

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ СПЕЦИФИКАЦИЙ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ

В. В. Горюнова, канд. техн. наук

Пензенский артиллерийский инженерный институт, г. Пенза, Россия

*Рассмотрены аспекты разработки концептуальных спецификаций (онтологий) промышленных процессов в машиностроении и основные положения декларативного динамического моделирования на основе математического аппарата сетей Петри и систем Productions. Основные задачи управления промышленными процессами структурируются и формализуются при использовании онтологий (метаонтологий, онтологий предметных областей и онтологий задач). Определены общие положения анализа онтологий интегрированных информационных сред (ИИС) на основе формального аппарата алгебры последовательностей с использованием критериальных модельных оценок.*

**Ключевые слова:** онтологии, декларативное моделирование, базы знаний, сети Петри, производственные системы.

Важнейшую роль при управлении проектированием и функционированием производственных процессов в области машиностроения играет моделирование, как статическое (моделирование структуры), так и динамическое (моделирование поведения). Такое моделирование при использовании современных информационных технологий и необходимостью описания всех этапов жизненного цикла продукции предусматривает разработку ИИС. Декларативное моделирование онтологии предполагает разработку формальных и визуально-графических средств реализации следующих важных задач:

- обозначение целей и области применения создаваемой онтологии;
- построение онтологии, которая включает:
  - фиксирование знаний о предметной области (ПрО), т. е. определение основных понятий и их взаимоотношений в выбранной предметной области, создание точных непротиворечивых определений для каждого основного понятия и

отношения, определение терминов, которые связаны с этими терминами и отношениями;

кодирование, т. е. разделение совокупности основных терминов, используемых в онтологии, на отдельные классы понятий;

выбор или разработку формальных средств (специальных языков для представления онтологий);

непосредственно задание фиксированной концептуализации на выбранном языке представления знаний;

- совместное применение пользователями (исполнителями) общего понимания структуры ИИС;
- обеспечение возможности использования знаний ПрО;
- создание явных допущений в ПрО, лежащих в основе реализации;
- отделение знаний ПрО от оперативных знаний;
- анализ знаний в ПрО.

С помощью инструментальных средств моделирования решаются задачи прогнозирования развития ИИС, в том числе: формирование стратегии развития системы в условиях изменения внешней среды; выбор целей ИИС с учетом ограничений на потребляемые ресурсы; определение возможных сценариев достижения целей при выбранной стратегии, определение оптимального сценария и т. д.

Решение этих и других задач моделирования и анализа промышленных процессов позволяет сформировать предварительные ориентиры проекта ИИС, выявить и устранить нестыковки и ошибки на более ранних этапах его выполнения.

### **Общие положения разработки онтологий ИИС в области машиностроения**

При разработке ИИС, основанных на представлении знаний, выделяют следующие этапы:

- *накопление* — первичное накопление информации на предприятии или в организации;
- *извлечение* — процесс, идентичный традиционному извлечению знаний для экспертной системы (один из наиболее сложных и трудоемких этапов, от его успешности зависит дальнейшая жизнеспособность системы);
- *структурирование* — на этом этапе должны быть выделены основные понятия, выработана структура представления информации, обладающая максимальной наглядностью, простотой изменения и дополнения;
- *формализация* — представление структурированной информации в форматах машинной обработки, т. е. на языках описания данных и знаний;
- *обслуживание* — под процессом обслуживания понимается корректировка формализованных данных и знаний (добавление, обновление), удаление устаревшей информации, фильтрация данных и знаний для поиска информации, необходимой пользователям.

На сегодняшний день созданы промышленные системы централизованного управления распределенными хранилищами информации, представленной в любых форматах, в том числе изображений, файлов различных офисных приложений и систем CAD/CAM [1].

Основные преимущества онтологического подхода к проектированию ИИС в области машиностроения определяются следующими характеристиками:

- онтология представляет пользователю целостный, системный взгляд на определенную ПрО;
- знания о ПрО представлены единообразно, что упрощает их восприятие;
- построение онтологии позволяет восстановить недостающие логические связи ПрО.

