

## ВАЛИДАЦИЯ ЭВРИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ БАЗИРОВАНИЯ ДЕТАЛИ. II

© 2012 С.В. Смирнов

Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара

Поступила в редакцию 20.12.2012

В статье собраны обоснования различных решений – выбора проблемы, извлечения, структурирования и формализации знаний о предметной области и действиях экспертов, - которые были приняты при разработке прототипа экспертной системы для выбора рациональной схемы базирования детали. Прагматика очерчиваемого исследования состоит в снижении риска неадекватности моделей, построенных экспертным путем и на основе соображений здравого смысла. Использовались разнообразные методы: от векторной алгебры до теории решеток. В первой части статьи обоснована целесообразность построения экспертной системы и систематизирована основная часть ее базы правил. В данной, второй, части обоснованы информационные модели предметной области, определяющие схему базы данных и операционный базис для программной реализации экспертной системы. Ключевые слова: базирование детали, экспертная система, база правил, поверхность детали, формальная онтология, онтологический анализ.

### ВВЕДЕНИЕ

В первой части данной статьи [1] кратко охарактеризована предметная область (ПрО) *базирования* - одного из важнейших переходов в технологии машиностроения [2], и поставлена задача валидации различных *эвристических решений*, принятых при разработке экспертной системы (ЭС), для решения проблемы базирования детали [3, 4].

С этой целью первоначально были обоснованы две составляющие принятого подхода к решению задачи базирования детали:

- разработка ЭС в рассматриваемой предметной области экономически и практически оправдана, т.к. из-за неполноты исходной информации, технической сложности ее восполнения и быстрого роста объема необходимых вычислений достичь нужного результата, опираясь на аналитическую оценку геометрической погрешности базирования, практически невозможно, а вместе с тем, можно наблюдать успешное преодоление эти проблем опытными технологами (получение подобного заключения - основная задача *этапа «выбора проблемы»* в технологии разработки ЭС [5]);

- систематическое описание базы правил ЭС, ответственных за генерацию *допустимых вариантов физически реализуемых комплектов баз* [6] детали, становится возможным лишь при разумных упрощающих предположениях о характере поверхностей, пригодных для использования в качестве баз.

В предлагаемой второй части статьи исследуются *информационные модели* ПрО, которые в

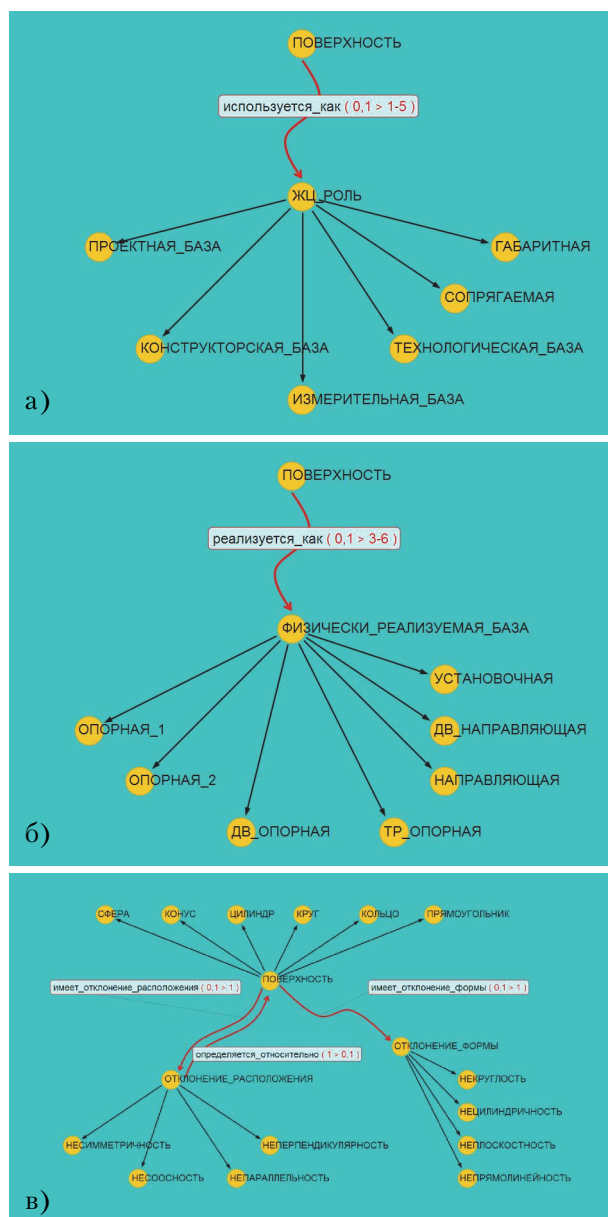
ЭС для решения задачи базирования детали [3, 4] строились экспертным путем в соответствии с эвристическими принципами, сформулированными в работе [7].

