

# Организация временного и пространственного логического вывода в концептуальной модели интеллектуальных САПР

Григорьев А.В.

Донецкий национальный технический университет  
grigorie@r5.dgtu.donetsk.ua

## Abstract

*Grigoriev A.V. Organization of a time and spatial logic conclusion in conceptual model intellectual CAD. In work questions of an estimation of efficiency for existential logic which is constructed in conceptual model of a subject domain for intellectual CAD are considered.*

## Введение

Исследование пространственно-временных логик (ПВЛ) – это относительно новая и бурно развивающаяся область современной логики [1,2]. Такие логики могут применяться при пространственно-временном планировании, управлении, проектировании и моделировании. Применение таких логик на практике дает возможность решать интеллектуальные задачи более высокого уровня, чем задачи, типичные для обычных экспертных систем. Таким образом, разработка новых, адаптированных к той или иной специфике применения пространственно-временных логик есть, безусловно, важная и актуальная научная задача. Ранее в работах [3-5] автором был предложен ряд вариантов реализации ПВЛ в семиотической концептуальной модели предметной области (КМ) интеллектуальных САПР решения типичных задач проектирования. Данная логика выполняла роль средства организации логического вывода на функционально-логическом уровне (ФЛУ) проектирования в САПР, и фактически представляла собой логику на жизненных циклах (ЖЦ). Отличием логического вывода являлся учет модели времени и пространства. Данная ПВЛ по существу является новым вариантом псевдо-физической логики, более ориентированный на физическую семантику предметной области, чем прочие логики. Целью предлагаемой работы является исследование эффективности предложенной ПВЛ. Предполагается решить следующие задачи: путем сравнительного анализа выявить достоинства и недостатки предлагаемой ПВЛ относительно прочих ПВЛ; привести пример практического применения данной ПВЛ; определить место предлагаемого подхода в комплексе средств отображения ЖЦ на структурном уровне, ФЛУ и количественном уровне (макро- и микроуровне) САПР. В частности, предполагается выполнить сравнительный анализ предлагаемой ПВЛ и

алгоритма событийного имитационного моделирования на ФЛУ САПР.

## 1. Краткий анализ существующих моделей пространства и времени

Рассмотрим задачу моделирования ЖЦ, учитывающих модели пространства и времени, с различных точек зрения. Моделям движения в пространстве и времени посвящен многочисленный ряд работ: в САПР и системном анализе [23-25], физических [6,7], философских [8], по формальной логике [9-22]. Разработка новой ПВЛ, которая отвечала бы требованиям САПР и системного анализа, позволит обеспечить создание более эффективной специализированной ИО для создания интеллектуальных САПР [3-5]. Сделаем краткий анализ существующих ПВЛ. Основные положения классической ПВЛ, предложенной в ситуационном управлении, главным достоинством которой является подход к моделированию движения объектов во времени и пространстве с позиции семиотической модели, по-прежнему актуальны и нуждаются в развитии, состоящем в построении семиотической модели мира, отражающей систему физических моделей в САПР.

*Недостатки* существующих ПВЛ: 1) Реальное наполнение понятия «псевдо-физическая» логика далеко от семантики понятия «физическая» логика, т.к. ПВЛ строятся экспертным путем, с большой долей субъективизма, причина которой состоит в отсутствии формальной модели мира, отражающей физические законы; 2) Семиотическая модель (СМ) предметной области не имеет полноценного применения в ПВЛ; 3) Отсутствует возможность автоматического построения ПВЛ; 4) Типичная ПВЛ не позволяет отражать ЖЦ в смысле САПР (ФЛУ и количественный уровень) и СА.

*Достоинства:* 1) ПФЛ как подход позволяет решать задачи, востребованные в САПР; 2) Принципы метода ситуационного

управления хорошо согласуются с переходным режимом макроуровня САПР и методом событийного имитационного моделирования, применяемом на ФЛУ; 3) Модальные логики имеют хорошие иллюстративные возможности.

*Общий вывод из анализа ПВЛ:*

- экспертный ввод ПВЛ должен опираться на более формальную модель мира;

- наряду с экспертным вводом ПВЛ должен существовать и путь автоматического построения ПВЛ;

- необходимо использовать ПФЛ как путь построения ПВЛ, решающей наиболее близкие к САПР задачи; однако, данные задачи должны решаться с позиций более формальной модели мира; это позволит не только анализировать ситуации и пополнять базу событий, но и автоматически формировать сигнатуру, аксиоматику и систему правил вывода ПФЛ, т.е. строить ПВЛ автоматически; в целом такой подход позволит свести субъективизм логики до уровня субъективизма, имеющего место в формальной модели мира в САПР;

- надо строить ПВЛ, развивающую метод ситуационного управления, основанную на семиотической модели мира и позволяющую ориентироваться на структурный уровень, переходный режим макроуровня САПР и метод событийного имитационного моделирования, применяемый на уровне ФЛМ;

- модальные логики можно использовать для иллюстрации процессов вывода в пространстве и времени;

- ПВЛ, которую можно было бы эффективно применять в САПР, должна отражать в себе положения практически всех существующих ПВЛ.

**1.4. Постановка задачи исследования.** Исходя из сформированных выше требований, необходимо исследовать эффективность предложенной ранее ПВЛ. В частности, необходимо: выявить достоинства и недостатки предлагаемой ПВЛ; показать ее принципиальные отличия и новые возможности; привести пример практического применения данной ПВЛ; выполнить сравнительный анализ предлагаемой ПВЛ и алгоритма событийного имитационного моделирования. Для решения поставленной задачи необходимо сделать краткое изложение основных положений, заложенных в предлагаемой КМ, с целью формирования ряда конкретных заданий исследования. Итак, рассмотрим подход к построению временной и пространственной логики, реализованный в рамках предлагаемой семиотической КМ. Для построения временной логики используется следующая модель мира: число событий ограничено, если одно событие следует во времени за другим, то между событиями предполагается наличие причинно-следственной

связи. На основе последнего принципа предлагается перейти к системе множества прецедентов – описаний ЖЦ объектов, используемых в дальнейшем для автоматического построения временной логики. Предполагаем, что все возможные случаи поведения объекта во времени, т.е. ЖЦ нам известны. Все ЖЦ считаются достоверными, поскольку имели место в практике. Достоверные ЖЦ принимаются за аксиомы СМ. Событие описывается неявно. Любое изменение объекта происходит в фиксированный момент времени, время события определяется как время изменения модели объекта. Цель логического вывода есть некоторое реальное актуальное событие. Результат вывода – прогноз развития событий, сделанный исходя из ограниченного ряда возможных сценариев развития событий, т.е. ряда соответствующих аксиом. В случае, если формальный язык описания объекта включает в себя структурные и топологические свойства подобъектов, то практически нет никакой разницы к подходу в реализации пространственной логики – от временной. При наличии соответствующих топологических и структурных связей и свойств в модели объекта логика, сформированная описанным выше путем, изначально является пространственно-временной.

Прогнозные состояния объекта есть рекомендуемый порядок движения объектов в пространстве. Детально данная логика, описанная с позиций особенностей принятой КМ, представлена в работах [3-4]. *Достоинства* предложенного пути: возможность автоматического построения временной и пространственной логик, связывающих актуальные события с прогнозом развития событий. *Специфика* такого подхода: ограниченность возможных целей вывода, суженных рамками выявленных изменений в множестве ЖЦ, представляемых как единственно возможные. *Недостатки* такого пути состоят в усложнении описания объекта и идентификации событий. В частности, необходимы: 1) Явное формальное описание поведения объекта во времени, с явным указанием моментов времени и детальным описанием состояния объекта, включая его структуру и значение свойств; 2) Построение средств отслеживания событий в описаниях модели объекта в различные моменты времени, т.е. выявления изменений и их семантики (если структуры – то где и как, если свойств – то каких и как). Т.о., система приобретения знаний базы знаний должна самостоятельно выполнять такие действия: создавать классификацию событий; формировать продукции ПВЛ, т.е. определять модальности событий в посылке и выводе продукции, формировать логические связи типа «и», «или», «не» между событиями в посылке и выводе продукции.

Перечислим проблемы, возникающие при решении поставленной задачи:

1) Необходимо построение соответствующего формального языка для описания жизненных циклов поведения объектов.

2) Необходим соответствующий алгоритм обобщения для ЖЦ, представленных средствами данного формального языка, выполняющий классификацию событий и формирующий продукции с необходимыми модальностями и логическими связками. Проблема выявления событий требует решения задач: определение понятия события с точки зрения специфики подхода; определение возможных уровней абстрагирования от исходных ЖЦ при обобщении; определение возможных методов обобщения жизненных циклов; решение проблемы наличия или отсутствия того или иного момента времени в том или ином жизненном цикле относительно других жизненных циклов.

3) Необходимым представляется построение алгоритма процедуры вывода, обеспечивающей необходимый порядок вывода по заданной цели вывода и совокупности продукций, обеспечивая формирование необходимых прогнозов. В частности, необходимо определить средства организации вывода для двух альтернативных способов вывода - диалогового и пакетного способа задания целей вывода.

4) Необходимо решить вопрос, возможно ли построение подобной базы знаний не путем обучения, а путем прямого экспертного ввода. Поскольку возможность решения данной проблемы не вызывает сомнения, необходимо сформировать набор соответствующих средств для экспертного ввода базы знаний такого рода.

Целью дальнейшего изложения будет освещение способов решения перечисленных проблем, что позволит обеспечить классификацию предлагаемой ПВЛ, а так же определить ее конкретные достоинства и недостатки.

## **2. Средства формального описания жизненных циклов**

Сделаем краткий обзор положений предлагаемой КМ спецификой предлагаемой модели мира является *явное включение ЖЦ*, а так же *использование языка связей для описания моделей мира любого уровня абстракции*.

Собственно декомпозиция модели мира есть декомпозиция связей в условиях различных метрик, определяющих существование связей между блоками, исходя из близости блоков в пространстве некоторых координат.

