) *"Дата ввода"* - атрибут вполне очевидный. И снова система МАМОД-М (но в данном случае) "сама" определит дату. Без участия пользователя. Но потом он сможет посмотреть, когда это он сделал.

12) *"Единица измерения"* - атрибут, который характеризует систему измерения данного параметра. В системе "МАМОД-М" имеется специальный полный каталог всех возможных единиц измерения. Пользователь выбирает адекватную параметру единицу измерения. Тем самым обеспечивает целостность системы каталога параметров. Естественно,

единица измерения связана с размерностью. Система "МАМОД-М" обеспечивает эти отношения.

13) *"Размерность"*. После того, как пользователь выбрал единицу измерения, ему остается подтвердить размерность данного параметра. Или ее уточнить. Система "МАМОД-М" ему поможет в этом, предложив адекватную систему размерностей для альтернативного выбора. В дальнейшем предполагается ввод в атрибуты каталога параметров следующих реквизитов:

14) *"Метричность"* - атрибут, характеризующий для данного параметра наличие метрики (выполнения трех известных аксиом). Пользователь в диалоге отвечает: да/нет.

15) *"Характеристики канала наблюдения/измерения/вычисления значений"*. С одной стороны, мы не хотели бы иметь дело с "нечеткими шкалами" (функциями принадлежности), но, с другой стороны, вынуждены оперировать лингвистическими шкалами ("очень плохо", "плохо", "почти хорошо", "хорошо", "очень хорошо", "отлично", и т. п.). Поэтому пользователь должен иметь возможность определять значения параметров на лингвистических шкалах. Именно для этого и необходим этот атрибут.

16) *"Формат представления в ЭВМ"*. Этот атрибут неявно присутствует в системе. Однако, в настоящей версии его значение система МАМОД-М формирует "сама". В дальнейшем представляется целесообразным, чтобы пользователь имел возможность редактирования и ввода значения этого атрибута. В последующих отчетах объясним почему это нам представляется важным.

17) *"Точность представления в ЭВМ"* - это очень важный атрибут, который характеризует точность представления значения данного параметра в вычислительной среде. Он обеспечивает контроль вычислений его значений с целесообразной точностью. Например, чтобы не случилось использования "сверхточных алгоритмов": например, с точностью до тысячных долей, когда исходные данные характеризуются адекватно исследуемому процессу до десятых. Например, амплитуда бортовой качки в различных условиях.

18) *"Классификатор параметров"*. В настоящее время мы выделили всего три класса:

- управляемый (при натурном эксперименте) /нет;
- постоянный/переменный;

- характеризует (процесс, конструкцию, внешнюю среду).

Наиболее просто, по-видимому, определить имеем ли мы возможность управлять значениями данного параметра. Как правило, управляемые параметры - это аргументы в функциональных зависимостях. Но, на самом деле это не так просто.

Остальные две характеристики относятся уже к параметрам в моделях. То есть это уже в явном виде ассоциаторы. Например данный параметр может быть постоянным в этой модели и переменным в другой модели. А так, как речь идет об огромном количестве моделей, то вполне очевидно, что пользователь эту характеристику будет определять только при вводе конкретной модели.

То же можно сказать и о следующем атрибуте. В рамках данной модели этот параметр характеризует внешнюю среду, а в рамках ("большой") следующей по иерархии модели он уже характеризует конструкцию и т.д. и т. п.

19) Еще в большей степени отношение параметров в моделях определяют *атрибуты*:

- входной/выходной;
- обобщения;
- агрегации;
- ассоциации;

Все эти отношения мы рассмотрим позже.

Каталог моделей. Второй тип объектов - классификатор моделей строится аналогично [14] и, поэтому, его также можно считать словарем-справочником моделей. Однако, этот каталог (со своим ассоциатором) имеет ряд существенных отличий [10-12,14], важнейшим из которых является описание контекста модели (условий ее адекватности моделируемому процессу, объекту), который в частности включает описание диапазонов допустимых значений параметров.

Контекст модели мы считаем важнейшим фактором в описании модельной среды ввиду ориентации СУБДиЗ МАМОД-М на синтез интегрированной информационной среды исследований. Именно контекст модели обеспечивает ее "отчуждение" от создавшего ее исследователя и возможность использования "сторонними" специалистами. Поэтому соответствующие средства СУБДиЗ МАМОД-М должны, с одной стороны, предоставлять средства для описания самых разнообразных контекстов (метода синтеза модели, значений параметров не входящих непосред-

твенно в модель, специфики использования модели, ее характеристик на вербальном уровне, отношений с другими моделями), с другой стороны, требовать от пользователя ввода соответствующих контекстов при "погружении" модели в общую информационную среду.

Рассмотрим классификацию моделей по форматам их хранения. Общая схема такой классификации представлена на рис. 7.7. Можно выделить три типа моделей:

- вектора (частные значения),
- матрицы,
- уравнения.

1. "Частные" значения локальных параметров, которые могут задаваться в следующих трех форматах:

- константами;
- диапазонами;
- перечислением значений.

В третьем классе векторов можно выделить: "однородные" вектора (домены - в терминологии реляционных моделей) и "неоднородные" (соответственно - кортежи).

Доменами в БДиЗ моделей определяются: вектор-реализация измерительной информации (ИЗИН) в экспериментальных исследованиях (см. в [138]) или вектор-характеристика различных типов конструкций (агрегатов, модулей) изделий в проектных исследованиях.

Кортежами определяются: измерительные кадры (ИЗИН) в экспериментальных исследованиях, вектор-параметры конкретной конструкций (ее свойства, характеристики: вес, тип, высота, ширина и т.п.).

В кортежах также могут определяться такие характеристики ИЗИН (в большей степени характерные для идентификации контекстов моделей), как дисперсия, математическое описание и т.п.

Однородные вектора могут также задаваться диапазоном изменения значений параметров и все вектора определяются на константах-значениях параметров.

Возможные операции над структурами данных типов, как и почти всех последующих рассмотрены выше и в [14,16,17].

2. Матрицы в исследований делим на три класса:

- матрицы ИЗИН;
- таблицы проектных исследований;
- матрицы-результаты вычислительных экспериментов.