### 1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

В целом существует консенсус (см., например, [2, 6]), что модель ПрО задачи базирования детали должна объединить, по меньшей мере, сведения о геометрии поверхностей, о функциональной роли поверхностей в «жизненном цикле» детали и, разумеется, о кинематических связях детали как твердого тела, формируемых на ее поверхностях при базировании. Поэтому в рассматриваемой ЭС описание ПрО включало три *информационные модели* в виде *формальных онтологий* [5, 8].

Специалистам известно, что знание ролей поверхностей детали в процессах проектирования, технологической подготовки и сборки готовых изделий способно оказать существенное влияние на решение задачи базирования [2, 8]. В этом смысле *онтология ролей поверхности в жизненном цикле детали* на концептуальном уровне устанавливает, что для каждой поверхности детали может быть зафиксировано, является ли она *проектной, конструкторской, технологической* или *измерительной* базой, *сопрягается* ли она в технологическом процессе с поверхностью другой детали или оказывает существенное влияние на технологический процесс, определяя, например, *габариты* детали. Экспертное построение такой онтологической спецификации не вызывает трудностей. На

рис. 1а приведены ее понятия и отношения (изогнутые стрелки), а также связи «род-вид» (прямые стрелки). (Здесь и далее используются скриншоты общецелевой системы объектно-ориентированного моделирования *gB* [8]).



- а) онтология ролей поверхности в жизненном цикле детали
- б) онтология ролей поверхности в образовании кинематических связей детали
- в) онтология геометрии поверхностей, используемых при базировании деталей

**Рис.1.** Концептуальные информационные модели предметной области задачи базирования детали:

понятия представлены овалами, прямые стрелки указывают связи «род-вид» между понятиями, а изогнутые стрелки, являясь псевдосвязями понятий, свидетельствуют о наличии структурных отношений между объемами понятий (легенды псевдосвязей указывают имена и кардинальные числа этих отношений)

Аналогично без проблем строится *онтология ролей поверхности в образовании кинематических связей детали* (рис. 16), которая фиксирует известные в теории базирования дефиниции физически реализуемых баз [1, 6]. Однако отличие этой онтологии состоит в том, что она является «носителем» *аксиом* описываемой Про.

Действительно, исследованные в [1] *правила выявления допустимых ролей* поверхности детали и ее потенциальных скрытых баз в образовании кинематических связей естественно рассматривать как проверку истинности соответствующих *аксиом корректности ролей* объектов, используемых при базировании.

Добавление аксиом в онтологическую спецификацию производится в *объектно-фреймовом* стиле [5, 9]. Аксиома ПрО в таком случае находит отражение в описании проверочной процедуры-демона, которая дополнительно (т.е. помимо типа, размерности и др.) атрибутирует *все те свойства* ПрО, *изменение* которых способно данную аксиому *нарушить*. Такие свойства приобретают в онтологии статус «активных». Прагматически это создает информационную основу того, что в *денотативной модели* ПрО (т.е. информационной модели, объекты которой находятся в отношении экземплификации с объектами-классами онтологии ПрО) любая транзакция, вызывающая изменение активного свойства, будет отменена при нарушении хотя бы одной из ассоциированных с этим свойством аксиом.

В соответствии с содержанием правил выявления допустимых ролей поверхности в базировании [4] в онтологии на рис. 16 статус активных устанавливается следующим свойствам:

- свойству-величине «*опорная ось  $O_z$* » объектов класса ПОВЕРХНОСТЬ;
- свойствам-ковалентностям [8, 9] «*реализуется как*» объектов класса ПОВЕРХНОСТЬ и ФИЗИЧЕСКИ РЕАЛИЗУЕМАЯ БАЗА.