Различные варианты декомпозиции связей порождают И-ИЛИ-дерево связей, позволяющее описывать различные модели мира, как прототипы. В этом случае связь может получить

дополнительный идентификатор – номер прототипа на данном уровне абстракции.

И-ИЛИ-дерево связей является основой для обобщения ЖЦ, а номера прототипов в этом случае являются основой «невных» [28] продукций, связывающих данные альтернативы в И-ИЛИ-дереве зависимостями принадлежности к одному контексту. Если подобное И-ИЛИ-дерево вводится не путем декомпозиции, а – экспертным путем, то в этом случае эксперт вводит «явные» [28] продукции, связывающие различные альтернативы отношения совместимости-несовместимости.

## **3. Решение задачи обобщения ЖЦ**

Основой процесса обобщения ЖЦ являются теоретико-множественные операции над списками связей. Детально алгоритмы выполнения теоретико-множественных операций над списками связей в условиях невяных продукций, т.е. с наличием признаков, описаны в [29,30]. В дальнейшем рассмотрим для примера задачу обобщения ЖЦ для случая невяных продукций, т.е. при наличии у связей признаков принадлежности – номеров прототипов некоторого уровня абстракции.

**3.1. Обобщение как метод построения базы знаний о множестве семантически правильных совокупностей – прототипов.** Рассмотрим метод обобщения альтернативных решений, полученных путем декомпозиции, в соответствующий модуль знаний [29,30]. Приведем пример обобщения связей на уровне 5, т.е. уровне простых свойств, далее, для простоты, именуемый как структурная модель. Пусть имеется множество прототипов, входящих в некоторый тип блоков  $A: A=(P_1 \vee P_2 \vee P_3)$ . (См. рис. 7). Каждая связь, имеющая место хотя бы в одном прототипе, получает свой оригинальный сквозной номер в пределах типа. Характеристика отдельных прототипов, входящих в тип  $A$ , как совокупностей связей показана в таблице 1. Результат выполнения теоретико-множественных операций над совокупностями «структурных» связей, образующими данные прототипы, показан на рис. 8. В скобках показаны номера прототипов, входящих в данную вершину, числами заданы номера связей, стрелками показан порядок декомпозиции узлов.

Тут: @j - часть внутренней среды прототипов; 1,2... - номера связей,  $\emptyset$  - пустое множество связей. При этом:  $P_1=@1\&@2$ ;  $P_2=@1\&@2\&@3$ ;  $P_3=@2\&@3$ ; @1=5; @2=1&2&3&4; @3=6&7&8&9&10. Преобразуем множество прототипов  $A$  к форме И-ИЛИ-дерева:  $A'=(P_1 \vee P_2 \vee P_3) = @2 \& N1$ ;  $N1=@1 \vee @3 \vee N2$ ;  $N2=@1\&@3$  (см. рис. 9) [31,32].

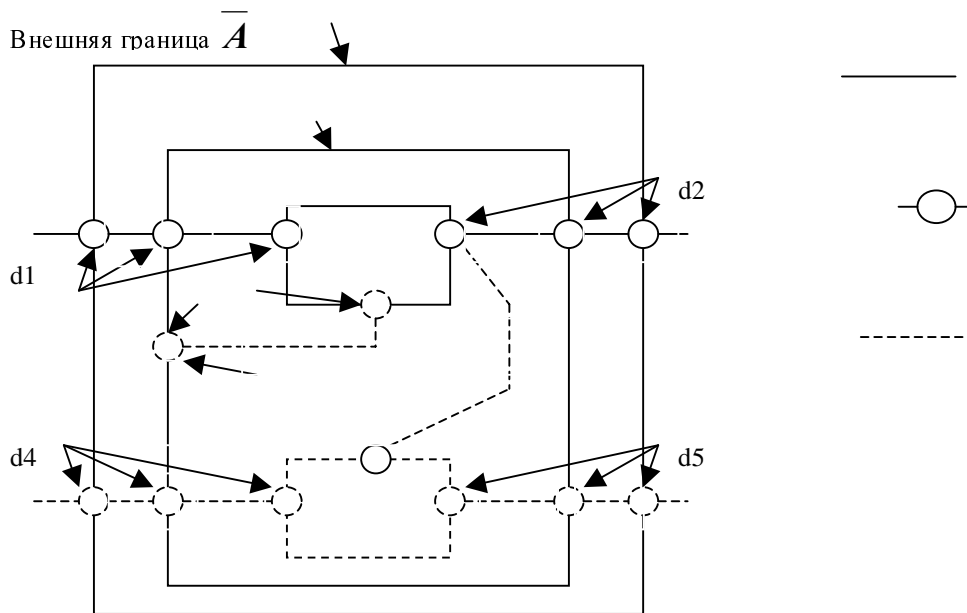


Рисунок 7 - Обобщенная схема блоков типа А

Таблица 1 - Описание множества связей в типе блока.

Номер связи	Описание связи	Системобр./ Факульт-я.	Принадлежность прототипам
1	$\overline{A} : d1 \leftrightarrow \underline{A} : d1$	С	1,2,3
2	$\overline{A} : d2 \leftrightarrow \underline{A} : d2$	С	1,2,3
3	$\underline{A} : d1 \leftrightarrow \overline{B} : d1$	С	1,2,3
4	$\underline{A} : d2 \leftrightarrow \overline{B} : d2$	С	1,2,3
5	$\underline{A} : d3 \leftrightarrow \overline{B} : d3$	Ф	1,2
6	$\overline{A} : d4 \leftrightarrow \underline{A} : d4$	Ф	2,3
7	$\overline{A} : d5 \leftrightarrow \underline{A} : d5$	Ф	2,3
8	$\underline{A} : d4 \leftrightarrow \overline{C} : d4$	Ф	2,3
9	$\underline{A} : d5 \leftrightarrow \overline{C} : d5$	Ф	2,3
10	$\overline{B} : d3 \leftrightarrow \overline{C} : d3$	Ф	2,3

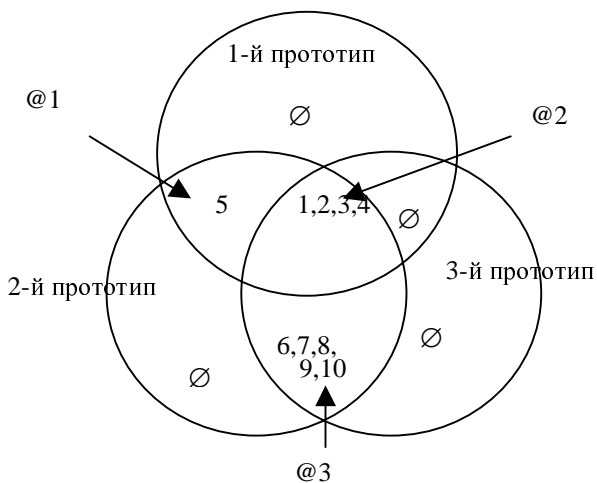


Рисунок 8 - Результат выполнения теоретико-множественных операций над совокупностями «структурных» связей, образующих прототипы

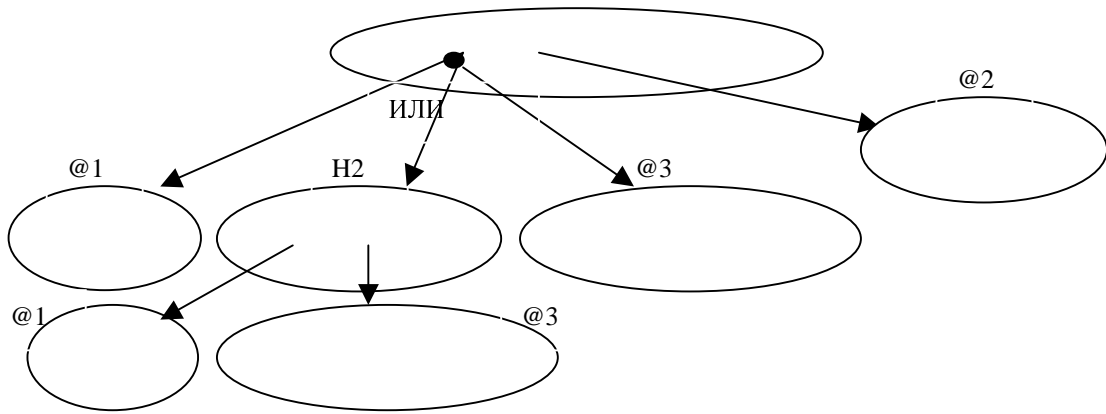


Рисунок 9 - Полученное И-ИЛИ-дерево связей

Номера прототипов в вершинах неявно задают производные зависимости для ИЛИ-узлов, используемые при выводе с целью синтеза (выбора) необходимых прототипов в САПР. Семантика зависимостей такова: «если в данном ИЛИ-синтерме (узле) удалить вариант (признак прототипов), включающий прототип К, то прототип К должен быть удален во всех прочих узлах». А может быть определен как идентификатор модуля знаний о структуре внутренней среды объектов типа А. Данное И-ИЛИ-дерево может рассматриваться как контекстно-свободная порождающая грамматика с рядом ограничений (отсутствие рекурсии и т.д. [33]), а соответствующие теоретико-множественные операции (ТМО) над деревьями – как ТМО над порождающими грамматиками [33-35].

**3.2. Общий алгоритм обобщения ЖЦ.** Рассмотрим применение описанного выше подхода для решения задачи обобщения ЖЦ на уровне значений свойств блоков, что соответствует ФЛУ САПР.