В ИИС знаниями считается вся доступная информация (документы, сведения о заказчи-

ках, описание технологий работы, продукции и т. д.), а также закономерности предметной области, полученные из практического опыта или внешних источников. Эти знания различаются в зависимости от отраслей промышленности и могут быть рассредоточены по всему предприятию, поэтому практическая разработка онтологии включает [2]:

- определение классов в онтологии;
- расположение классов в таксономическую иерархию (подкласс — надкласс);
- определение слотов и описание допускаемых значений этих слотов;
- заполнение значений слотов экземпляров.

После этого можно создать базу знаний, определив отдельные экземпляры этих классов, введя в определенный слот значение и дополнительные ограничения для слота.

Онтология промышленного предприятия содержит классы понятий с заданными на них семантическими отношениями. Она состоит из набора технологических онтологий и организационной онтологии, отражающей организационно-функциональную структуру предприятия: состав штатного расписания (работники, администрация, обслуживающий персонал), партнеры, ресурсы и т. п. и отношения между ними. Онтологии технологий содержат понятия, описывающие производственные процессы. Общие знания ПрО, к которой относятся субъекты экономической деятельности, отображает мета-онтология (онтология отрасли).

Разработанные онтологии позволяют всем пользователям ИИС использовать общую терминологию и избежать взаимных недоразумений. Они обеспечивают работу со структурированными источниками данных, для которых может быть построена схема данных, т. е. описаны типы данных и связи между ними, и существует формальный способ получения отдельных элементов данных. Примерами структурированных источников данных можно считать различные базы данных (например реляционные и объектные), а также слабо структурированные ресурсы, описанные в форматах XML, RDF, OWL, DAML+OIL [3].

Выделим некоторые фундаментальные правила разработки онтологии.

- не существует единственно правильного способа моделирования ПрО — всегда существуют жизнеспособные альтернативы. Лучшее решение почти всегда зависит от предполагаемого приложения и ожидаемых расширений;
- разработка онтологии — это обязательно итеративный процесс;
- понятия в онтологии должны быть близки к объектам (физическим или логическим) и отношениям в интересующей ПрО;
- знание того, для чего предполагается использовать онтологию, и того, насколько детальной или общей она будет, может повлиять на многие решения, касающиеся моделирования. Нужно определить, какая из альтернатив

поможет лучше решить поставленную задачу и будет более наглядной, более расширяемой и более простой в обслуживании. Следует помнить, что онтология — это модель реального мира, и понятия в онтологии должны отражать эту реальность.

После того как определена начальная версия онтологии, ее нужно оценить и отладить, используя ее в каких-то приложениях и/или обсудив ее с экспертами ПрО. В результате начальную онтологию скорее всего нужно будет пересмотреть. И этот процесс итеративного проектирования будет продолжаться в течение всего жизненного цикла онтологии.

Онтологическое представление знаний о субъектах производственной и эксплуатационно-технологической деятельности, которые входят в состав какой-либо системы, можно использовать для объединения их информационных ресурсов в единое информационное пространство со строгим соблюдением требований нормативно-справочной базы машиностроительной отрасли.

#### Модульная онтологическая системная технология (МОСТ-технология)

В постановке задачи использования единых комплексных средств описания статических и динамических характеристик процесса проектирования производства и эксплуатации изделий машиностроения онтологии эксплуатационно-технологического проектирования становятся центральной задачей в разработке ИИС [4].

Онтология (от древнегреч. онтос — сущее, логос — учение, понятие) — философский термин, определяющий учение о бытии. Подобное описание всегда опирается на определенную концепцию той области, которая обычно задается в виде системы исходных объектов (понятий), отношений между ними и положений (аксиом) [5].

Предметом исследований МОСТ-технологии являются методы декларативного динамического моделирования эксплуатационно-технологических процессов на основе математического аппарата сетей Петри и систем продукций.

Цель применения декларативного динамического моделирования ИИС заключается в определении функциональных возможностей ИИС путем исследования дополнительных аспектов поведения системы — динамики образов и динамики потоков и создании прозрачных и эффективных структурных методов моделирования [6].

Использование концептуальных спецификаций (онтологий) в ИИС предполагает декомпозицию на уровни, которые в большинстве случаев, обладают иерархической структурой и взаимодействуют с ресурсами, определяющими функциональные возможности этапов жизненного цикла изделий:

- административно-координационный уровень (проектирование);
- плано-диагностический уровень (производство);
- эксплуатационно-технологический уровень (эксплуатация) (рис. 1).