Наконец, геометрическое описание детали - третий аспект рассматриваемой ПрО - должно включать как минимум образы всех её поверхностей, которые *пригодны для базирования*, некоторых *идеальных поверхностей*, вводимых для координации при конструировании детали, а также данные о точности *взаимной ориентации* этих поверхностей. В этом смысле каждая включаемая в модель поверхность детали должна быть охарактеризована со следующих сторон.

1) Вид поверхности с определяющими параметрами и положение поверхности в трехмерном пространстве. Соответствующие упрощающие предположения относительно *типологии форм* поверхностей (прямоугольник, круг, кольцо, цилиндр, конус и сфера) и их пространственной привязке («точка привязки»  $O_c$  и «опорная ось»

$O_z$ ) приведены в первой части статьи [1]. Сделанные при этом допущения учитывают ограниченный технологический потенциал массового машиностроения [7].

2) *Взаимное расположение поверхности и тела детали*. По отношению к плоской поверхности *тело детали* может располагаться либо между точкой привязки и центром опорной системы координат, либо за точкой привязки; цилиндрические, конические, сферические поверхности могут быть либо внутренними, либо внешними.

3) *Геометрическая точность поверхности*. При базировании детали важно учитывать отклонения *геометрической формы* ее поверхностей, которые при определенном обобщении сводятся к *некруглости, нецилиндричности, неплоскостности, непрямолинейности* (последнее - для осей трехмерных поверхностей) [10, 11].

4) *Точность взаимного расположения поверхностей*. В задаче базирования актуальны сведения о допуске отклонения *положения* одной поверхности детали относительно некоторой другой ее поверхности. Обобщенными разновидностями отклонений взаимного расположения можно считать *неперпендикулярность, непараллельность, несоосность, несимметричность* [10, 11].

Такое *экспертное* представление о геометрии деталей массового машиностроения позволило построить для реализации ЭС *онтологию геометрии поверхностей, используемых при базировании деталей* (рис. 1в).

Чтобы оценить *достоверность* подобного экспертного моделирования поставим вопрос следующим образом: возможно ли, рассматривая выдвинутые экспертами принципы описания геометрии поверхностей в задаче базирования детали, как *гипотезы*, произвести *формальный вывод* необходимой онтологической спецификации на основе *фактического материала* о ПрО?

## 2. ФОРМАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОНТОЛОГИИ ГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ПРИГОДНЫХ ДЛЯ БАЗИРОВАНИЯ

### 2.1. Онтологический анализ данных

*Онтологический анализ данных* (ОАД) [8] устанавливает связь между классическим анализом данных (в частности с технологиями *Data Mining*) и ветвью теории решеток известной как *анализ формальных понятий* [12].

ОАД автоматизирует построение онтологий на основе *измерений* ПрО. Протоколы измерений оформляются в виде таблиц «объекты-свойства» (ТОС). Строки ТОС соответствуют *объектам*, которые попали в поле зрения исследователя при зондировании ПрО (т.е. составили *эмпирическую*

*выборку объектов*  $D^*$ ), состав столбцов ТОС отражает оснащенность исследователя *измерительными процедурами*, а ячейки таблицы содержат собственно результаты выполнения измерительных процедур над наблюдаемыми объектами ПрО. Принципиальными и отличительными положениями ОАД являются, во-первых, допущение отсутствия информативного результата измерений (*None-результат*), а, во-вторых, механизм измерения *структурных отношений* между объектами ПрО и специфичной обработки данных этих измерений.

Арсенал измерительных процедур формируется субъективно, согласно двум видам априорных гипотез исследователя: *РН-гипотезам* о существовании у эмпирических объектов измеримых *свойств-величин* и *SH-гипотезам* о способности эмпирических объектов участвовать в *структурных отношениях*, т.е. гипотезам о соответствующих *валентностях* объектов ( $SH \cap PH = \emptyset$ ). Для исследования каждой *SH-гипотезы* в общем случае необходимо столько измерительных процедур, какова *арность* соответствующего структурного отношения. Поскольку при моделировании достаточно использовать бинарные отношения, то таких («сопряженных») процедур будет две: одна предназначена для выявления у объектов *прямой* валентности, другая - *обратной*.