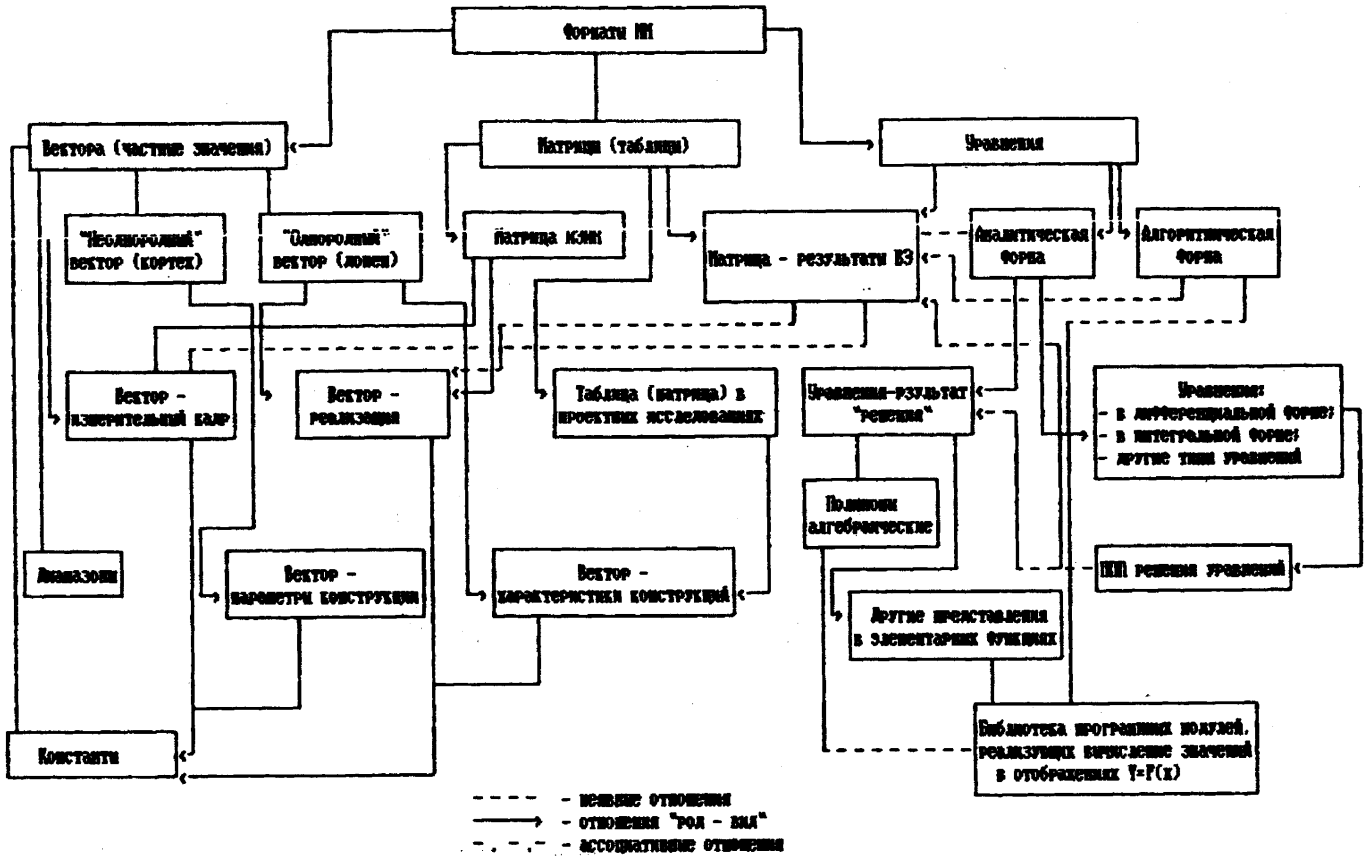


Рис. 7.7. Классификация моделей по форматам хранения

Первый тип матриц включает ИЗИН. Эти матрицы строятся на основе векторов-реализаций и/или векторов - измерительных кадров.

Проектные решения по созданию специализированных проблемно-ориентированных СУБД ИЗИН рассмотрены в [14,22,23].

Матрицы (фактически реляционные отношения-таблицы) включают характеристики и параметры конструкций (модулей, агрегатов) сложного объекта. Проектные решения по созданию БД и операций с такими таблицами будут рассмотрены в следующем подразделе.

Матрицы-результаты ВЭ представляют собой табличное представление решений различных уравнений. Чаще используются в тех случаях, когда результаты трудно, или невозможно, представить в аналитическом виде. В этих матрицах также можно выделять вектора-реализации, но условно, т.к. в них представлены не $P_i(t)$, а $P_i(P_j)$; поэтому неправомерно говорить и об измерительном кадре в классическом его понимании. Однако формат представления матриц этого типа полностью аналогичен матрицам ИЗИН, как и операции их использования (в частности, выделения миноров и/или построение проекций); в большей степени в НИ.

3. Уравнения моделей в БДиЗ могут быть представлены в аналитической или алгоритмической форме.

Во втором случае предполагается, что трудно, или невозможно, представить модель исследуемого процесса уравнением (системой уравнений) в аналитическом виде; часто в этом и нет необходимости. Для синтеза и анализа моделей на АРМ исследователей используются соответствующие ППП, которые условно (в дальнейшем, быть может, и не условно) можно отнести к классу библиотеки программных модулей, реализующих вычисление значений в отображениях, осуществляемых моделями, $Y=F(X)$.

Модели, представляемые в аналитической форме, можно разделить на: уравнения, которые являются решением какой-либо системы уравнений и уравнения в дифференциальной, интегральной или какой-либо другой форме, - которые необходимо решить перед анализом исследуемого (моделируемого) процесса.

Для их решения на АРМе используются соответствующие ППП, реализующие необходимые вычислительные методы и алгоритмы. После решения этих уравнений (в большей степени они характерны для НИ), соответствующая информация передается в БДиЗ "уравнений-результата-

тов" или (если представление результатов решения невозможно в аналитическом формате) в БД матриц-результатов ВЭ". В этой же БДиЗ могут храниться результаты "прогонки-итерации" алгоритмических моделей.

В процессе проведения обработки экспериментальных данных матрицы ИЗИН, как правило, посредством методов математической статистики "сворачиваются" в алгебраические полиномы или в какие-либо другие уравнения, чаще, представимые суперпозицией элементарных функций. Подробно функциональные отношения между различными типами моделей рассмотрены в [14].

На рис.7.8 представлена схема классификации моделей БДиЗ по форматам представления. Эта классификация более общая. Кроме этого на этой схеме мы привели связь всех моделей с процедурными компонентами и EXE- и TXT-модулями. Кратко рассмотрим "дополнительные" модели.

Под вербальной моделью мы понимаем модель, которая вообще не имеет какого-либо формального выражения. Например, "характерная погода в такой-то акватории". Мы знаем только, что она характеризуется некоторыми значениями вполне определенного множества параметров. Поэтому, такая модель может быть выражена только "общим видом зависимости". Например, "погода = $F(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 \dots)$ ", где P_1 - температура воздуха, P_2 - температура воды, P_3 - волнение (в баллах), P_4 - скорость ветра, P_5 - направление ветра и т.п.

Заметим, что моделями этого класса тоже возможны операции.

Например, проекция - "состояние воздушной среды при данных значениях параметров морской среды" и т.п., или объединенная - "построить обобщенное состояние среды", агрегации - "собрать параметры, характеризующие среду полностью". С другой стороны, желательно в текстах вербальных моделей и поддерживать специальные функциональные (или многозначные) отношения типа "состоит", управляет", является частью", "характеризует", "включает", "обеспечивает" и т.п. Тогда необходима классификация, систематизация, формализация (спецификация и экспликация) этих отношений. Таким образом, этот класс моделей постепенно переходит в лингвистические (с лингвистическими переменными [1]) и, далее, логико-лингвистические [11].

Для этих классов моделей в большей мере характерны операции логики и алгебры их текстов и контекстов на уровне ЭС.

Отдельные классы моделей представляют собой модели, определенные в нотации логических операций и логико-алгебраические. Под последними мы понимаем системы аналитических зависимостей, связанных логическими операциями. И здесь часто уместны операции на уровне эвристик - поэтому посредством ЭС.

Модели, заданные в форме графов, также имеют свою алгебру.

Специфических, алгебраических и логических операций требует и модель, определенная в нотации номограммы. Ее можно считать разновидностью аналитической и табличной моделей, но существуют некоторые нюансы по синтезу шкал и решеток номограмм, определения на них экспериментальных кривых, построение "решающих прямых и вычисления результатов использования номограмм. При этом некоторые шкалы (в формате контекста) уже есть в БДиЗ (для других моделей). Поэтому модель номограммы (в целях обеспечения целостности БД и ВЗ моделей) должна их использовать.