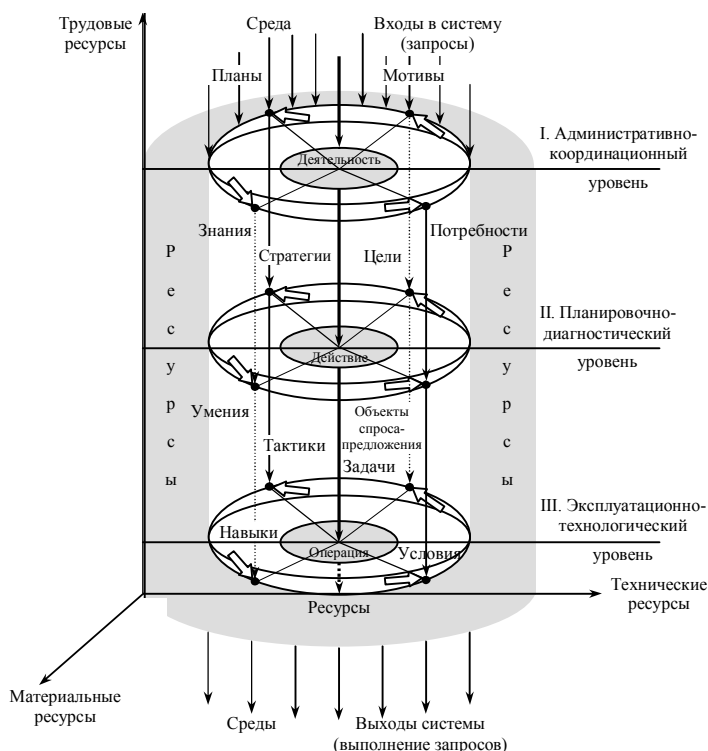


Рис. 1. Уровни ИИС

При применении и использовании МОСТ-технологии к разработке ИИС предполагается использовать комплексный подход, учитывающий критериальные значения показателей включаемых в онтологические блоки. Продукционно-событийная (PS) модель является доступным для эксперта предметной области средством формирования концептуальных спецификаций объектов и средств автоматизации по этапам жизненного цикла изделия, определяя поэтапную динамику вертикального управления по цепочкам понятий  $U_i$ , формирующим образы соответствующих PS-моделей:

- $U_1 = (\text{motive, goal, task})$  — PS ( $U_1$ ) определяет мотивы—цели—задачи;
- $U_2 = (\text{necessity, demand and supply, condition})$  — PS ( $U_2$ ) определяет потребности, спрос—предложение, условия;
- $U_3 = (\text{knowledge, skill, habit})$  — PS ( $U_3$ ) определяет знания, умения, навыки;
- $U_4 = (\text{plans, strategic, tactics})$  — PS ( $U_4$ ) определяет планы, стратегии, тактики.

PS ( $U_i$ ) задает множество управляющих целевых входов для множества онтологических блоков (ОБ)  $U_i$ -цепочки.

Ресурсные горизонтальные слои определяют ресурсными поверхностями  $R_i$  с координатами labour, resuniary, technical, задающими множество информационных входов по данным для трудовых, материальных и технических ресурсов ОБ  $U_i$  концептуальной спецификации.

При описании организационной структуры ИИС метаонтология имеет следующее формальное описание

$$\text{ONT\_PS} = (U_{\text{об}}, \text{lm}(R), \Phi_{\text{об}}),$$

где  $U_{\text{об}}$  — множество понятий предметной области, определяемых онтологическими блоками  $|U| \neq \emptyset$ ;

$\text{lm}(R) = \{w|w : U^n \rightarrow [0,1]\}$  — множество нечетких (взвешенных) отношений между понятиями онтологических блоков;

$\Phi_{\text{об}} = \text{PSgramm}$  — описание схем процесса "отработки" онтологии (взаимодействия онтологических блоков).

Формально ОБ можно определить кортежем:

$$\text{ОБ} = (\text{Input, Output, PSgramm}),$$

где Input — описание входов ОБ;

Output — описание выходов ОБ;

PSgramm — описание схем процесса "отработки" (тренинга) ОБ.

В стандартном варианте при описании классификационных и иерархических структур Input =  $\{0,1\}$ , т. е. предусматривается единственный вход в ОБ, который определяет наличие управляющего сигнала: "1" — есть сигнал, "0" — нет сигнала.