Промежуточным результатом ОАД является *объектно-признаковая модель* (ОПМ) ПрО, формируемая следующим алгоритмом:

1) ТОС - матрица  $A = (a_{ij})_{i=1, \dots, r; j=1, \dots, s}$ ,  $r = |D^*|$ ,  $s = |PH| + 2 \cdot |SH|$ , преобразуется в матрицу инцидентности «объекты-свойства»  $B = (b_{ij})_{i=1, \dots, r; j=1, \dots, s}$ :

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_{ij} \neq \text{None}, \\ 0 & \text{в противоположном случае} \end{cases};$$

2) выделяются классы эмпирических объектов путем сохранения в  $B$  одного экземпляра из каждого множества совпадающих строк;

3) исключаются из рассмотрения *РН-гипотезы*, оказавшиеся полностью несостоятельными для  $D^*$ , т.е. из  $B$  удаляются все соответствующие этим гипотезам нулевые столбцы;

4) исключаются из рассмотрения *SH-гипотезы*, полностью несостоятельные для  $D^*$ , т.е. из  $B$  удаляются пары сопряженных нулевых столбцов, соответствующие каждой такой гипотезе;

5) при обнаружении в  $B$  нулевых строк констатируется существование в ПрО класса *неопознанных* объектов и апостериори вводится *РН-гипотеза* о существовании такого класса объектов. Этому отвечает добавление в  $B$  столбца, описывающего инцидентность характеристического свойства введенной гипотезы, и добавление строки, описывающей класс неопознанных объектов;

б) при обнаружении в  $B$  только одного нулевого столбца в паре столбцов, соответствующих  $SH$ -гипотезе, констатируется (в силу «одностороннего» подтверждения  $SH$ -гипотезы) существование в ПрО некоторого особенного класса объектов, не представленного в  $D^*$ , и в  $B$  добавляется новая строка, описывающей инцидентность вводимого в рассмотрение особенного класса объектов и « $SH$ -свойства», неподтвержденно-го исходным эмпирическим материалом.

Пункты 2-4 алгоритма редуцируют, а 5 и 6 расширяют  $B$ . В итоге результирующая бинарная матрица  $B'$ , определяющая искомую ОПМ ПрО, будет иметь размерность  $p \times q$ ,  $1 \leq p \leq r + |SH| + 1$ ,  $1 \leq q \leq s + 1$ .

На основе ОПМ строится *решетка понятий* ПрО (соответствующие алгоритмы широко известны, см., например, [13]), т.е. выводятся и упорядочиваются все понятия ПрО в соответствии обычным понимаем отношения *обобщения*. Эта решетка может быть точно преобразована в более приемлемую для формальных онтологий родовидовую иерархическую структуру – *таксономию* понятий (или классов объектов) ПрО, *содержание* которых описывает не только свойства-величины, но и структурные отношения между объемами понятий [8].

## 2.2. Онтологический анализ данных о геометрии поверхностей, используемых при базировании детали

Рассматривая машиностроительные чертежи в качестве источника первичных данных о геометрии поверхностей, используемых при базировании, исходная ТОС в качестве *объектов* будет содержать: А) *пригодные для базирования* поверхности деталей и *некоторые идеальные поверхности*, вводимые для

координации (далее просто «поверхности»),

В) *отклонения геометрической формы* поверхностей, пригодных для базирования,

С) *отклонения взаимного расположения* поверхностей, пригодных для базирования, -

а состав *свойств* (измерительных процедур) определяют следующие характеристики этих объектов:

а) параметры, которые указывают *геометрический вид и размеры поверхности*, пригодной для базирования,

б) параметры *положения поверхности* в трехмерном пространстве,

с) параметр, фиксирующий *взаимное расположение поверхности и тела детали*,

д) параметры, указывающие *вид отклонения геометрической формы поверхности*,

е) валентности, отмечающие для объектов «поверхность» и «отклонение геометрической формы» факт нахождения в отношении «*имеет\_отклонение\_формы*»,

ф) параметры, устанавливающие *вид отклонения взаимного расположения* поверхностей,

г) валентности, отмечающие для объектов «поверхность» и «отклонение геометрической формы» факт нахождения в отношении «*имеет\_отклонение\_расположения*»,

h) валентности, отмечающие для объектов «отклонение взаимного расположения» и «поверхность» факт нахождения в отношении «*определяется\_относительно*».