**3.2.1. Определение понятия «событие».** Событие рассматривается как отличие двух смежных сравниваемых пространств по составу связей. Например: изменение в составе структурных связей – событие трактуется как изменение структуры; изменение в составе связей значений свойств – событие есть изменение входа-выхода и т.д. Уровень изменяемой связи – это уровень события или тип события. Соответственно, можно различить появление или удаление связи на уровне модели времени, на уровне значений свойств и т.п. Изменение структуры модели на вышележащем уровне приводит фактически к изменению списков связей нижележащих уровней, группируемых вышележащей связью. Такое событие включает не единичное, а множественное изменение состава связей базового уровня. Исходя из специфики ФЛУ в САПР, будем рассматривать только простейший случай, когда состав связей на уровне структурной модели (уровне связей по свойствам, без определения их значений) фиксирован, т.е.

модель имеет фиксированную структуру, что позволяет однозначно идентифицировать номером все связи уровня значений типов данных внутри каждой структурной связи. В этом случае событие это – срабатывание входа-выхода, т.е. уничтожение-добавление связи на уровне значений свойств ФТ. В таких связях не рассматриваются пространственные координаты (ПК) – т.е. положение в пространстве данной ФТ относительно некоторой другой ФТ, например, центра осей координат (абсолютные координаты), либо относительно любой ФТ (относительные координаты).

**3.2.2. Общие подходы к обобщению списков связей.** Обобщению (сравнению) может подвергаться список связей вообще, без акцентирования принадлежности их к тому или иному блоку. Возможен и альтернативный вариант, когда связи обобщаются только по критерию принадлежности их к тому или иному блоку. В нашем случае мы используем второй вариант, что фактически означает неявное выделение модели функций базовых блоков, как результата обобщения внешних границ базовых блоков. Выделение функций позволяет абстрагироваться от конкретных ЖЦ, к которым относится тот или иной вариант состояния внешних границ базового блока. В этом случае процесс моделирования во времени выполняется по методу программирования в ограничениях, модифицированного к условиям табличного представления функций. Построение таких функций и соответствующий алгоритм вывода детально рассмотрено автором в [3].

**3.2.3. Определение возможных уровней абстрагирования от исходных ЖЦ при обобщении.** Будем понимать абстрагирование как отсутствие в составе набора фрагментов обобщенных ЖЦ информации о принадлежности того или иного фрагмента к конкретному ЖЦ. Либо в результате автоматического обобщения ЖЦ по тому или иному алгоритму обобщения, либо в результате прямого ввода могут быть сформированы И-ИЛИ-деревья, отличающиеся различными степенями абстрагирования

фрагментов (признаков) от исходных прототипов. Будем различать такие степени абстрагирования: полная абстракция, полное отсутствие абстракции, частичная абстракция. Поясним классификацию детальнее.

1) Полная абстракция, т.е. отсутствие в фрагментах информации о ЖЦ. При построении И-ИЛИ-дерева предполагается чисто грамматический подход, т.е.: любой фрагмент лишен информации о принадлежности его к прототипам; автоматическое обобщение выполняется в соответствии с подходами, принятыми в теории формальных грамматик. Построение таких БЗн допускает пути как автоматического обобщения ЖЦ так и прямого экспертного ввода грамматик. При синтезе по таким БЗн в техническом задании (ТЗ) нет возможности указать на принадлежность признаков к тем или иным прототипам, т.к. желаемые прототипы явно нигде не указываются.

2) Полное отсутствие абстракции. Предполагает усложнение грамматического подхода признаками, т.е.: любой фрагмент имеет информацию о принадлежности его к прототипам в форме списка номеров прототипов; обобщение выполняется в соответствии с подходами, принятыми в теории формальных грамматик, усложненными наличием списков признаков у термов и синтермов. Построение таких БЗн так же предполагает пути как автоматического обобщения ЖЦ так и прямого экспертного ввода грамматик. При синтезе по таким БЗн возможны следующие пути: А) В ТЗ не указывается принадлежность фрагментов к тем или иным прототипам, желаемые прототипы явно нигде не указываются; Б) В ТЗ явно указываются только желаемые прототипы; В) В ТЗ могут задаваться на различных этапах синтеза как фрагменты (как признаки прототипов), так и желаемые прототипы. Т.е. обеспечивается максимально гибкий порядок синтеза решений. *Примечание:* данный гибкий путь ранее уже описан автором в статье [36].

3) Частичная абстракция. Предполагает неполное соответствие «признаки (фрагменты)– прототипы», т.е.: любой признак может иметь, а может и не иметь информацию о принадлежности его к прототипам в форме списка номеров прототипов; обобщение выполняется в соответствии с подходами, принятыми в теории формальных грамматик, усложненными наличием неполных (частичных) списков признаков у термов и синтермов. Построение таких БЗн путем автоматического обобщения затруднено и подразумевает наиболее вероятным прямой экспертный ввод грамматик с частичным указанием связей признаков с прототипами. Прямой экспертный ввод предполагает наличие возможных противоречий между признаками и их прототипами, что может негативно отразиться на

процессе вывода. При синтезе по таким БЗн возможны следующие пути: А) В ТЗ не указывается принадлежность признаков к тем или иным прототипам, желаемые прототипы явно нигде не указываются; Б) В ТЗ явно указываются только желаемые прототипы; В) В ТЗ могут задаваться на различных этапах синтеза как признаки, так и желаемые прототипы. Т.е. путь частичной абстракции повторяет возможности полной отсутствию абстракции, но более ограничен, т.к. пользователь не всегда может перейти от признаков к прототипам, если это необходимо. В работах [28-30] детально рассмотрен алгоритм ТМО, т.е. обобщения прототипов в случае отсутствия абстракции, т.е. наличия списков прототипов у символов И-ИЛИ-дерева, а в работах [34,35] - алгоритм ТМО, т.е. обобщения прототипов в случае полной абстракции, т.е. отсутствия списков прототипов у символов И-ИЛИ-дерева.

**3.2.4. Отличие методов автоматического обобщения ЖЦ по направлениям обобщения.** Рассмотрим пути автоматического обобщения ЖЦ. Будем различать такие методы обобщения ЖЦ, отличающиеся отношением к направлению оси времени в ЖЦ и к порядку нумерации ЖЦ: обобщение по горизонтали, обобщение по вертикали, смешанное обобщение.

1) *Обобщение по горизонтали.* Предполагает обобщение пространств-состояний для одного ЖЦ, выполняемое по ходу (т.е. по оси) времени. Фактически обобщается ряд текстов, описывающих структуру объекта в последовательные моменты времени (рис. 10). Обобщение по горизонтали фактически задает обобщенную временную модель структуры единичного объекта. На выходе процесса обобщения формируется один модуль знаний, представленный как И-ИЛИ-дерево, с определенными над ним неявными продукциями. Данный модуль может рассматриваться как формальная модель, включая сигнатуру, аксиоматику, грамматику и правила вывода. В этом случае особенности или отличия, выявляемые при обобщении данного конкретного ЖЦ, связаны с идентификаторами пространств для различных моментов времени, рассматриваемых как прототипы. Особенности могут быть отнесены либо к чисто структурным уровням, либо к уровню значений свойств. При этом конкретное отличие, имеющееся в И-ИЛИ-дереве, задает признаки желаемого положения на ЖЦ, т.е. характеризует требуемый момент времени (ближайший от начала, где выполнены все условия). Но эти условия не есть события, т.к. события – это отличие двух смежных по времени моделей пространств. В данном же случае рассматриваются отличия не от предыдущего момента времени, а отличие пространства от всех прочих моментов времени.

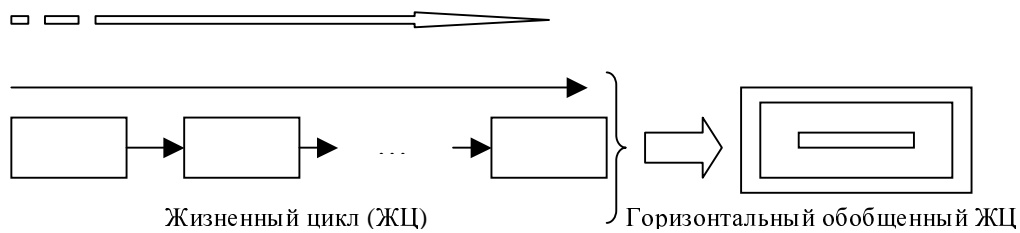


Рисунок 10 – Горизонтальное обобщение ЖЦ

Такая особенность вносится спецификой алгоритма обобщения текстов, т.е. их склеивания. В случае синтеза ТЗ может задавать конкретные особенности желаемого состояния объекта во времени. Результат синтеза в этом случае есть конкретный момент времени, соответствующий состоянию объекта, интересующего нас. Например: А) конкретное состояние в истории функционирования объекта, характеризующееся требуемым набором признаков; Б) уровень представления или форма представления модели, больше подходящее для визуализации и его дальнейшего понимания или изучения (если в ЖЦ имеется ряд моделей разной сложности, задающие этапы развития объекта).

2) *Обобщение по вертикали.* Предполагает обобщение состояний многочисленных ЖЦ одного и того же технического объекта, при этом каждый ЖЦ привязан к различным условиям функционирования объекта. Обобщение выполняется поперечно ходу (оси) времени, т.е. по отдельным состояниям в различные моменты времени. Обобщение по вертикали фактически задает обобщенную *модель поведения* единичного объекта в различных условиях среды. В результате такого обобщения получается ряд модулей знаний. Фактически на выходе процесса обобщения формируется ряд особенностей структур, отнесенных к различным ЖЦ в различные моменты времени (рис. 11).