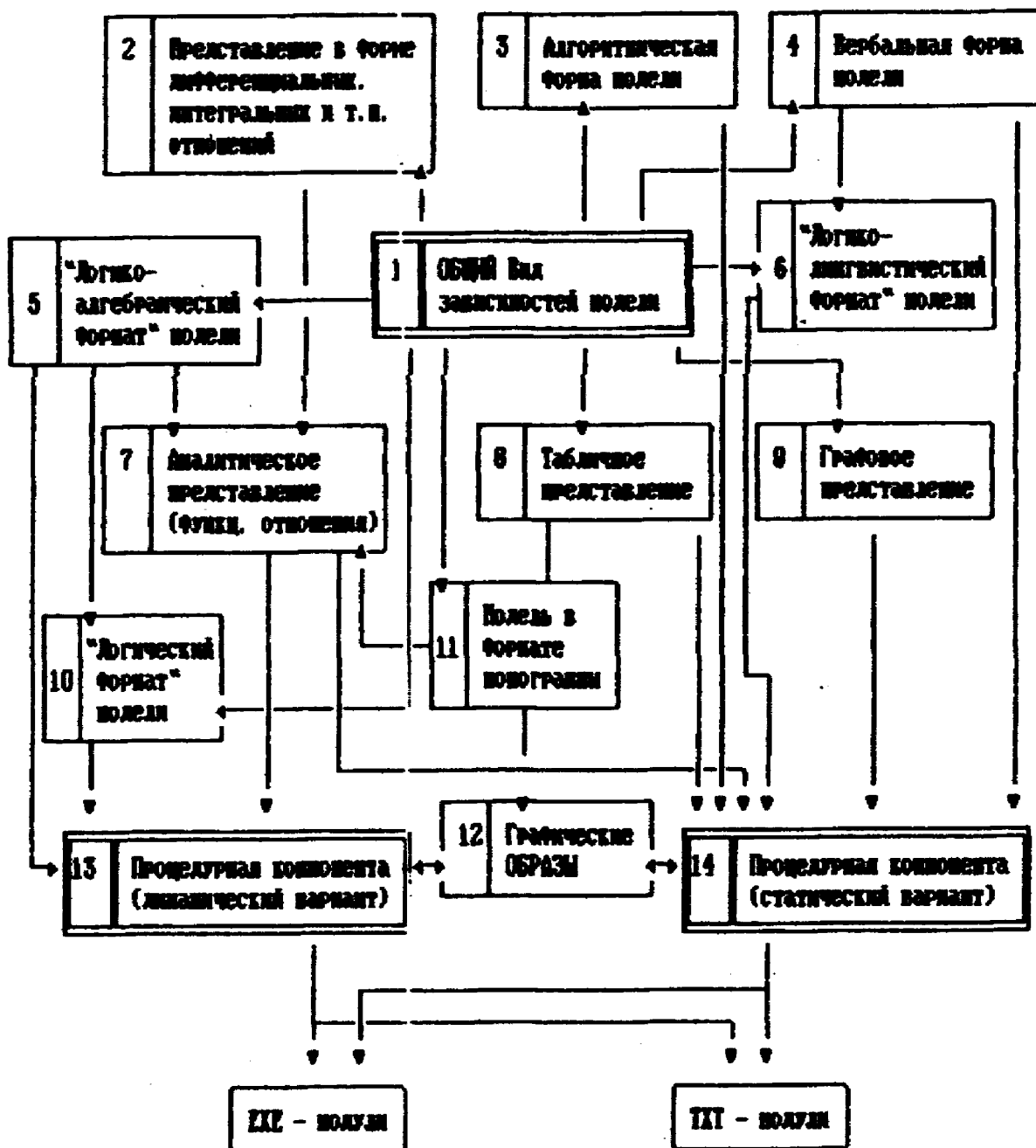


Рис. 7.8. Схема классификации моделей по форматам представления

Система управления БДиЗ МАМОД-М должна поддерживать не только хранение всех этих классов моделей, но и их "обработку" средствами алгебры и логики их текстов и контекстов. В результате такой обработки (см. следующий подраздел) часто происходит "дробление" (сегментирование областей допустимых значений). Поэтому в ассоциаторах "параметры-модели" необходимо поддерживать в общем случае четыре типа областей допустимых значений параметров.

При экспликации понятия текста модели (см. [156]) мы причинно-следственные отношения, фактически, определили произвольным бинарным отношением. На рис. 7.9 представлена классификация типов таких отношений. Исходя из этого рисунка может показаться, что для исследований сложных объектов правомерны только случаи N 1, 2, 5, 6, 9, 11, 13, 15, так как домены входных параметров в текстах моделей априори известны (а из этих вариантов только N1, 5, 9, 13, так как и домены выходных параметров вычислимы), однако, как мы увидим далее, этот вывод не верен; в основном ввиду отсутствия мультипликативности доменов в моделях - $Dom X \times Y \subseteq Dom X \times Dom Y$.

Теперь, перед построением каталога моделей, определим обобщенную их классификацию. Система координат для такой классификации представлена на рис. 7.10.

По аналогии с каталогом параметра рассмотрим некоторые атрибуты каталога моделей:

- системный код;
- общее обозначение;
- альтернативные обозначения;
- идентификаторы для визуализации;
- идентификаторы для программных модулей;
- краткое описание;
- расширенное описание назначения;
- источник получения текста;
- "траектория" получения модели;
- "ссылка на первоисточник (автора модели)";
- статус модели;
- класс модели (вербальная, аналитическая, табличная и т.д.);
- общий вид зависимостей модели;
- "обратимость" модели;

- текст модели;
- наследование ("дети", "родители"):
- агрегация,
- обобщение,
- проекция,
- "обобщение";
- характеризует (процесс, конструкцию, внешнюю среду и т.п.).

| № п/п | Графическая интерпретация | Интерпретация по Цикритзису (m, n) → (k, l) | Трактовка в терминах технологий БД | Математическая интерпретация |
|-------|---------------------------|---|------------------------------------|------------------------------|
| 1 | | $(1, 1) \rightarrow (1, 1)$ | 1 : 1 | ФУНКЦИИ.. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ |
| 2 | | $(0, 1) \rightarrow (1, 1)$ | | |
| 3 | | $(1, 1) \rightarrow (0, 1)$ | | |
| 4 | | $(0, 1) \rightarrow (0, 1)$ | | |
| 5 | | $(1, \infty) \rightarrow (1, 1)$ | N : 1 | ОТОБРАЖЕНИЯ |
| 6 | | $(0, \infty) \rightarrow (1, 1)$ | | |
| 7 | | $(1, \infty) \rightarrow (0, 1)$ | | |
| 8 | | $(\infty, \infty) \rightarrow (0, 1)$ | | |
| 9 | | $(1, 1) \rightarrow (1, \infty)$ | 1 : N | МНОГОЗНАЧНЫЕ |
| 10 | | $(1, 1) \rightarrow (0, \infty)$ | | |
| 11 | | $(0, 1) \rightarrow (1, \infty)$ | | |
| 12 | | $(0, 1) \rightarrow (0, \infty)$ | | |
| 13 | | $(1, \infty) \rightarrow (1, \infty)$ | N : M | СООТВЕТСТВИЯ |
| 14 | | $(1, \infty) \rightarrow (0, \infty)$ | | |
| 15 | | $(0, \infty) \rightarrow (1, \infty)$ | | |
| 16 | | $(0, \infty) \rightarrow (0, \infty)$ | | |