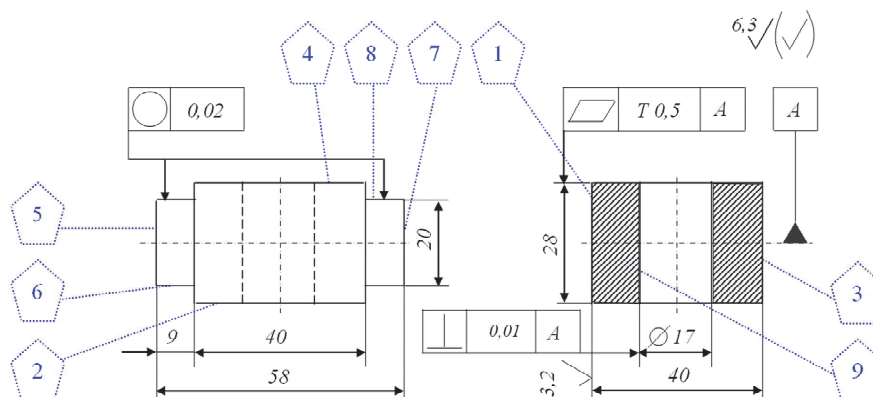
Табл. 1 дает пример такой ТОС (в транспонированном виде), но содержит данные всего об одной детали – шарнире, чертеж которого приведен на рис. 2. Реальная ТОС будет «длиннее», включив подобные данные обо всех деталях, отобранных в представительную обучающую выборку, и

**Таблица 1.** Первичные данные о геометрии поверхностей шарнира, актуальных в задаче базирования (транспонированная таблица «объекты-свойства»)

| Свойства \ Объекты                        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | A     | $\odot_1$ | $\odot_2$ | $\perp$ | $\square$ |
|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|---------|-----------|
| Прямоугольник_Высота (ПрВ)                | 40    | 40    | 40    | 40    |       |       |       |       |       | 40    |           |           |         |           |
| Прямоугольник_Ширина (ПрШ)                | 28    | 40    | 28    | 40    |       |       |       |       |       | 40    |           |           |         |           |
| Кольцо_Наружный_Диаметр (КоНД)            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |         |           |
| Кольцо_Внутренний_Диаметр (КоВД)          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |         |           |
| Круг_Диаметр (КрД)                        |       |       |       |       | 20    |       | 20    |       |       |       |           |           |         |           |
| Цилиндр_Диаметр (ЦД)                      |       |       |       |       |       | 20    |       | 20    | 17    |       |           |           |         |           |
| Цилиндр_Длина (ЦДл)                       |       |       |       |       |       | 9     |       | 9     | 28    |       |           |           |         |           |
| Конус_Диаметр (КД)                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |         |           |
| Конус_Длина (КДл)                         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |         |           |
| Конус_Угол (КУ)                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |         |           |
| Сфера_Диаметр (СД)                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |         |           |
| Точка_ПривязкиX (ТП1)                     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |           |           |         |           |
| Точка_ПривязкиY (ТП2)                     | 0     | -14   | 0     | 14    | 0     | 0     | 0     | 0     | 14    | 0     |           |           |         |           |
| Точка_ПривязкиZ (ТП3)                     | 29    | 29    | 29    | 29    | 0     | 0     | 58    | 49    | 29    | 29    |           |           |         |           |
| Опорная_Ось (ОО)                          | $O_x$ | $O_y$ | $O_y$ | $O_x$ | $O_z$ | $O_z$ | $O_z$ | $O_z$ | $O_y$ | $O_y$ |           |           |         |           |
| Взаимоположение_«Поверхность-Тело» (ВППТ) | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     |           |           |         |           |