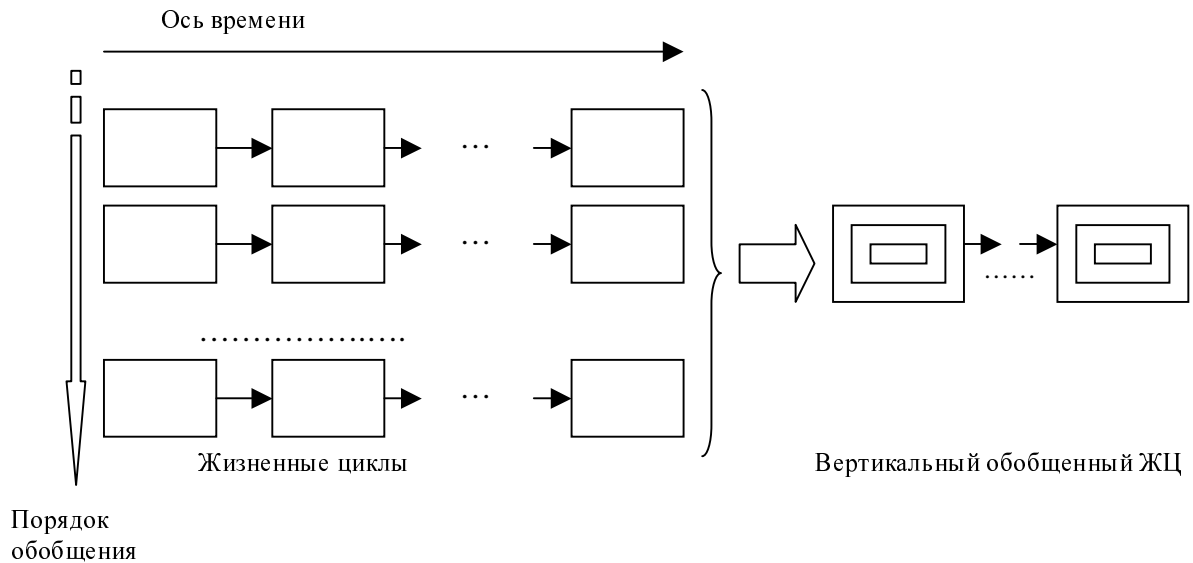


Рисунок 11 – Вертикальное обобщение ЖЦ

Результатом синтеза в этом случае является выбор конкретных ЖЦ объекта, интересующие нас. Например: А) алгоритм поведения (траектория) объекта в данной ситуации (т.е. при заданных предыстории поведения и текущем состоянии, взятом из ТЗ); возможная частная задача синтеза - проверка существования траектории движения объекта при данных требованиях; Б) готовый объект как итог процесса проектирования в соответствии с требованиями ТЗ, распределенными по всему процессу проектирования.

любом порядке, например: сначала горизонтальное обобщение, затем вертикальное; сначала вертикальное обобщение, затем горизонтальное. Такое обобщение может быть названо смешанным обобщением. На рис. 12 показано смешанное обобщение по типу «сначала горизонтальное, затем вертикальное». Смешанное обобщение фактически создает обобщенную *модель структуры* объекта для различных *моделей поведения* объекта. На выходе процесса обобщения формируется ряд особенностей структур, совмещенных с различными моментами времени и различными ЖЦ.

3) *Обобщение по вертикали и по горизонтали.* Предполагает обобщение множества состояний для множества ЖЦ, выполняемое в

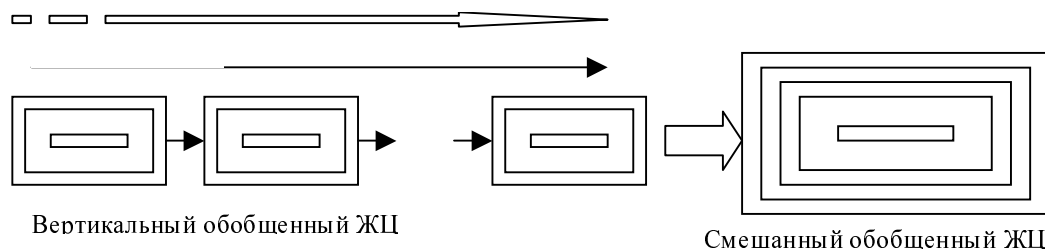


Рисунок 12 – Смешанное обобщение ЖЦ

Фактически, на выходе мы строим одну формальную модель, заданную как модуль знаний. Результатом синтеза в этом случае может быть либо выбор конкретных ЖЦ объекта, интересующих нас, либо выбор конкретного состояния объекта во времени. Т.о., данный случай включает в себя возможности обобщения как по горизонтали, так и по вертикали.

*Примечание.* Рассмотренные выше случаи абстракции и способы обобщения ЖЦ используют «невяные» продукции.

#### 4. Построение алгоритма процедуры вывода

С формально-логической точки зрения организация вывода в предлагаемой ПВЛ осуществляет процедура П4 семиотической модели пространства-времени. Опишем специфику процедуры вывода в ПВЛ в условиях различных уровней абстракции и различных способов обобщения ЖЦ.

**4.1. Общие принципы организации логического вывода в условиях специфики КМ.** Специфика САПР, определяющая особенности предлагаемой ПВЛ, состоит в том, что данная ПВЛ реализуется в рамках модифицированной теории сложности систем управления (ТС САУ) [37], определяющей модель САПР решения типичных задач проектировании. Любой модуль знаний, построенный путем обобщения или прямым вводом, с точки зрения ТС САУ представляет собой целевое пространство систем (ЦПС), т.е. множество типичных решений. Отдельный прототип в этом случае – это возможный путь развития событий в пространстве и времени, определенный в ЖЦ. В качестве технического задания рассматриваются события, произошедшие в прошлом, а так же желаемые события в будущем, задаваемые пользователем при синтезе. Пространство обликов систем (ПОС), т.е. множество возможных технических заданий, определяется как множество сложных слов в некотором алфавите простейших требований. Наличие или отсутствие формального языка ТЗ, а так же наличие или отсутствие параллельного с ЦПС модуля знаний для ПОС, связанного отношением реализуемости с модулем знаний ЦПС, предполагает различные алгоритмы процедуры вывода. Будем придерживаться в дальнейшем изложении простейшего варианта ПОС – «ПОС над ЦПС», детально описанного ранее в [36]. В этом случае набор альтернатив всех ИЛИ-

узлов ЦПС и составляет простейший алфавит требований ПОС. Соответственно, сложные слова ПОС – это комбинации альтернатив из ИЛИ-узлов ЦПС. Собственно алгоритм управления процессом вывода, независимо от режима вывода – пакетного или диалогового, есть процедура П4 для семиотической модели объекта, полученной путем обобщения формальных текстов моделей, описывающих совокупность ЖЦ объекта. С точки зрения ТС САУ временная логика – это обеспечение реализуемости, т.е. выводимости в ТС САУ. Критерий сложности вывода, т.е. метод оптимизации вывода, состоит в выборе наиболее простого (вероятного) пути развития событий. Рассмотрим специфику диалогового и пакетного вариантов вывода.

**4.1.1. Диалоговый вариант вывода.** Факты, задаваемые пользователем в диалоге как цель вывода, принадлежат совокупности признаков того или иного события, ранее автоматически выделенных системой обучения при обобщении ЖЦ. Цель вывода может рассматриваться как совокупность необходимых изменений объекта в различные моменты времени. Специфика диалога состоит в том, что данные изменения вводятся последовательно, путем диалоговых шагов. Порядок формирования множества продукции различается для случаев построения базы знаний путем обучения и прямым экспертным вводом. В случае построения базы знаний путем обучения каждый признак обладает списком идентификаторов ЖЦ, которым данный признак соответствует. При отказе пользователя от данного признака происходит срабатывание «невяных» продукции. Оно состоит в очистке всех возможных признаков от идентификаторов тех ЖЦ, от которых пользователь фактически отказался. Возможен случай «выброса» признака, за которым уже нет никаких ЖЦ, и даже останов вывода по неуспеху, если список ЖЦ данного вопроса оказался пуст. Процесс вывода является в этом случае монотонным. Вывод как результат работы единичной продукции в данном случае есть прогноз событий, исходя из признака, определенного пользователем в некоторый момент времени (или интервал моментов времени). Совокупность продукции формируется автоматически по набору фактов, которые подтвердил или опроверг пользователь для некоторого момента времени, сформировав тем самым ряд посылок для продукции. В случае построения базы знаний экспертным путем предполагается, что



пользователь для каждой пары вопросов потенциально в ПОС вводит «явные» продукции, задающие совместимость или несовместимость вариантов ответов. Соответственно, после ответа на данный вопрос, т.е. сужения альтернатив в некотором ИЛИ-узле, срабатывают явные пользовательские продукции, сужающие число возможных вариантов-ответов в прочих вопросах. Процесс вывода в этом случае так же является монотонным. И в том и другом случае срабатывание продукции, инициируемых вводом условий, производится в произвольном порядке и заканчивается после окончания всех возможных изменений (сужения числа) в составе ЖЦ. В описанном выше процессе вывода, реализующем временную логику, набор ответов пользователя фактически задает эталонные входные или выходные тестовые последовательности, т.е. условия, налагаемые на некоторые динамические параметры модели в процессе моделирования. Т.о., данные условия есть часть ТЗ, налагаемого пользователем на проектируемый объект и проверяемого в процессе моделирования. Т.о.,

временная логика может иметь чисто утилитарное назначение – обеспечить тестирование моделей проектируемых объектов.

**4.1.2. Пакетный вариант вывода.** Факты, задаваемые пользователем в случае пакетного вывода случае как цель вывода, есть фрагменты формального описания объекта в текущий момент времени, характеризующие, с точки зрения пользователя, то или иное событие. Требуют выполнения ТМО над модулем знаний и фактом, вводимым пользователем, с целью сужения модуля знаний до требований ТЗ.

**4.2. Общие методы построения процедуры П4.** Процедура П4 строится как отражение модели САПР решения типичных задач проектирования, заданной в теории сложности САУ [37]. Формулировка задачи вывода для процедуры П4 СМ: проверить, принадлежит ли данное синтаксически правильное выражение, заданное в ТЗ - техническом задании (желаемый прототип), к множеству семантически правильных выражений (имеющиеся прототипы). См. рис. 13.