Рис. 7.9. Классификация бинарных отношений между множествами X и Y

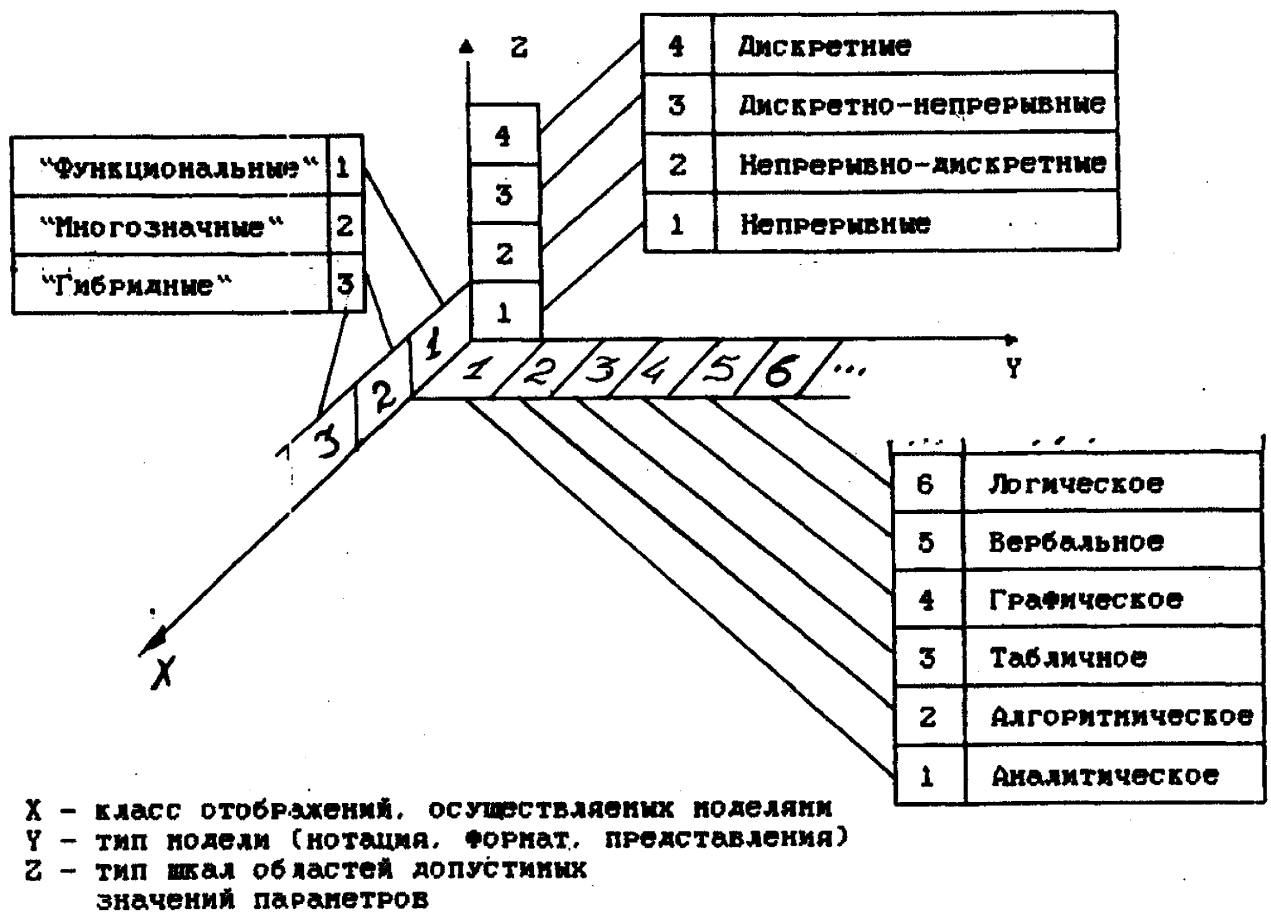


Рис. 7.10. Система координат для классификации моделей

С нашей точки зрения, назначения всех атрибутов очевидно. Кратко интерпретируем только некоторые. В качестве значений атрибута "статус модели" могут использоваться следующие: "закон" (например, закон Ньютона), "апробированная модель", "модель в стадии апробации" и т.д. Здесь можно определить шкалу на нечеткой переменной, т.к. между крайними значениями ("закон" и "тестируемая модель" - гипотеза) могут быть множество характеристик, в зависимости от областей, допустимых значений и уровня достоверности: например, модель, проверенная в таких то условиях (данном контексте). Поэтому более верно говорить об уровне достоверности (или апробированности) модели.

На физическом уровне (хранение данных) вместо конкретных значений некоторых атрибутов будут стоять ссылки. Например, если модель определена в табличном формате, то, естественно в качестве значения атрибута "текст" будет использоваться указатель на соответствующую матрицу. Аналогично, т.к., например, "траектория" получения модели представляет собой вектор, а предполагается реализация СУБДиЗ на основе реляционной модели (т.е. необходима норма-

лизация отношений), то также будет построена ссылка на соответствующее поле другого ("физического") отношения.

В значениях атрибута "обратимость" модели, пользователь для системы (точнее, операций алгебры) определяет для каких параметров в данной модели и каких их областей допустимых значений модель правомерно" обращаться. При этом, фактически, определяется матрица (в системе координат контекста модели: идентификатор параметра, его домен).

Заметим, что модели могут представлять собой и системы аналитических уравнений и системы систем уравнений. Поэтому структура хранения каталога весьма сложна. Кроме этого, и поэтому, многие атрибуты, естественно будут обслуживаться в рамках ассоциаторов "модель-параметр" и "модель-модель".

В заключение заметим, что в качестве модели может выступать и, быть может, "неожиданные целостности": узлы, агрегаты, подсистемы, например, корабля, рабочие места, схемы исследований и т.п. В этом случае чаще всего используется "вербальная модель".

Разработанная система управления базами данных и знаний математических моделей внедрена в рамках серии проектов исследовательского проектировании новых сложных объектов ЧЕРТЕЖ [160-162] в Первом Центральном институте военного кораблестроения Министерства обороны Российской Федерации.

В настоящее время в системе баз данных и знаний (каталогов) параметров хранится и обслуживается информация (около 40 атрибутов) более, чем о 800 взаимосвязанных свойствах и характеристиках кораблей и среды их функционирования, а в БДиЗ моделей - информация о 1500 взаимосвязанных моделях, на которых построены методики определения значений интегральных показателей структуры и функционирования сложных изделий кораблестроения. Используется, при этом, около 30 математических и формальных языков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Когда накоплено достаточно большое число «односторонних» и частных знаний, возникает особая теоретическая задача — объединить их в одном многостороннем знании об объекте. Решение этой задачи имеет не только теоретическое, но и сугубо практическое значение: оно позволяет рационализировать, «уплотнить» накопленные знания и тем самым ведет к экономии в работе с ними.

Г. П. Щедровицкий

Концепции информационного пространства и информационного общества, как стратегические ориентиры развития нашей цивилизации, были определены около 20 лет назад. В настоящее время интерес к этой идеологии резко возрос. Это обусловлено повсеместным внедрением компьютерных технологий. Можно декларировать, что во многих сферах нашей жизнедеятельности, производства вообще невозможно существовать без компьютеров. Слишком много от информационного обеспечения, например принятия стратегических и тактических решений зависит. Поэтому интеграция соответствующих информационных ресурсов стала жизненно необходимой. И, чем дальше, тем больше.

В некоторой степени на роль инструмента создания такого объединенного информационного пространства претендует ИНТЕРНЕТ. Но, с нашей точки зрения, «его» методы и средства (да еще с учетом его самоструктуризации и самоорганизации информационных ресурсов) слишком унифицированы, стандартны и, поэтому, «грубы». Не учитывается специфика создания, структур хранения и использования той или иной информации, при поиске информации необходимо о ней много знать (точнее «сообщать, например, ГУГЛУ, а что там кроме ключевых слов») и т.д. и т. п.

С нашей точки зрения, нужны более «тонкие» инструменты как создания, так и использования информационных пространств. Они базируются на информационных инфраструктурах, которые не могут обслуживаться средствами ИНТЕРНЕТа.