При возможном использовании сложных сетевых структур с применением числа управляющих событийных входов  $ip > 1$  и числа входов по данным  $id > 1$ . Такая интерпретация зна-

чений Input в значительной мере приближает объектный блок к функциональному блоку стандарта IEC 61499. В этом случае

$$\text{Input} = (\text{PI, DI, AI, WI}),$$

где PI =  $\{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ik}\}$  — множество целевых входов;

DI =  $\{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik}\}$  — множество ресурсных входов;

AI =  $A(p_{ik})$  — логическая функция определения альтернатив при входе в онтологический блок, определяющая условия доступа к целевым входам из внешней среды распределенной сети;

WI =  $\text{PI} \times \text{DI}$  — множество рабочих связей между целевыми событиями и ресурсными данными для входов.

$$\text{Output} = (\text{PO, DO, AO, WO}),$$

где PO =  $\{p_{o1}, p_{o2}, \dots, p_{oi}\}$  — множество целевых выходов;

DO =  $\{d_{o1}, d_{o2}, \dots, d_{on}\}$  — множество ресурсных выходов;

AO =  $A(p_{oi})$  — логическая функция определения альтернатив при выходе из онтологического блока, определяющая условия доступа целевых выходов к внешней среде распределенной сети;

WO =  $\text{PO} \times \text{DO}$  — множество рабочих связей между событиями и ресурсными данными для выходов.

Управление ОБ задается моделью, определяющей порядок и условия выполнения алгоритмов, содержащихся в ОБ. Стандартной для "отработки" ОБ является модель, названная PSgramm, определяющая отношение "элемент-группа" для входа Input (или для каждого из целевых входов {PI} при  $p_i > 1$ ).

$$\text{PSgramm} = \langle N, S, F, a, b \rangle,$$

где N — сеть Петри специального вида [3]

$$N = \langle P, T, I, O, M_0 \rangle,$$

здесь P =  $\{p_i / i = 1-n\}$  — множество позиций;

T =  $\{t_i / i = 1-m\}$  — множество переходов;

I =  $P * T \rightarrow \{0,1\}$  — входная функция инцидентности;

O =  $T * P \rightarrow \{0,1\}$  — выходная функция инцидентности;

$M_0: P \rightarrow \{0,1\}$  — начальная маркировка;

S — множество информационных сущностей онтологического блока, представляемых таблицами,  $S = \{s_i / i = 1-n\}$ ;

F — множество логических формул,  $F = \{f_i / i = 1-n\}$ ;

$a: P \rightarrow S$  — отображение, задающее "нагрузку" позиций сети информационными сущностями;

$b: T \rightarrow F$  — отображение, задающее "нагрузку" переходов логическими формулами.

ОБ из-за ограничений на его размерность, как правило, порождает небольшое число аль-

тернативных вариантов, пространство которых обозримо для пользователя—исполнителя. Это открывает возможность принятия локальных решений (на уровне ОБ), определяющих дальнейший ход проектирования. При принятии решений могут "отсекаться" значительные "пути" сети N. Понятие сети ОБ описывает только статическое строение системы. Общей в спектре динамических сетевых моделей является условно-событийная система, которая представляет собой сеть, дополненную правилами изменений условий в результате реализации событий, по рангам создаваемых онтологией образов, т. е. сеть Петри можно считать конкретизацией условно-событийной системы и основой образного моделирования эксплуатационно-технологических процессов.

PS-модель предполагает два способа формирования правил продукций (рис. 2):

- правило-продукция приписана переходу  $T_j$ ;
- правило-продукция приписана позиции  $P_i$ .