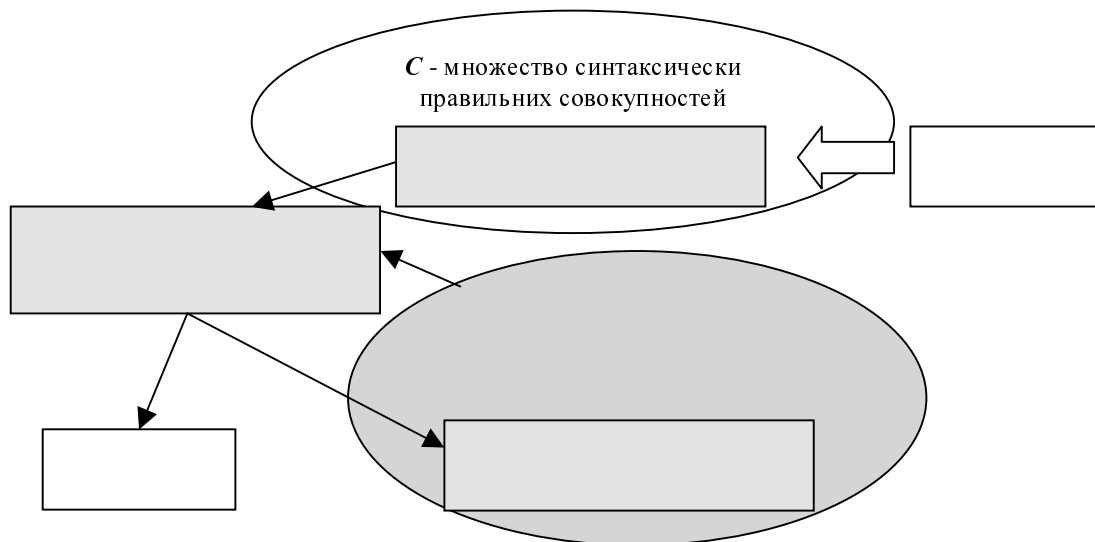


Рисунок 13 – Роль процедуры П4 в СМ САПР

Ввод времени и пространства в семиотическую модель мира делает вывод в процедуре П4 выводом в пространстве и времени. Рассмотрим для примера способ построения модулей знаний и метод организации вывода вывод в случае, если функции, абстрагированные от ЖЦ, явно не выделяются. В этом случае функция задаются неявно – как набор продукции, связывающих в рамках обобщенных ЖЦ значения на границе данного блока между собой в данном пространстве, а так же с его же значениями, но в будущих пространствах. Детально рассмотрим процедуру П4 для случая смешанного обобщения ЖЦ [3,4] в условиях частичной абстракции. Особенности подхода:

- горизонтальное обобщение внешних границ для всех неподвижных ПТ всех пространств (модули знаний – аналоги функций);

- вертикальное обобщение для всех отдельных пространств (модуль знаний – обобщенное пространство).

*Дано:* 1) ТЗ - часть значений внешней границы некоторых ПТ  $X'_{ij}$  для ряда  $T_j$ :  $X'_{ij} = \{ X'_{ij}{}^m \}_{m=1}^{M'ij}$ , но собственно искомые прототипы - неизвестны; 2) Куча – совокупность обобщенных по временной оси внешних границ всех ПТ  $X_{ij} = \{ X_{ij}{}^m \}_{m=1}^{Mij}$ , при том, что верно  $X_{ij}{}^m \rightarrow \{ \Pi_i^1, \dots, \Pi_i^{Ki}, Nil \}$ , т.е. имеется частичное соответствие - «границы пространственных точек (ПТ) ↔ состояния пространств».

*Найти:* все прочие  $X_{ij}$ .

*Описание алгоритма процедуры П4.*

1) Делаем текущим  $T_j$  начальное время  $T_1$  ;

- 2) Выбираем один из  $X'_{ij}$  для данного  $T_j$ ;
- 3) Выполняем пересечение  $X'_{ij}$  и  $X_{ij}$  по множеству  $\{X_{ij}^m\}$ . Если пересечение пусто - выход по неудаче, если иначе - идем на 4;
- 4) Сужаем  $X_{ij}$  на дополнение к  $X'_{ij}$ , т.е. удаляем из  $X_{ij}$  неиспользуемые  $\{X_{ij}^m\}$ , а так же формируем список удаляемых состояний пространств  $\Pi_i^k$  (траекторий-прототипов  $P^k$ );
- 5) Удаляем для данного  $T_j$  из всех прочих  $\{X_{ij}^m\}_{m=1}^{Mij}$  удаленные ранее состояния (прототипы), пустые  $X_{ij}^m$  - не удаляются; затем последовательно проделываем то же самое для всех  $X_{ij}^m$  из  $T_{j+1}$ ,  $T_{j+2}$  и т.д. до  $T_N$ ;
- 6) Переходим на 7 по просмотру всех  $\{X_{ij}\}$  в  $T_j$ , иначе идем на 2;
- 7) Выбираем множество продукций - связей  $L_{ij} = \{l_{ij}^k\}_{k=1}^{Kij}$  для данного  $X_{ij}$  со всеми  $\{X_{ij}^m\}_{m=1}^{Mij}$  в данном  $T_j$ , а так же множества связей со всеми  $\{X_{ij}^m\}_{m=1}^{Mij}$  в пространствах  $T_{j+1}$ ,  $T_{j+2}$  и т.д. до  $T_N$ ;
- 8) Выполняем потоковый алгоритм Нариньяни [13] на множестве полученных связей, при том, что множество отношений интерпретации задано множеством границ; т.е.:
  - 8.1) выбираем одну из связей  $l_{ij}^k$  и обрабатываем ее, т.е. сужаем множество границ смежной по связи ПТ  $X_{i',j} = \{M_{i',j}^k\}_{k'=1}^{K'ij}$  в данном  $T_j$ ;
  - 8.2) переопределяем по связям  $X_{i',j}$  множество возможных значений свойств у связанных с ней ПТ и т.д. во всех пространствах вплоть до окончания списка иницированных связей. (Примечание: потоковый алгоритм Нариньяни предполагает конечное число шагов [13]);
- 9) Если область определения любого свойства любой ПТ оказалась пуста, то выход по неудаче, иначе - идти на 10;
- 10) Если обнаружен конец списка  $\{X'_{ij}\}$  - то идти на 11, иначе - возврат на 2;
- 11) При  $T_j = T_N$  - переход на 12; иначе - переход к  $X_{ij}^m$ , часть  $X_{ij}$  которого уже определена на предшествующих шагах и далее переход на 2;
- 12) Если хотя бы один  $X_{ij}^m$ , из оставшихся не удаленными, оказался пуст - то вводим новую идентификацию для данного нового прототипа и новых состояний в каждом  $T_j$  и запоминанием их;
- 13) Конец алгоритма по успеху.

В работах [3,4] более детально описаны алгоритмы вывода для всех трех различных случаев абстракции. В работе [3] детально рассмотрен

порядок построения табличных функций, удовлетворяющих требованиям потокового алгоритма Нариньяни для случаев различной абстракции. Предлагаемый подход позволяет повысить эффективность процесса вывода.

## 5. Модальности и логические связки в продукциях

Рассмотрим формирование продукций ПВЛ с необходимыми модальностями и логическими связками в явных и неявных продукциях.

**5.1. Модальности и логические связки в неявных продукциях.** Рассмотрим возможные модальности и логические связки, автоматически формируемые в посылах продукций. Будем рассматривать модальности по совместимости отличий (альтернатив в ИЛИ синтермах) данного модуля знаний в ЦПС как по отношению к ТЗ, так и между собой. Различные случаи совместимости трактуются так:

1) «возможно» (в выводе), если отличие в данном пространстве совместимо (не противоречит) с некоторыми возможными отличиями в другом пространстве; например:

- если для данного момента времени при формировании цели вывода из ряда предложенных системой возможных признаков событий (изменений) конечный пользователь не смог сузить их число до одного, то каждое оставшееся событие считается одинаково возможным и получает модальность «возможно», а признаки объединяются логической связкой «ИЛИ»;

2) «не возможно» (в выводе), если отличие в данном пространстве не совместимо с некоторыми возможными отличиями в другом пространстве.

3) «необходимо» (в посылке или выводе) используется, если отличие в данном пространстве (модуле знаний) соответствует требованиям ТЗ; например:

- если конечный пользователь сузил число вариантов до одного, то он получает модальность «необходимо»;

5) «не необходимо» (в посылке или выводе), если отличие в данном пространстве не соответствует ТЗ, т.е. противоречит ему; например:

- если ряд предложенных вариантов не подходит пользователю, то все они получают модальность «необходимо» с логической связкой «НЕ»;

- аналогично делается со всеми вариантами в любом вопросе, не подошедшими пользователю, не зависимо от того, отыскал ли он удовлетворяющие его варианты или нет;

5) если конечному пользователю предлагается два или более вопроса, касающиеся одного и того же момента времени, то соответствующие ответы объединяются логической связкой «И»; аналогично происходит и с рядом вопросов, связанных с различными моментами времени.

Рассмотрим для примера интерпретацию явных или неявных продукций правилами,

построенными на основе общепринятых модальностей возможности ( $\diamond$ ) и необходимости ( $\square$ ), связывающих события «в прошлом», «в настоящем» и «в будущем». Так, первое правило вывода обеспечивает замену совокупности возможных альтернатив в ИЛИ-синтермах модуля знаний ЦПС только на необходимые альтернативы в случае их совпадения с элементами технического задания:

$$(\diamond a_i^T(P_l) \in A^T(P_l)) \rightarrow \square a_i^T(P_l),$$

где:  $a_i^T$  - некоторая альтернатива, рассмотренная на шаге  $T$ ;

$A^T$  - подмножество семантически верных альтернатив, вошедших в техническое задание;

$(P_l)$  - номер пространства на временной оси, т.е. идентификатор модуля знаний.