В монографии [62] предложена и обоснована архитектура единого информационного пространства Украины как органического сочетания его отдельных структур в одно стройное целое. В качестве отдельных структур рассмотрены фиксированные проблемно ориентированные информационные пространства и центры информационно-аналитической поддержки. Рассмотрены проблемы функционирования единого информационного пространства, обоснована организация информационного ресурса поля знаний и роль интеллектуальных информационных технологий. А в монографии [63] рассматриваются принципы построения единого информационного пространства биоэкологии (авторы под этим термином понимают междисциплинарное научное направление, представляющее собой результат обобщения и систематизации современных научных взглядов на здоровье человека).

Неэффективность функционирования сети ИНТЕРНЕТ привела к созданию консорциума SEMANTIC WEB. Основная цель проектируемых им программных продуктов, состоит в том, чтобы обеспечивать поиск во "Всемирной паутине" (World Wide Web) не данных, а знаний. Можно сказать, что этот консорциум пытается решить проблему организации информации и знаний технологическим и техническим путями. Однако, очевидно, что мы не сможем в синтаксические структуры «погрузить» всю семантику (все необходимые смыслы) наших знаний.

Параллельно начала разрабатываться идеология *пространства знаний*. В этой идеологии отражаются, в большей мере философско-методологические (иногда, и политические) аспекты построения интегрированной системы знаний. В статье *«Интеллектуализация системы информационных ресурсов – средство преобразования информационного пространства в пространство знаний»* [30] мы писали о некоторых проблемах построения таких систем. Считаю, что и в работах [62-64], явно и неявно, обсуждались принципы создания и использования проблемно-ориентированных пространств знаний.

Вместе с тем, видимо, настала необходимость разработки строгой теории пространств знаний.

Здесь мы сделали первый шаг. В большей степени обозначили некоторые проблемы. Но и предложили, с нашей точки зрения, эффективный аппарат построения и использования этих пространств.

Его эффективность подтверждена разработанным и внедренным программно-информационным комплексом.

Первоначально пространство знаний строилось для нужд исследовательского проектирования объектов военного кораблестроения. Поэтому, в базе знаний были представлены, в значительной степени, формальные модели и в центре нашего внимания была их интеграция в некую целостность, которая отражала корабль или подводную лодку в целом. Такая вычислительная среда моделей и, связанных с ними, параметров, и было названо $\langle M, P \rangle$ -пространством.

Теперь нас в большей степени интересуют сложные социально-экономические системы, такие как город, экология, предприятия, ведомства и т.п. В таких мультимодельных пространствах уже в большей степени будут представлены вербальные и другие неформализованные (или слабо формализованные, плохо структурированные) модели.

Направления дальнейших исследований:

1. Фундаментальные исследования (построение системы исчисления моделей, проектирование аппарата алгебры и логики текстов и контекстов моделей);

2. Приложение пространств знаний к проблемам искусственного интеллекта (моделирование образного мышления, НЕ-факторов в интеллектуальных технологиях, построений онтологий для различных приложений и т.д.);

3. Проектирование современных программно-инструментальных комплексов для поддержки $\langle M, P \rangle$ -пространства (с использованием мультиагентных систем, онтологической идеологии, интеграции с другими языками представления знаний);

4. Разработка конкретных компьютерных приложений модельно-параметрического пространства (моделирование сбалансированного развития мегаполисов, систем бизнес-реинжиниринга крупных и средних фирм и предприятий; построение корпоративных систем управления знаниями; разработка системы национальных информационных ресурсов; построение информационного пространства, информационного общества, «общества знаний» и т.д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта – М.: Наука, 1986. – 312 с.
2. Агафонов В.Н. Спецификация программ: понятийные средства и их организация – Новосибирск: Наука, 1987. – 240 с.
3. Алгазинов Э.К., Сирота А.А. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем – Диалог-МИФИ, 2009. – 416 с.
4. Александров Е.А. Основы теории эвристических решений – М. : Советское радио, 1975. – 320 с.
5. Алексеев А.В., Борисов А.Н., Слядзь Э.Р., Фомин С.А. Интеллектуальные системы принятия проектных решений – Рига : Зинатне, 1997. – 320 с.
6. Альтшуллер Г.С. Алгоритмы изобретения – М.: Московский рабочий, 1973, 296 с.
7. Андрейчиков А.В. Экспертная система для начальных стадий проектирования технических систем // Программные продукты и системы. – 1988. – № 2. – С. 72–78.
8. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения) – М. : «Машиностроение», 1998. – 478 с.
9. Афанасьева О.В., Голик Е.С., Первухин Д.А. Теория и практика моделирования сложных систем : [учеб. пособие] – СПб : СЗТУ, 2005. – 131 с.
10. Балашов Е.П. Эволюционный синтез систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 328 с.
11. Башлыков А.А. Проектирование систем принятия решений в энергетике – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 120 с.
12. Белюнов А.Н., Солодихин Г.М., Солодовников В.А. и др. Натурный эксперимент. Информационное обеспечение экспериментальных исследований – М. : Радио и связь, 1982. – 304 с.
13. Берштейн Л.С., Боженок А.В. Определение аналогичности изделий при автоматизированном проектировании // Кибернетика. – 1988. – № 2. – С. 123–126.
14. Биркгоф Г. Теория решеток – М. : Наука, 1984. – 568 с.

15. Бирюков Б.В. Теория смысла Готлоба Фреге // Применение логики в науке и технике. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – С. 502–555.
16. Болтянский А.А., Виттих В.А., Кораблин М.А. и др. Цифровая имитация автоматизированных систем. – М.: Наука, 1983. – 264 с.
17. Борисов Н.Ф., Кончак В.С., Кунцевич В.М и др. Автоматизированная система управления виброиспытаниями на трехкомпонентном вибростенде//УСим. – 1980. – № 2. – с.102-106
18. Борщов В.Б., Хомяков М.В. Окрестностные грамматики и модели перевода. – НТИ, сер.2, 1970, №3, №4.
19. Брябрин В.М. Ф-язык – формализм для представления знаний в интеллектуальной диалоговой систем. //Прикладная информатика. – М.: Финансы и статистика, 1981, вып.1, с. 73-103
20. Булатов В., Дмитриев В. Увидеть невидимое//Компьютер-Пресс. – М. – 1993, №4 – с. 3-10
21. Бурбаки Н. Общая топология. Основные структуры – М. : Наука, 1968 – 272 с.
22. Бурбаки Н. Теория множеств – М. : Мир, 1965. – 456 с.
23. Бургин М.С. Логические методы в системах искусственного интеллекта // Вестник Всесоюзного общества информатики и вычислительной техники. – 1991. – № 2. – С. 66–78.
24. Бургин М.С. Функторная семантика в категориях именованных множеств //Рациональность, рассуждения, коммуникация. – Киев: Наукова думка, 1987. – с. 183-197.
25. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем – М. : Наука, 1978. – 399 с.
26. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения – М. : Конкорд, 1992. – 519 с.
27. Вагин В.Н. Дедукция и обобщение в системах принятия решений – М. : Наука, 1988. – 384 с.
28. Вагин В.Н., Голубев Э.В., Климов В.Е. Формализация задачи синтеза структур машиностроительных объектов// Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1989. – № 1. – с. 190-196.
29. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 712 с.