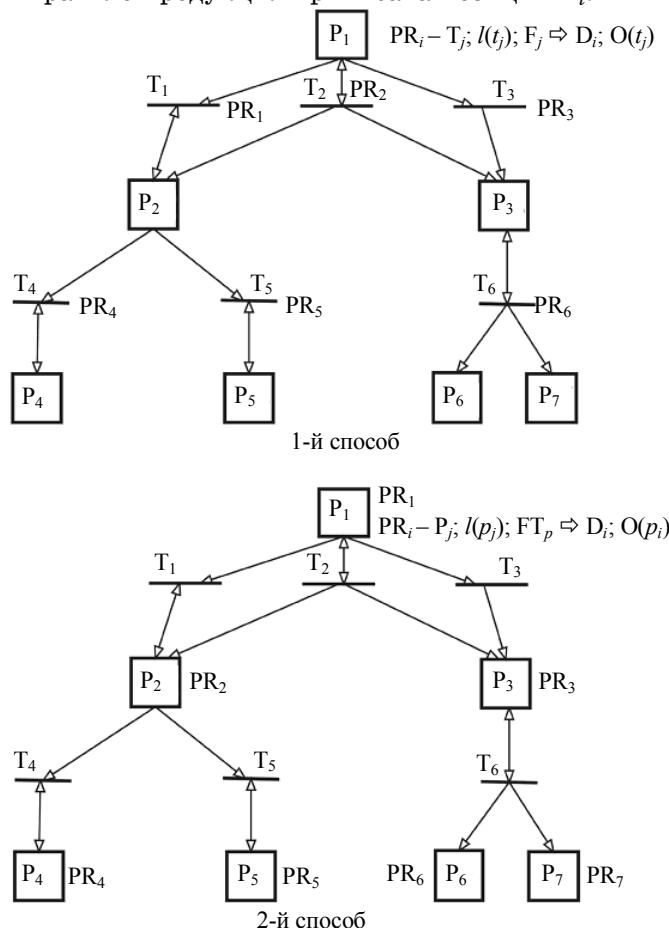


Рис. 2. Способы формирования правил-продукций

На рис. 2 представлена сеть, содержащая семь позиций ( $P_1$ — $P_7$ ) и шесть переходов ( $T_1$ — $T_6$ ), для которых можно сформировать семь правил-продукций по первому способу или шесть правил-продукций по второму способу.

Правило-продукция формально представляется выражением вида

$$(I), S, P, A \Rightarrow B, M. \quad (1)$$

В применении к рассматриваемой реализации PS-модели составляющие выражения (1) представляются как:

$I$  — имя продукции;

имя перехода  $T_j$ ;

имя позиции  $P_i$ ;

$S$  — сфера применения продукции — событийные входы ОБ (PI);

расширенная входная функция  $I(T_j)$ ;

входная функция  $I(P_i)$ ;

$P$  — условие применимости ядра продукции—входы по данным ОБ (DI);

$A \Rightarrow B$  — ядро продукции. Выражение  $A$  определяет условия определения вершины с именем  $P_i$  двумя способами:

$FP_i$  — формула из выражений алгебры последовательностей, приписанная переходу,

$FT_j$  — формула из выражений алгебры последовательностей, приписанная вершине, формируемая из входных переходов позиции;

$B$  — инициирует процесс назначения параметров элемента вершины, элементы имеют вид подструктуры, составными частями являются параметры трех групп:

$V_z$  — параметры-значения, т. е. постоянные, не изменяющиеся параметры;

$V_p$  — параметры-переменные, значения которых определяются с помощью обращения к внешней среде, т. е. обращение к пользователю;

$V_f$  — параметры-функции.

Обращение к параметрам элемента осуществляется посредством указания имени элемента и имени параметра, например: ОТВЕРСТИЕ.D — диаметр отверстия.

$M$  — постусловия продукции. Постусловия активизируются только в случае реализации ядра продукции. Постусловия продукции описывают действия, которые необходимо выполнить после реализации  $B$ .  $M$  определяет взаимосвязь продукции с аппаратом активизации:

расширенная выходная функция  $O(T_j)$ ;

выходная функция  $O(P_i)$ .

Например, для перехода  $T_2$  правило продукции представлена в виде:

$T_2; I(P_1); \text{ЕСЛИ ОТВЕРСТИЕ.D} > 10 \text{ ТО ОПЕРАЦИЯ} = \text{СВЕРЛИЛЬНАЯ}; O(P_2, P_3).$

$T_2$  — имя продукции;  $I(P_1)$  — условие применимости продукции;

$\text{ЕСЛИ ОТВЕРСТИЕ.D} > 10 \text{ ТО ОПЕРАЦИЯ} = \text{СВЕРЛИЛЬНАЯ}$  — ядро продукции;

$O(P_2, P_3)$  — постусловия.