Возможные альтернативы могут принадлежать одному из «не просмотренных» ИЛИ-синтермов в случае выбора данного синтерма как следующего шага вывода. Фиксация возможности перехода от подмножества необходимых альтернативы, определенных на текущем шаге диалога, к следующему ИЛИ-узлу того же модуля знаний ЦПС, т.е. к множеству возможных альтернатив для вопроса, предлагаемого на следующем шаге диалога, может быть задана продукцией:

$$\square a_i^T(P_l) \rightarrow \{ \diamond a_j^{T+1}(P_l) \},$$

где:  $a_i^T$  - некоторая альтернатива, выбранная по техническому заданию на шаге  $T$ ;

$a_j^{T+1}$  - подмножество альтернатив, предлагаемых пользователю для выбора на шаге  $T+1$ .

«Выпадение» альтернатив из «просмотренных» и «не просмотренных» ИЛИ-синтермов, принадлежащих как данному пространству, так и ко всем прочим пространствам, описывается продукцией:

$$\square a_i^T(P_l) \rightarrow \&\{ \neg \square a_j^T(P_l) \}_{j \in J}$$

и т.д. Аналогично, могут быть введены модальности «в прошлом», «в будущем» и т.п.

## 5.2. Модальности и логические связи в явных продукциях.

Рассмотрим возможные модальности и логические связи, формируемые экспертом в явных продукциях. «Явные» продукции, определяемые над И-ИЛИ-деревом прямым экспертным вводом, имеют семантику правил вывода во временных логиках. Данные продукции определяют совместимость или несовместимость тех или иных групп альтернатив в различных ИЛИ-узлах, принадлежащих как одному пространству, так и к различным пространствам. Явно указанная несовместимость альтернатив требует удаления из рассмотрения в различных ИЛИ-узлах тех альтернатив, которые не совместимы с альтернативой, соответствующей требованиям ТЗ. Явно указанная совместимость допускает совместное существование других альтернатив

только с альтернативой, выбранной по ТЗ, так же не допуская существование других альтернатив. Явные продукции, связывающие различные синтермы в различные моменты времени, могут делиться по степени общности, что соответствует классификации неопределенности данных в И-программировании Нариньяни [20]. Учитывая дискретный вариант модели времени, можно сказать, что в данном случае фактически используется один класс неопределенности данных – перечисление, т.е. множество точек. Однако для дискретного множества точек имеют смысл и полная классификация неопределенности данных, т.е. интервалы точек, полуинтервалы и т.д. Например, продукция может описывать зависимости:

1) Между двумя отдельными моментами времени: в текущем модуле (момente времени); между текущим временем и временем на шаг назад, на два шага назад (и т.д.), на шаг вперед, на два шага вперед (и т.д.);

2) Между одним моментом времени и некоторым подмножеством моментов времени на временной оси, используя: полуинтервалы, например, «все в прошлом», «все в будущем», «не ранее такого-то времени», «не позже такого-то времени»; интервал - в данном интервале значений времени; перечисление - в данном наборе значений времени.

3) Между одним подмножеством моментов времени и - некоторым другим подмножеством моментов времени на временной оси. Возможные комбинации: полуинтервалы - интервалы; полуинтервалы - перечисление; интервалы - перечисление.

Такая классификация продукций позволяет строить ряд стандартных временных или пространственных модальностей: «в прошлом», «было», «сзади» и т.д. Логические связи «и», «или», «не» явно используются экспертом при формировании продукций как в посылке, так и в выводе продукций.

## 6. Пример применения предлагаемого подхода

Рассмотрим в качестве примера ПВЛ, определенную на уровне модельных событий, связанных с изменением состава связей между значениями свойств блоков. Семантически данный уровень КМ соответствует уровню функционально-логического моделирования в САПР. Данный уровень характеризуется статической структурой объекта, дискретным набором значений сигналов и дискретным же набором значений модельного времени (равноотстоящие моменты времени – синхронное моделирование, не равноотстоящие – асинхронное моделирование). Будем рассматривать для примера двузначное синхронное моделирование. Пусть дано множество ЖЦ работы логической схемы 2-ИЛИ, имеющей вид блока  $Y(X1, X2)$ . Будем считать, что размер каждого ЖЦ ограничивается двумя последовательными

моментами времени. Т.о., каждый ЖЦ включает два пространства - «старое» и «новое». Рассмотрим вариант задания модели объекта путем прямой экспертной декомпозицией. В этом случае ЖЦ как модель объекта строится путем последовательной декомпозиции связей различных уровней модельного представления. При этом «старое» и «новое» пространство ЖЦ будут отличаться

составом базовых связей, а фактически - составом значений входов и выходов базовых блоков. Результирующая модель объекта, соответствующая некоторому единичному пространству на любом допуском нами ЖЦ, примет вид, показанный на рис. 14.

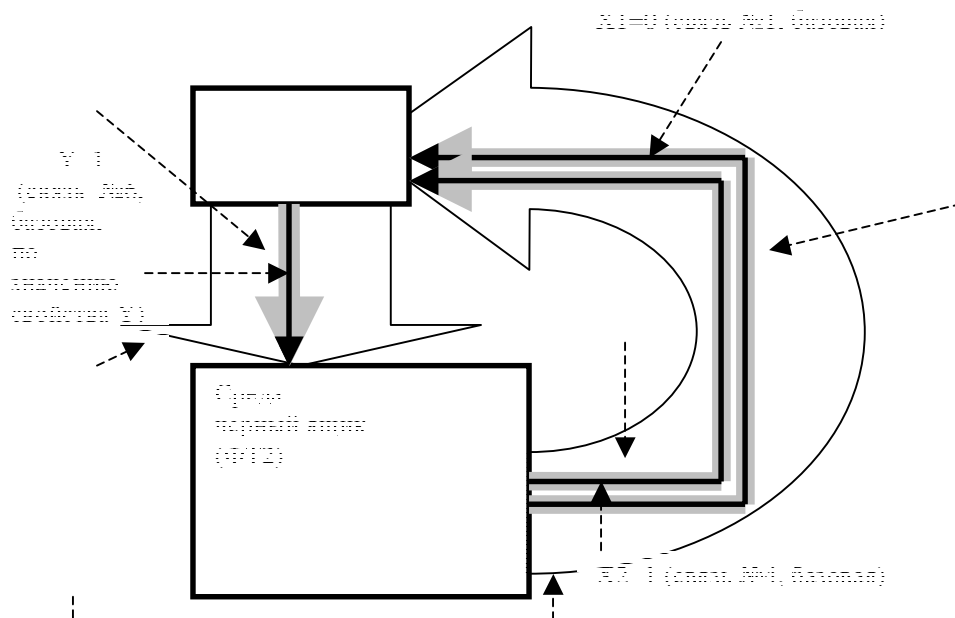


Рисунок 14 – Пример модели единичного пространства на ЖЦ объекта

На рис. 14 показаны только внутренние связи пространств и среди них - три базовые связи, относящихся к уровню значений свойств. Для простоты изложения не показаны: 1) рефлексивная связь модели «мира»; 2) связи между пространствами, соответствующими различным моментам времени; 3) блоки пространства «внутренняя граница» и «черный» блок, задающий неопределенность в составе пространства и т.д. Предполагается, что все ЖЦ достоверны. В табл. 2 показано некоторое возможное подмножество достоверных ЖЦ. При этом цветом выделены значения данных, изменившие свое значение по

отношению к предыдущему модельному пространству. Полная идентификация (нумерация) базовых связей в пределах всех имеющих пространств представлена в табл. 3. На рис. 15 показано И-ИЛИ-дерево, полученное в результате «горизонтального» обобщения ЦЖ с номером «1». В этом случае прототипами являются пространства, соответствующие различным моментам времени на обобщаемом ЖЦ. Над И-ИЛИ-деревом определены неявные продукции, задающие логику работы со списками номеров прототипов у всех термов и синтермов И-ИЛИ-дерева при возможном сужении числа альтернатив в ИЛИ-узлах дерева.

Таблица 2 – Обобщаемые достоверные ЖЦ объекта

Номер ЖЦ	Этапы ЖЦ							
	Старое состояние				Новое состояние			
	Идентификатор пространства	Вход X1	Вход X2	Выход Y	Идентификатор пространства	Вход X1	Вход X2	Выход Y
0	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0
1	1	0	<b>0</b>	1	0	0	0	<b>0</b>
2	2	0	<b>1</b>	0	6	0	1	<b>1</b>
3	3	<b>0</b>	1	1	6	0	1	1
4	4	<b>1</b>	0	0	5	1	0	<b>1</b>
5	5	1	<b>0</b>	1	5	1	0	1
6	6	<b>1</b>	<b>1</b>	0	7	1	1	<b>1</b>
7	7	<b>1</b>	1	1	7	1	1	1

Таблица 3 – Идентификация связей базового уровня.