30. Валькман Ю.Р., Гриценко В.И. Интеллектуализация системы информационных ресурсов – средство преобразования информационного пространства в пространство знаний // Тез. докладов Межд. Науч.-техн. конф. "Электронные информационные ресурсы: проблемы формирования, обработки, распространения, защиты и использования-2003" октябрь, 2003, г. Киев, УкрНИИИТЭИ, С. 6-8.
31. Валькман Ю.Р., Рыхальский А.Ю. Компьютерные технологии в определении целей программ и содержания образования // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: Материалы Международной научно-метод. Конференции., 18-20 декабря 2001г., Минск / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники – Мн.: Бестпринт, 2001 -- 340 с.
32. Валькман Ю.Р., Рыхальский А.Ю. Методы и средства отчуждения знаний в исследовательском проектировании // Международная научно-техническая конференция «Искусственные интеллектуальные системы» и «Интеллектуальные САПР». – М., 2002. – С. 314.
33. Валькман Ю.Р., Рыхальский А.Ю. Модельно-параметрическое пространство – аппарат представления знаний в базах данных мультимодельных сред // Праці Міжнар. конф. з індуктивного моделювання (МКІМ-2002), 20-25 травня 2002 р., м. Львів. – Львів, 2002. – С. 20-26.
34. Валькман Ю.Р., Рыхальский А.Ю. Модельно-параметрическое пространство – аппарат представления знаний в базах данных мультимодельных сред // Труды Международной конференции по индуктивному моделированию, г. Львов. – Львов, 2002. – С. 20-26.
35. Валькман Ю.Р., Рыхальский А.Ю. Модельно-параметрическое пространство – средство представления знаний исследователей сложных систем // Управляющие системы и машины. –2009. – № 1. – С. 20-30.
36. Валькман Ю.Р., Рыхальский А.Ю. Построение исчисления обликов сложных объектов // Знание-Диалог-Решение (KDS-2001) : труды Междунар. науч.-практ. Конф., г. Санкт-Петербург. Т. 1. – Спб. : Изд-во Сев.-Зап. гос. техн. университета, 2001. – С. 61-67.
37. Валькман Ю.Р., Рыхальский А.Ю. Принципы построение исчисления обликов сложных изделий // Искусственный интеллект в XXI веке

- (ICAI'2001) : труды Междунар. конгресса, Россия, с. Дивноморское. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – С. 14–23.
38. Валькман Ю.Р., Рыхальский А.Ю., Яковенко И.Н. Логистика знаний в приложении к системе электронных информационных ресурсов // Электронные информационные ресурсы: проблемы формирования, обработки, распространения, защиты и использования – 2003 : тез. докладов Междунар. науч.-техн. конф., октябрь 2003 г., г. Киев / УкрНИИНТЭИ. – К., 2003. – С. 43–44.
39. Валькман Ю.Р. Алгебра и логика текстов и контекстов моделей сложных объектов – аппарат построения баз знаний// "Методы и системы принятия решения. Автоматизация и интеллектуализация процессов проектирования и управления". – Рига, 1993. – с. 70–81.
40. Валькман Ю.Р. Интеллектуальные технологии исследовательского проектирования: формальные системы и семиотические модели. – Киев: Port-Royal, 1998. – 250 с.
41. Валькман Ю.Р. Модельно-параметрическое пространство – аппарат представления знаний в исследовательском проектировании (в печати)
42. Валькман Ю.Р. Модельно-параметрическое пространство – представление знаний об исследуемых процессах и объектах.// Сб. научн. тр. V Национ. конф. с международ. участием «Искусственный интеллект – 96» (КИИ-96), Казань, 1996, – с. 229–304.
43. Валькман Ю.Р. Модельно-параметрическое пространство в исследовательском проектировании: цели построения, определения, структура и свойства// Вопросы когнитивно-информационной поддержки постановки и решения новых научных проблем. К.: Институт кибернетики НАН Украины, 1995. – с. 103–115
44. Валькман Ю.Р. Прикладная семиотика в исследовательском проектировании: алгебра и логика текстов и контекстов моделей сложных объектов (в печати)
45. Валькман Ю.Р. Прикладная семиотика в исследовательском проектировании: исчисление обликов сложных изделий // Программные продукты и системы. – 1997 – № 2 – с. 9–16
46. Валькман Ю.Р. Принципы построения алгебры и логики текстов и контекстов математических моделей//Тр. III Конференции по искусственному интеллекту (КИИ-92), Тверь, 1992 – с. 48–53

47. Валькман Ю.Р. Распределенный искусственный интеллект и много-агентные системы в исследовательском проектировании сложных объектов // Тр. Междунар. сем. «Распределенный искусственный интеллект и многоагентные системы» (DIAMAS'97). - Санкт-Петербург, - 1997 - с. 269-280.
48. Валькман Ю.Р., Соломаха О.Н., Суворов А.И. Информационные технологии единого комплекса исследований в военном кораблестроении// Программные продукты и системы. - 1993. - № 4. - с. 10-19.
49. Валькман Ю.Р., Уткин А.И. Принципы построения модельно-параметрической среды для исследований сложных объектов // Сб. научн. тр. Междунар. конф. "Знания-диалог-решение" (KDS-97) - Ялта, 1997 - с. 146-158.
50. Валькман Ю.Р. Интеллектуальные технологии исследовательского проектирования: формальные системы и семиотические модели - К. : Port-Royal, 1998. - 250 с.
51. Валькман Ю.Р., Валькман Р.Ю., Рыхальский А.Ю. Система «Цели-Программы-Подержания образования» в виртуальных образовательных средах // Искусственный интеллект - 2002 (ИИ-2002) : сб. науч. трудов II междунар. конф., г. Кацивели. - 2002.
52. Варшавский В.Л., Пospelов Д.А. Оркестр без дирижера - М. : Наука, 1984. - 207 с.
53. Васильев Е.М. Теория систем и системный анализ - Воронеж : Научная книга, 2007. - 180 с.
54. Вертгеймер М. Продуктивное мышление - М.: Прогресс 1987 - 336 с.
55. Винарская Е.Н. Ценностные аспекты поведения // Новости искусственного интеллекта. - М.: САИИ, 1992 г., № 2.- с. 36-56.
56. Вязгин В.А., Федоров В.В. Формирование облика сложного технического объекта в САПР// Программные продукты и системы, 1990, №4. - с. 26-37
57. Гаврилова Т.А., Червинская К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. - М.: Радио и связь, 1992. - 200 с.
58. Гладун В.П. Процессы формирования новых знаний. - София: СД «Педагог 6», 1994 - 192 с.

59. Горелов И.Н. Разговор с компьютером: психолингвистический аспект проблемы. – М.: Наука, 1987. – 256 с.
60. Городецкий В.И. Многоагентные системы: современное состояние исследований и перспективы применения // Искусственный интеллект-96 (КИИ-96): сб. науч. трудов V национальн. конф. с междунар. участием, г. Казань. – Казань, 1996. – С. 36–45.
61. Граничин О.Н., Кияев В.И. Информационные технологии в управлении – М. : Бином. Лаборатория знаний Интернет-университет информационных технологий, 2008 – 336 с. – (Серия "Основы информационных технологий").
62. Гриценко В.И., Вовк М.И., Котова А.Б. Введение в архитектуру информационного пространства. Модели, проблемы развития. – Киев: Наукова думка, 2003 – 168 стр
63. Гриценко В.И., Вовк М.И., Котова А.Б. и др. Биоэкология. Единое информационное пространство. Экология здоровья – в XXI век./ Под редакцией члена-корреспондента Академии технологических наук Украины В. И. Гриценко. – Киев: Наукова думка, 2001 – 320 с.
64. Гриценко В., Вовк М., Котова А. Єдиний медико-інформаційний простір: яким йому бути? // Вісник НАН України. – 2000. – №8. – С. 18–25.
65. Джонс Дж.К. Методы проектирования. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
66. Дьяконов В.П., Найденов В.В. Сравнительный анализ зарубежных интегрированных систем компьютерной алгебры // Программные продукты и системы. – 1994. – № 3. – С. 30–35.
67. Евгеньев Г.Б. Интеллектуальные системы проектирования – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 334 с.
68. Ежкова И.В. Можно ли построить универсальную экспертную систему // Программные продукты и системы. 1991, №2. – с. 19–29.
69. Емельянов С.В., Калашников В.В. Исследование сложных систем с помощью моделирования // Итоги науки. Техническая кибернетика. – М. : Наука, 1981. – С. 158–209.
70. Жилиякова Л.Ю. Структурирование знаний в ассоциативной модели // Труды XI Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008, 29 сент.–3 окт. 2008 г., г. Дубна. – М. : Ленанд, 2008. – С. 107–117.