МОСТ-технология дает возможность формального описания процессов поведения сети онтологических блоков, служит основой верификации, трансформации и оценки производительности интегрированных систем эксплуатационно-технологического назначения на основе последовательно-временных диаграмм [7].

Последовательно-временная диаграмма (ПВД) увязывает развернутые во времени маршруты движения элемента потока (ЭП) эксплуатацион-

но-технологического процесса с динамикой изменения значений системных характеристик, функционально зависящих от атрибутов потоков.

При реализации эксплуатационно-технологического процесса каждый ЭП проходит определенную цепочку операций (последовательность), по своему жизненному циклу, сохраняя при этом неизменным значение атрибута-идентификатора ЭП (на рис. 3  $X_1$ — $X_4$ ). Цепочку ЭП с такими свойствами будем называть метаэлементом (МЭП) и характеризовать последовательностью (маршрутом) движения.

ПВД для МЭП "Обслуживание заказов" (см. рис. 3) состоит из графика в системе координат "модельное время — системная характеристика" и набора МЭП-последовательностей, размещенных под графиком параллельно оси времени. Каждая шкала отображает последовательность для обслуживания одного заказа (маршрут одного МЭП).

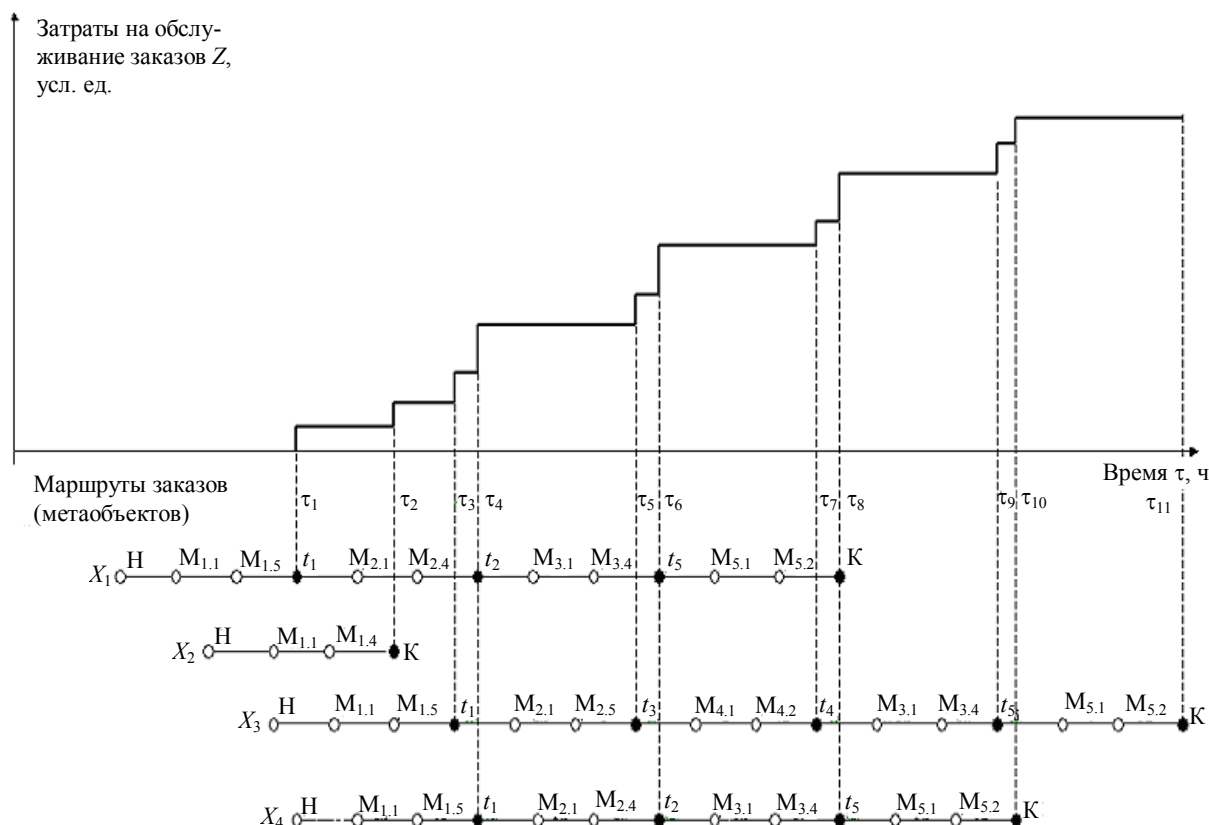


Рис. 3. Последовательно-временная диаграмма:

○ — изменение состояния внутри операций ( $M_i$ ); ● — изменение состояния по ресурсам ( $t_i$ );  
Н и К — начало и конец; МЭП — последовательности

Получаемый по ПВД состав параметров системных характеристик для набора заказов  $X_1$ — $X_4$  является основой для применения кластерного анализа при формировании онтологических классов (кластеров).

#### Заключение

• повышение интеллектуальности ИИС на основе представления того, что часто остается неявным. В отличие от экспертных систем МОСТ-технология формализует неявные предположения в концептуализацию. Декларативное представление в онтологиях концептуализации на основе определения семантических отношений и аксиоматики (средства сетей Петри и продукционных систем) делает ИИС интеллектуальными;

• стандартизация на основе описания целевого пространства в виде словаря, согласованного среди пользователей-экспертов. Таким образом, возможна спецификация компонентов функциональности, понимание и сравнение различных систем в виде общего словаря. Также с помощью МОСТ-технологии решается задача разделения знаний между различными пользователями и/или компьютерными системами (совместного использования), а также их повторное использование для новых ситуаций;

Назначение МОСТ-технологии сводится к обеспечению следующих возможностей:

- систематизация знаний, которая позволяет интегрировать разнородные источники знаний на основе единой многоаспектной таксономии, представляемой в общем словаре;
- реализация метамодельной функциональности для конструирования. МОСТ-технология снабжает необходимыми понятиями, отноше-

ниями и ограничениями, которые используются как строительные блоки для построения конкретной модели решения задачи. Далее модели, построенные на основе МОСТ-технологии, выполняются с использованием редукционных модулей, привязанных к выбранным понятиям;

- создание теории содержания на уровне элементов потоков. МОСТ-технология дает теорию содержания, позволяя постепенно в динамическом режиме обобщать понятия конкретной проблемной области в рамках отдельного эксплуатационно-технологического процесса;

- создание целостной методики декларативного моделирования эксплуатационно-технологических процессов на основе сетей Петри и производственных систем.

#### Литература

1. Maedche A., Staab S. Tutorial on Ontologies: Representation, Engineering, Learning and Application//ISWC, 2002.
2. Farquhar A., Fikes R., Rice J. The Ontolingua server: A tool for collaborative ontology construction//International Journal of Human-Computer Studies. 1997. No. 46(6). P. 707—728.
3. Function block for industrial-process measurement and control systems. Part 1//Architecture, International Electronical Commission. Geneva, 2005.
4. Горюнова В. В. Модульная онтологическая системная технология в управлении промышленными процессами// Приборы и системы, 2008. № 2.
5. Горюнова В. В. Модели и методы проектирования технологических процессов механообработки на основе сетей Петри: Автореф. ... дис. на соис. уч. ст. канд. техн. наук. — М.: ИПУ, 1994. — 22 с.
6. Котов В. Е. Сети Петри. — М.: Высш. шк., 1987.
7. Горюнова В. В. Модульная технология в интеллектуальных информационных системах//Науч.-техн. сб. статей "Динамика гетерогенных структур". — Пенза: ПГУ, 2008. Вып. 4.

## PRACTICAL DEVELOPMENT OF CONCEPTUAL SPECIFICATIONS OF THE INTEGRATED SYSTEMS

V. V. Gorunova

Penza Artillery Engineer Institute, Penza, Russia

*In this article aspects of development of conceptual specifications of the integrated systems with knowledge bases oriented on the basis of the body of mathematics of Petri nets and production systems are presented. The aspects of the declarative composing the basis of modular ontological system technology (MOST-TECHNOLOGY), determining the mechanism of design, operation and development of the integrated information systems from so-called ontological blocks are considered (OB).*

**Keywords:** ontology, declarative modeling, bases of knowledge, Petri nets, production systems.

---

Горюнова Валентина Викторовна, доцент кафедры "Артиллерийское вооружение и информатика". Тел. (841-2) 59-11-67 (доб. 3-53). E-mail: gvv17@mail.ru