Номер связи	1	2	3	4	5	6
-------------	---	---	---	---	---	---

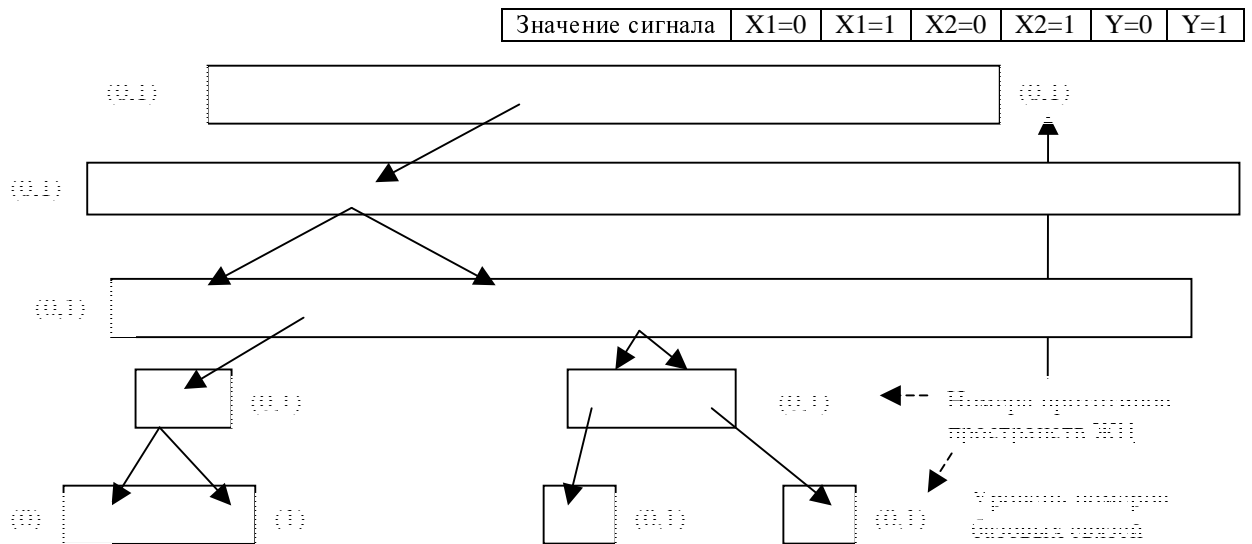


Рисунок 15 – И-ИЛИ-дерево, как результат «горизонтального» обобщения ЦЖ номер 1

Так, например, сужение по требованию ТЗ множества альтернатив ИЛИ-узла «Y» до одной альтернативы, например, до базовой связи «0», приводит к выбрасыванию из списков прототипов всех узлов И-ИЛИ-дерева прототипа «1», от которого мы неявно отказались своим выбором. Фактически это означает, что условия выбора требуют перемещения на данном ЖЦ в пространство «0». В случае «вертикального» обобщения ЖЦ в условиях нашего примера будут сформированы два модуля знаний («старый» и «новый») аналогичного вида с тем отличием, что идентификатор прототипа является уже идентификатор ЖЦ. Данные модули знаний связаны неявными продукциями аналогичного типа. Такие продукции являются уже средством задания временной логики. Так, выбор одной из альтернатив у ИЛИ-узла «Y» в «старом» пространстве может привести к удалению одной из альтернатив у ИЛИ-узла «X1» в «новом» пространстве, если список прототипов данной альтернативы оказался пуст. Т.о. налицо продукции типа правил вывода во временных логиках.

### 7. Анализ эффективности предложенного решения

Исследуем эффективность предложенной КМ в области построения ПВЛ, как средства организации вывода на ФЛУ, выполняемого с учетом модели времени и пространства.

**7.1. Сравнительный анализ эффективности предлагаемого подхода как ПВЛ.** Предлагаемый метод организации логического вывода на обобщенных ЖЦ не может быть классифицирован как обычная ПВЛ. Однако, ее возможности соответствуют возможностям типичной ПВЛ, что позволяет сравнить их между собой. Выполним вначале анализ предлагаемой логики по способу представления временных зависимостей. Логика может быть отнесена: 1) К логикам моделирования изменений, т.к. используется аппарат выделения

отличий в текстах описания состояния объектов в тот или иной модельный момент времени; 2) К логикам явного моделирования времени, т.к. в модели объекта моделирования, представленной как ЖЦ цикл объекта, имеется явно введенная абсолютная шкала времени. Рассмотрим более детально классификацию предлагаемой логики относительно различных подклассов логик. 1) *Псевдофизические логики.* Предлагаемая ПВЛ явно ориентирована на отражения физических процессов в силу выбранной предметной области – САПР. Решает все три типа задач, решаемых в ПФЛ. Является, в какой-то мере, более ориентированной на физику, чем прочие ПВЛ. 2) *Ситуационное управление.* Предлагаемый подход может быть отнесен к разряду ПВЛ, моделирующих изменения, т.к. рассматривает в ЖЦ ряд мгновенных состояний объекта. Подход может быть охарактеризован как развитие наследия Поспелова Д.А., включая семиотическую концептуальную модель предметной области и метод ситуационного управления. Собственно ПВЛ можно трактовать как развитие ситуационного управления. Например, явные и неявные продукции могут трактоваться как предикат HOLD в ситуационном управлении, а оператор Result - как диалоговый выбор альтернативы на данном шаге диалога синтеза требуемого ЖЦ. 3) *Интервальные логики (Алена, Нариньяни и т.д.)* Обобщенные явные продукции позволяют работать с отдельными моментами времени, интервалами моментов времени, полуинтервалами. Т.е., данные продукции используют классификация неопределенностей для времени по Нариньяни. 4) *Модальные временные логики.* Отношения между событиями на временной оси в пределах множества обобщенных ЖЦ объекта, могут задаваться как модальные, например: модальность «необходимо» задает события, характеризующие как начальное состояние объекта (с учетом событий в прошлом), желаемые для пользователя как в текущий момент, так – и в будущем; модальность «возможно» задает

события, совместимые с необходимыми событиями и лежащие в любом месте на временной оси ЖЦ. 5) *Ветвящаяся модель времени Еремеева*. Точки ветвления времени в данном случае - это альтернативы развития событий в множестве обобщенных ЖЦ. Одно событие, определенное в начальный момент времени, даже если оно однозначно определяет модель начального пространства, представляет собой общий фрагмент для некоторого подмножества альтернативных ЖЦ, имеющих общее начальное пространство. Аналогичные ветвления возможны и в других точках времени. Т.о., имеет место аналогия с ветвящейся моделью времени Еремеева. Однако, такая аналогия появляется только в том случае, если ЖЦ обобщаются от начала к концу. При этом каждая точка времени – предполагает только одно событие (ИЛИ-узел). Если ЖЦ обобщаются от начала к концу, то при линейном переборе ИЛИ-синтермов (сверху-вниз, слева-направо) в процессе вывода возникает аналогия с ветвящейся моделью времени Еремеева. При другом способе обобщения ЖЦ аналогия не возникает. Следовательно, предлагаемый подход более общий, чем вариант временной логики Еремеева. Главные отличия данной ПВЛ, являющиеся достоинствами:

1) Автоматическое формирование системы правил вывода и набора аксиом логики как результата обобщения множества ЖЦ объекта проектирования (формирование неявных продукций): автоматическое выделение событий как изменения состояний объекта в смежных моментах времени; автоматическое связывание событий продукциями типа «возможно», «не возможно», «необходимо», «не совместимо».

2) Экспертный ввод системы правил вывода (и набора аксиом) логики как результата прямого ввода грамматик состояния объекта в различные моменты времени (в случае формирования набора явных продукций на наборе грамматик – моментов времени), что включает: экспертное задание событий как отличий в И-ИЛИ-деревьях для смежных моментов времени; связывание событий продукциями типа «не возможно», «не совместимо» и т.д.;

3) Трандуктивный (т.е. – вывод «от частного – к частному») [14] вывод между событиями в различные моменты времени на временной оси, если рассматривать события на одном уровне связей. Если события определены на разных уровнях, то вывод может быть по характеру как индуктивный, так и дедуктивный;

4) Процедура обеспечения логического вывода в предлагаемой ПВЛ есть процедура П4 семиотической КМ. Данная процедура обеспечивает проверку заданного синтаксически верного выражения на семантическую правильность путем проверки возможности ее сведения к ряду аксиом, т.е. - прототипов.

5) Явное выделение составляющих модели САПР типичных задач проектирования: - ЦПС, задает события, совместимые с необходимыми событиями и лежащие в любом месте на временной

оси ЖЦ; - ПОС, задает события, характеризующие как начальное состояние объекта (с учетом событий в прошлом), желаемые для пользователя как в текущий момент, так – и в будущем; - критерия сложности – минимизация числа и сложности вопросов, задаваемых пользователю как алгоритм глобальной оптимизации вывода [36].

*Вывод:* Предлагаемая логика имеет комплексный характер и носит черты ряда известных логик, но фактически является вариантом псевдо-физической логики, более ориентированным на физическую семантику предметной области. Т.о., предлагаемая КМ дает возможность построения ПВЛ, имеющих более широкие возможности, чем другие модели.

**7.2. Сравнительный анализ эффективности предлагаемого подхода как средства отображения ЖЦ в САПР и СА.** Предлагаемый подход, хотя и не является классическим методом ИМ, может по возможностям быть отнесен к методам ИМ, что дает возможность выполнить его сравнительный анализ с ИМ. Рассмотрим аналогии и отличия предлагаемого подхода от событийного моделирования в ИМ. Покажем, что в предлагаемой логике может быть представлен событийный асинхронный алгоритм имитационного моделирования на ФЛУ САПР. В обычном асинхронном событийном моделировании событие – это изменение одного из выходов базового блока-функции. Каждое событие характеризуется: типом события, т.е. типом изменения; новым состоянием; временем наступления события. После события по связям данного выхода инициируется ряд связанных входов, происходит вызов других базовых функций, а после их отработки формируется список будущих событий, т.е. запланированных изменений некоторых выходов в будущие моменты времени. Это – именно *алгоритм* работы с событиями, моделями структуры, алгоритмическими функциональными моделями базовых функций, моделью времени, условиями останова моделирования. Предлагаемая ПВЛ так же ориентированна на ряд состояний объекта в ЖЦ. При этом: 1) Если состояния на ЖЦ ориентированы на события, происходящие в не равноотстоящие моменты времени, то это - аналог асинхронного метода моделирования, если - на моменты времени, отстоящие на одинаковые расстояния, то это - аналог синхронного метода моделирования; 2) Если ЖЦ допускает произвольные моменты времени, не связанные с событиями, то данный подход не имеет аналогов в ИМ. Если моменты времени ЖЦ выбраны по событиям, то можно говорить о параллелях с событийным асинхронным моделированием. Рассмотрим детальнее аналогии и отличия. Так, при выбранном подходе к построению ПВЛ:

1) *Нет* таких компонентов ИМ: алгоритмических моделей функций, явно работающих со временем; явно определенных событий; явно определенного алгоритма событийного моделирования;

2) *Есть* элементы, аналогичные компонентам ИМ: модель времени как шкала времени; модель пространства, представленная как набор моделей пространств в различные моменты времени; правила вывода, связывающие альтернативы ИЛИ-узлов, задающих зависимость во времени – как аналог функций базовых блоков; сведенные до полной определенности альтернативы ИЛИ-узлов в будущем – как аналог запланированных тестовых событий; алгоритм логического вывода, реализованный в процедуре П4 – как аналог алгоритма имитационного событийного моделирования; система аксиом вывода – как условия останова моделирования; отличия смежных моментов времени, выявленных путем обобщения – как аналогии событий;

3) *Есть* элементы, не имеющие аналогов в ИМ: неопределенные ИЛИ-альтернативы.