71. Жук К.Д., Кошлак В.П. Целедостижение и программированная эксплуатация сложных технических систем. - Киев, 1983. - 35 с. - (Препр.//АН УССР, Ин-т кибернетики; № 88-25)
72. Журавлев Ю.И., Лосев Г.Ф. Окрестности в задачах дискретной математики. // Кибернетика и системный анализ. -1995. - № 2. - с. 32-41.
73. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976.
74. Захаров И.Г. Особенности моделирования задач предметной области в интересах разработки системных моделей исследовательского проектирования - Спб. : 1 ЦНИИ ВК МО, 1993.
75. Захаров И.Г. Современное состояние проблемы выбора при создании сложных технических систем. Системный анализ при создании кораблей, комплексов вооружения и военной техники ВМФ - Спб. : ВМА, 1991.
76. Захаров И.Г. Элементы теории принятия проектных решений при исследовательском проектировании (курс лекций) - Л. : ВМА, 1987.
77. Захаров И.Г. Военное кораблестроение России // Судостроение. - 1996. - № 10. - с. 57-65.
78. Захаров И.Г. Обоснование программ военного кораблестроения в современных условиях: методология, теория, практика. - СПб., 1995.
79. Захаров И.Г. Определение главных элементов корабля при автоматизированном исследовательском проектировании (учебное пособие). - С.-Пб.: ВМА, 1991.
80. Захаров И.Г. Особенности моделирования задач предметной области в интересах разработки системных моделей исследовательского проектирования (учебное пособие), - С-Пб.: 1 ЦНИИ ВК МО, 1993.
81. Захаров И.Г. Современное состояние проблемы выбора при создании сложных технических систем. //Системный анализ при создании кораблей, комплексов вооружения и военной техники ВМФ С-Пб.: ВМА, 1991.
82. Захаров И.Г. Теоретические средства и задачи системного анализа при исследовательском проектировании кораблей ВМФ.

//Системный анализ при создании кораблей, комплексов вооружения и военной техники ВМФ - Л.: ВМА, 1990.

83. Захаров И.Г. Теория компромиссных решений при проектировании корабля. - Л.: Судостроение, 1987.
84. Захаров И.Г. Элементы теории принятия проектных решений при исследовательском проектировании (курс лекций). - Л.: ВМА, 1987.
85. Захаров И.Г., Постонен С.И., Романьков В.И. Теория проектирования надводных кораблей - Спб. : ВМА, 1997. - 548 с.
86. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. - М.: Наука, 1991. - 192 с.
87. Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным - М. : Радио и связь, 1987. - 120 с.
88. Ильин В.Н. Методы искусственного интеллекта в САПР // Электронная вычислительная техника : сб. статей. - М. : Радио и связь, 1989. - Вып. 3. - С. 59-65.
89. Казиев В.М. Введение в анализ, синтез и моделирование систем - М. : Бинوم. Лаборатория знаний Интернет-университет информационных технологий, 2006. - 248 с. - (Серия "Основы информационных технологий").
90. Калиниченко Л.А. Методы и средства интеграции неоднородных баз данных - М. : Наука, 1983. - 412 с.
91. Кандрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах - М. : Наука, 1990. - 328 с.
92. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач - М. : Радио и связь, 1990. - 544 с.
93. Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф., Ибрагимов И.М., Никифоров А.Д. Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения. Принципы, системы и технологии CALS/ИПИ - М. : Академия, 2007. - 304 с.
94. Коов М.И., Мацкин М.В., Тыугу Э.Х. Интеграция концептуальных и экспертных знаний в САПР// Изд. АН СССР: Техническая кибернетика. - 1988. - № 5. - с. 108-117.

95. Кузнецов И.В. Семантические представления – М. : Наука, 1986. – 296 с.
96. Куратовский К., Мостовский А. Теория множеств – М. : Мир, 1970. – 416 с.
97. Ларичев О.И. Вербальный анализ решений – М. : Наука, 2006. – 182 с.
98. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах – М. : Логос, 2003. – 392 с.
99. Лорьер Ж.Л. Системы искусственного интеллекта – М. : Мир, 1991. – 568 с.
100. Лотман Ю.М. Текст в тексте // ТЗС. – 1981. – Вып. 14. – С. 3–18.
101. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах – М. : Мир, 1980. – 664 с.
102. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем – М. : Финансы и статистика, 1984. – 198 с.
103. Маслов Ю.С. Теория дедуктивных систем и ее применения. – М.: Радио и связь. – 1986. – 136 с.
104. Микишев В.В., Тарасов В.Б. Использование методов искусственного интеллекта в САПР. Анализ отечественного и зарубежного опыта // Известия АН СССР : Техническая кибернетика. – 1991. – № 1. – С. 164–176.
105. Микони С.В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив – СПб. : Лань, 2009. – 272 с.
106. Минский М. Фреймы для представления знаний. – М.: Энергия, 1979. – 151 с.
107. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, – 1989. – 152 с.
108. Нариньяни А.С. Недоопределенность в системе представления и обработки знаний. – Техническая кибернетика, М., 1986, № 5, с. 3–29.
109. Нариньяни А.С. Недоопределенные модели и операции с недоопределенными значениями. – Препринт ВЦ СО АН СССР, № 400, 1982.
110. Нариньяни А.С. Не-факторы и инженерия знаний: от наивной формализации к естественной прагматике//Сб. научн. тр. конф. "Искусственный интеллект – 94" (КИИ-94), Рыбинск, 1994, с. 3–18.

111. Непейвода Н.Н. Об уровнях знаний и умений в экспертных системах// Экспертные системы: состояние и перспективы. - М.: Наука, 1989. - с. 30-37
112. Новиков А.И., Ярославцева Е.И. Семантические расстояния в языке и тексте - М. : Наука, 1990. - 136 с.
113. Норенков И.П. Системы автоматизированного проектирования. Кн.1. Принципы построения и структура - М. : Высшая школа, 1987. - 123 с.
114. Одрин В.М., Кратавов С.С. Морфологический анализ систем. Киев: Наукова думка, 1977. - 183 с.
115. Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Реинжиниринг бизнеса: Реинжиниринг организаций и информационные технологии. - М.: Финансы и статистика. - 1997. - 336 с.
116. Осипов Г.С. Лекции по искусственному интеллекту - М. : УРСС, 2009. - 272 с.
117. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. - М.: Мир, 1975.
118. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества - М.: Машиностроение, 1988. - 368 с.
119. Половинкин А.И., Бобков Н.К., Буш Г.Я. и др. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании) - М. : Радио и связь, 1981. - 344 с.
120. Попов Г.И., Захаров И.Г. Теория и методы проектирования корабля. - ВМА - Л., 1985. - 562 с.
121. Попов Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ - М. : Наука, 1987. - 288 с.
122. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке. - М.: Наука, 1982. - 360 с.
123. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы - М.: Финансы и статистика, 1996. - 320 с.
124. Поспелов Д.А. Семиотические модели: успехи и перспективы// Кибернетика. - 1976. - № 6. - с. 114-123.
125. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. - М.: Наука. - 1986. - 288 с.