*Вывод:* Т.о., предлагается логика, промежуточная между алгоритмом асинхронного событийного моделирования в ИМ и «обычной» временной и пространственной логикой. Наличие данной логики повышает гибкость И САПР.

ЖЦ в смысле СА в данном подходе не обеспечивается. ЖЦ в смысле количественного макроуровня САПР отражаются частично – только для переходного процесса. Стационарный и резонансный режим – не обеспечиваются. ЖЦ в смысле структурного уровня – обеспечиваются.

**7.3. Реализация предложенного подхода.** Данная ПВЛ была реализована в рамках программного пакета анализа ЖЦ моделей предприятий, полученных в задаче построения бизнес-планов предприятий. Реализация показала принципиальную возможность решения задачи.

### **Вывод**

В работе проделан анализ современного развития пространственных и временных логик, определены актуальные задачи их развития, намечены перспективные направления решения поставленных проблем. В рамках КМ, предназначенной для создания инструментальной оболочки для построения интеллектуальных САПР, определены методы и средства выполнения логического вывода на множестве обобщенных ЖЦ объектов. Логика вывода определена в рамках семиотической модели САПР решения типичных задач проектирования как процедура П4. Данный вывод классифицирован как пространственно-временная логика, являющаяся развитием методов ситуационного управления, предложенного Д.А. Пospelовым. Фактически в работе впервые предложен вариант псевдо-физической пространственно-временной логики, промежуточный между алгоритмом асинхронного событийного моделирования в имитационном моделировании и существующими методами построения временной и пространственной логики. Т.о., данная логика уже менее соответствует определению «псевдо-физическая» и становится ближе к понятию «физическая» логика. Как перспективные

направления дальнейшей работы можно назвать задачу построения полно-функциональных программных пакетов, реализующих предложенную логику в более полном виде.

### **Литература**

1. А.П. Еремеев, В.В. Троицкий. Основные способы формализации временных зависимостей при построении интеллектуальных систем. В кн. КИИ-2000, Труды седьмой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием. М.: Физматлит, 2000. Т. 2, С. 652-662.
2. А.П. Еремеев. Логика ветвящегося времени и ее применение в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. В кн. Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2006 (25-28 сентября 2006 г., Обнинск.): Труды конференции. В 3-т. Т. 3. - М.: Физматлит, 2006. С. 746-754.
3. А.В. Григорьев. Методы построения функций в специализированной оболочке для создания интеллектуальных САПР. Искусственный интеллект. N 3, 2001, С. 40-53.
4. Григорьев А.В. Управление движением объектов в семиотической модели предметной области. Наукові праці національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Выпуск 48: Донецк: ДонНТУ, 2002. - С.280-287.
5. Григорьев А.В., Бондаренко А.В., Шойхеденко А.В. Интерфейс табличного процессора EXCEL и специализированной оболочки для синтеза интеллектуальных САПР и АСНИ. В кн. Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ-97). Сборник трудов ДонГТУ, Выпуск 1. Донецк: ДонГТУ, 1997. - С. 229-238.
6. Колосков В.Ю. Системы отсчета и системы описания. Часть I. Системы отсчета. М.: «Белка», 1993. - с. 37.
7. Колосков В.Ю. Системы отсчета и системы описания. Часть II. Системы описания. Часть III. От пространства-времени - к Пространству - Духу. М.: «Белка», 1993. - 48 с.
8. Рейхенбах Г. Философия пространства и времени: Пер. с англ. \Общ.ред. А.А. Логунова; Послесл. А.А. Логунова и И.А. Акчурина.- М: Прогресс 1985. - 344 с.
9. Семантика модальных и интенциональных логик. Сборник статей. Пер с англ. под ред. В.А. Смирнова. Москва: Прогресс, 1981, с. 424.
10. Томасон С.К. Семантический анализ временных логик. Семантика модальных и интенциональных логик. //Под ред. В.А. Смирнова. Сборник статей. М.: Прогресс, 1981. - С. 166-179.
11. Прайор А.Н. Временная логика и непрерывность времени. //Под ред. В.А. Смирнова. Сборник статей. М.: Прогресс, 1981. С. 76-97.
12. Allen J. F. Maintaining knowledge about temporal intervals I. — Communications of the ACM, 1983, v. 26, . II, p. 832–843.

13. Нариньяни А.С. Недоопределенность в системах представления и обработки знаний. // Известия АН СРСР. Техническая кибернетика. - 1986.- № 5. – С. 3-28.
14. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986.-288 с.
15. Кондрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Наука, 1989. - 328 с.
16. Борде С.Б. и др. Недоопределенное календарное планирование. // Труды четвертой нац. конф. «Искусственный интеллект - 94», Рыбинск, Т.2, 1994.
17. Логический подход к искусственному интеллекту: От модальной логики к логике баз данных: Перев. с франц. /Тейз А., Грибобон П., Юлен Г. И др.. - М.: Свет. 1998. - 494 с.
18. Боженкова Е.Ж. Эквивалентные понятия для структур событий с реальным временем. Труды первой международной научно-практической конференции по программированию Укрпрог'98. К.: КЦ НАНУ, 1998. - С. 106-119.
19. Д.В. Банасюкевич, И.Д. Гофман, Д.А. Инищев, А.С. Нариньяни. Интеллектуальная система планирования и управления проектами на базе недоопределенной математики. В кн.: “КИИ '2000 седьмая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием”: Том 1. Москва, 2000, С.. 617 — 624.
20. Нариньяни А.С. Не-фактори: неточность и недоопределенность – расхождение и взаимосвязь. Известия академии наук. Теория и системы управления, 2000, №5, С. 44-56.
21. А.В. Гаврилов. Гибридные интеллектуальные системы. – Новосибирск: НГТУ, 2003.
22. R. Kontchakov, A. Kurucz, F. Wolter, M. Zakharyashev. Spatial Logik+ Temporate Logik=? . <http://www.dcs.kcl.ac.uk/staff/kuag/publi/st.pdf>.
23. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. М.: Высш. шк., 1986. - 304 с.
24. Норенков И.П. Разработка систем автоматизации проектирования. М.: МГТУ им. Э.Н. Баумана, 1994. – 207 с.
25. Зубенко Ю.Д. Системный анализ. Донецк: ДонГТУ, 1995. - 166 с.
26. Григорьев А.В. Представление недоопределенности знаний в инструментальной оболочке для построения САПР. Искусственный интеллект. № 6, 1999, С. 56-66.
27. Григорьев А.В. Комплекс моделей САПР как система взаимосвязанных уровней знаний о действительности. Научные труды Донецкого государственного университета. Серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника», (ИКВТ-2000) выпуск 10. - Донецк, ДонГТУ, 2000. - С. 155-167.
28. Григорьев А.В. Классификация типов продукций в интеллектуальных САПР. В кн. «Материалы IX-й международной конференции “Интеллектуальные САПР-2004 (CAD 2004)». Том второй, Москва: Физматлитиздат, 2004 - С. 26-32.
29. Григорьев А.В. Организация пространства поиска решений в специализированной оболочке для построения интеллектуальных САПР. Вестник ТРТУ - ДонДТУ. Материалы Второго Международного семинара «Практика и перспективы развития инновационного партнерства», Донецк, ДонДТУ, 2001, N 1.-С. 57-67.
30. Григорьев А.В. Принципы организации вывода решений в базе знаний инструментальной оболочки для создания интеллектуальных САПР. // Практика и перспективы развития институционального партнерства». Вестник ДонГТУ – ТРТУ. Донецк: РВА ДонНТУ, 2003 – С.96-106.
31. Григорьев А.В., Каспаров А.А. И/ИЛИ-дерево как средство абстрактного представления знаний. Наукові праці національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». Випуск 39: Донецк: ДонНТУ, 2002. - С. 36-42.
32. Григорьев А.В. Каспаров А.А. Обобщение знаний в интеллектуальной системе с семиотической моделью предметной области. Научные труды Донецкого государственного университета. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем». Выпуск 29. - Севастополь, «Вебер», 2001. - С. 106-113.
33. Григорьев А.В. Теоретико-множественные операции над грамматиками как механизм работы со знаниями в интеллектуальных САПР. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, N 2(48). Луганск, ВУТУ, 2002. С. 186-194.
34. Григорьев А.В. Алгоритм выполнения теоретико-множественных операций над грамматиками в среде специализированной оболочки для создания интеллектуальных САПР. Наукові праці національного технічного університету. Серія «Проблеми моделювання і автоматизації проектування динамічних систем» (МАП -2002). Випуск 52: Донецк: ДонНТУ, 2002. - С.83-93.
35. Григорьев А.В. Специфика выполнения теоретико-множественных операций над контекстно-свободными грамматиками в условиях различных форм дополнительных семантических правил в семиотической модели интеллектуальных САПР/ Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем» (МАП – 2006). Выпуск 5 (116). – Донецк: ДонНТУ, 2006. – С. 91-104.
36. Григорьев А.В. Семиотическая модель базы знаний САПР. Научные труды Донецкого государственного университета. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем». Выпуск 10: - Донецк: ДонГТУ, 1999. - С. 30-37.
37. Солодовников В.В., Тумаркин В.И. Теория сложности и проектирование систем управления. - М.: Наука. 1990. - 186 с.