126. Поспелов Д.А. Уровни понимания// Искусственный интеллект. - В 3-х кн. Кн. 2. - М.: Радио и связь, 1990. - с. 110-115.
127. Пронина В.А., Шипилина Л.Б. Построение онтологии предметной области с нормализацией контекста в методе формальных параметров // Труды XI Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008, 29 сент.-3 окт. 2008 г., г. Дубна. - М. : Ленанд, 2008. - С. 248-258.
128. Пфанцагль И. Теория измерений - М. : Мир, 1976, - 248 с.
129. Рубашкин В.Ш. Представление и анализ смысла в интеллектуальных информационных системах. - М.: Наука. - 1989. - 288 с.
130. Рыбина Г.В. Теория и практика построения интегрированных экспертных систем - М. : Научтехлитиздат, 2008. - 485 с.
131. Савин Г.И. Системное моделирование сложных процессов - М. : Фазис, 2000. - 275 с.
132. Семенов Н.А. Программы регрессионного анализа и прогнозирования временных рядов. Пакеты ПАРИС и МАВР. - М.: Финансы и статистика, 1990. - 111 с.
133. Сергеев В.М. Когнитивные модели в исследовании мышления: структура и онтология знания.// Интеллектуальные процессы и их моделирование. - М.: Наука, 1986. - 129 с.
134. Сильвестров Д.С. Программное обеспечение прикладной статистики - М. : Финансы и статистика, 1988. - 240 с.
135. Сирота А.А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем - М. : Техносфера, 2006. - 280с.
136. Сиротко-Сибирский С.А. Смысловое содержание текста и его отражение в ключевых словах: Дисс. канд.филос.наук. - Л., 1968. - 242 с.
137. Скурихин В.И., Квачев В.Г., Валькман Ю.Р.и др. Проблемы построения информационной среды НИТ проектирования и испытаний сложных объектов// Тез. докл. Всесоюзн. научно-техн. совещания "Программное обеспечение новой информационной технологии". Калинин, 1989 - с. 27-29
138. Скурихин В.И., Квачев В.Г., Валькман Ю.Р., Яковенко Л.П. Информационные технологии в испытаниях сложных объектов: методы и средства - К. : Наукова думка, 1990. - 320 с.

139. Стефанюк В.Л. Анализ целесообразности локально организованных систем через потоки вероятности // Модели в системах обработки данных. - М.: Наука, 1989. - с. 33-45.
140. Тарасов В.Б. Интеллектуальные системы в проектировании // Новости искусственного интеллекта. - 1993. - № 4. - С. 24-67.
141. Тейз А., Грибомон П., Луи Ж.и др. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию - М.: Мир, 1990. - 432 с.
142. Тиори Т., Фрай Дж. Проектирование структур баз данных. - М.: Мир, 1985. - Т.1. - 287 с. - Т.2. - 320 с.
143. Тьугу Э.Х. Концептуальное программирование. - М.: Наука, 1984. - 345 с.
144. Финн В.К. Правдоподобные выводы и правдоподобные рассуждения // Итоги науки и техники. - М. : ВИНТИ, 1988. - Том 28. - С. 2-84. - (Серия "Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика").
145. Финн В.К. Рассуждения и интеллектуальные системы // Программные продукты и системы, 1991, №2 - с. 35-39.
146. Фреге Г. Смысл и денотат // Семиотика и информатика. - 1977. - Вып. 8. - С. 181-211.
147. Харари Ф. Теория графов. М.: Мир, 1973. - 300 с.
148. Хейес-Рот Ф., Уотермен Д., Ленат Д. Построение экспертных систем. - М.: Мир, 1987. - 430 с.
149. Худяков Л.Ю. Исследовательское проектирование кораблей (введение в теорию) - М. : Судостроение, 1980. - 240 с.
150. Цаленко М.Ш. Моделирование семантики в базах данных. - М.: Наука. - 1989. - 318 с.
151. Цикритзис Д., Лоховски Ф. Модели данных. М.: Финансы и статистика, 1985. - 344 с.
152. Чечкин А.В. Математическая информатика - М.: Наука 1991 - 416 с.
153. Шлеер С., Меллор С. Объектно-ориентированный анализ: моделирование мира в состояниях. - Киев: Диалектика. - 1993. - 240 с.
154. Шокин Ю.И. Интервальный анализ. - Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1981.

155. Эрлих А.И. Прикладная семиотика - новые возможности моделирования в системах управления.// Сб. научн. тр. V Национальной конф. с междунар. участием «Искусственный интеллект -96» (КИИ-96), Казань, 1996 - с. 486-493.
156. Автоматизация поискового конструирования: искусственный интеллект в машинном проектировании - М.: Радио и связь, 1982.
157. Доказательство и понимание. Киев: Наукова думка, 1986. - 312 с.
158. Словарь по кибернетике - К. : Украинская Советская энциклопедия, 1979. - 638 с.
159. Толковый словарь по искусственному интеллекту. - М.: Радио и связь. 1992. - 256 с.
160. Чертеж-3. Интегрированный программно-технический комплекс для системы автоматизированного исследовательского проектирования нового поколения (ОКР "Капустница"). Специальное программное обеспечение. Подсистема синтеза и анализа графических образов математических моделей (система ГРАММ). Описание применения 589.5417173. 00322-01 31 01-2
161. Чертеж-3. Интегрированный программно-технический комплекс для системы автоматизированного исследовательского проектирования нового поколения (ОКР "Капустница"). Специальное программное обеспечение. Система управления базами данных математических моделей (СУБД МАМОД). Описание применения. 589.5417173. 00322-01 31 01-1
162. Чертеж-4. Разработка и совершенствование на базе новых информационных технологий комплексной автоматизированной системы исследовательского проектирования и научных исследований для обеспечения разработки требований к перспективным кораблям военно-морского флота и формирование программ военного кораблестроения. Разработка подсистемы управления базами данных и знаний математических моделей, используемых в научных, экспериментальных и проектных исследованиях. Пояснительная записка к эскизному проекту.
163. Boyle J.M. Interactive engineering systems design: a study for artificial intelligence applications //Artificial Intelli-

- gence applications //Artificial Intelligence in Engineering. - 1989. - Vol. 4. - pp. 58-69.
164. Ehrlich A.I. Approach to Development of Systems for Modeling, Simulating, Simulating and Decision Making Support in System Engineering //Proceedings of the 1995 ISIS Workshop - the 10th IEEE International Symposium on Intelligent Control, Aug. 27-29, 1995 Monterey (Cal), USA, pp. 375-381.
165. Ehrlich A.I. Integration of Situation and Cybernetic Models and Methods for Control and Management of Complex Systems. //Semiotic Modeling, March 22-29, 1995, Columbus (O), USA (Ed.: R. J. Strohl), Pub. by the Battelle, Columbus, 1996, pp. 38-50.
166. Jo H.H., Hamid R.P., Wong J.P. Concurrent Engineering: the Manufacturing Philosophy for the 90's, Computers in Industrial Engineering, Vol. 2.1, 1991, pp. 35-39
167. Lenat D. Eurisco: a Program that Learns New Newritics and Domain Consept, Inc. Wellesley Massachusetts, 1977. - 491 p.
168. Mill J.S. Philosophy of Scientific Method. - Hafner Press, N.-Y., 1974.
169. Reddy Y.V., Wood R.T., Cleetus Y.J. The DARPA Initiative in Concurent Engineering, Concurent Engineering Research in Review, vol. 1, 1991, p.2-10
170. Valkman Y.R., Rykhalsky A.Y. Architecture of model parametric space: hierarchy in Simon's Architecture of Complexity // 2nd International Conference on Inductive Modelling (ICIM'2008), September 15-19, 2008, Kyiv, Ukraine. - K., 2008. - P. 59-60.