**Таблица 1.** Первичные данные о геометрии поверхностей шарнира, актуальных в задаче базирования (транспонированная таблица «объекты-свойства») (окончание)

|                                |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  |   |     |     |    |  |
|--------------------------------|--|--|---|--|--|---|--|---|---|--|---|-----|-----|----|--|
| Некруглость (HeКр)             |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  |   | .02 | .02 |    |  |
| Нецилиндричность (HeЦл)        |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  |   |     |     |    |  |
| Неплоскость (HeПл)             |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  |   |     |     |    |  |
| Непрямолинейность (HeПр)       |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  |   |     |     |    |  |
| имеет отклонение формы         |  |  |   |  |  | 1 |  | 1 |   |  |   |     |     |    |  |
| ~имеет отклонение формы        |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  | 1 | 1   |     |    |  |
| Неперпендикулярность (HeПерп)  |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  |   |     | .01 |    |  |
| Непараллельность (HeПаралл)    |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  |   |     |     | .5 |  |
| Несоосность Параметр (HeСоосн) |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  |   |     |     |    |  |
| Несимметричность (HeСимм)      |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  |   |     |     |    |  |
| имеет отклонение расположения  |  |  | 1 |  |  |   |  | 1 |   |  |   |     |     |    |  |
| ~имеет отклонение расположения |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  |   |     | 1   | 1  |  |
| определяется относительно      |  |  |   |  |  |   |  |   |   |  |   |     | 1   | 1  |  |
| ~определяется относительно     |  |  |   |  |  |   |  |   | 2 |  |   |     |     |    |  |

**Рис. 2** Чертеж шарнира: цифры в пятиугольниках идентифицируют поверхности

ее обработка согласно подпункту 2.1 позволяет построить ОПМ представленную на рис. 3. Диаграмма Хассе решетки формальных понятий, извлекаемой из ОПМ, приведена на рис. 4.

### 2.3. Редуцирование понятийной структуры, описывающей геометрию поверхностей, используемых при базировании детали

Даже без преобразования выведенной решетки понятий ПрО «Геометрии поверхностей, используемых при базировании детали» (см. рис. 4) в соответствующую родовидовую структуру классов объектов видно, что результат не будет соответствовать онтологии на рис. 1в.

В решетке на рис. 4 *учетверено* количество понятий поверхности, причем специализация произошла за счет различения объектов по виду реализации валентностей «имеет\_отклонение\_формы» и/или «имеет\_отклонение\_расположения», в частности для цилиндрической поверхности имеем:

- ЦИЛИНДР – в случае отсутствия отклонений расположения и формы;
- ЦИЛИНДР\_Ф – при отклонении формы;
- ЦИЛИНДР\_П – при отклонении положения;
- ЦИЛИНДР\_ФП – при отклонении и формы, и положения.

В этом явлении мы сталкиваемся с обратной стороной достоинств формального анализа понятий при построении онтологий: генерируется большое число (корректных) понятий, что затрудняет выделение существенных черт ПрО, препятствуя практически полезному использованию получаемых результатов.

В настоящее время активно разрабатываются подходы к редуцированию решеток формальных понятий (см., например, [14]), и решетки (следовательно, и онтологии), содержащие описание структурных отношений по методике ОАД (см. подраздел 2.1), могут быть эффективно редуцированы на основе адекватной интерпретации понятия валентности [15].

Действительно, если состав свойств некоторой совокупности объектов *разнится лишь в части присутствующих и реализованных валентностей*, то целесообразно поставить вопрос о принадлежности таких объектов *одному классу*, интегрирующему *все отличительные валентности* рассматриваемого множества объектов. Редукция концептуального описания ПрО при положительном ответе на этот вопрос означает, что валентности объектов в денотативных моделях ПрО *могут оставаться не реализованными*, т.е. *кардинальность* соответствующих структурных отношений должна включать *нулевое значение*. Этим не только преодолевается соот-

| ОПМ                  | ПрВ | ПрШ | КоНД | КоВД | КрД | ЦД | ЦДл | КД | КДл | КУ | СД | ТП1 | ТП2 | ТП3 | ОО | ВППТ | НеКр | НеЦл | НеПл | НеПр | имеет_отклонение<br>формы |
|----------------------|-----|-----|------|------|-----|----|-----|----|-----|----|----|-----|-----|-----|----|------|------|------|------|------|---------------------------|
| СФЕРА                |     |     |      |      |     |    |     |    |     |    | X  | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| КОНУС                |     |     |      |      |     |    |     | X  | X   | X  |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| ЦИЛИНДР              |     |     |      |      |     | X  | X   |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| КРУГ                 |     |     |      |      | X   |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| КОЛЬЦО               |     |     | X    | X    |     |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| ПРЯМОУГОЛЬНИК        | X   | X   |      |      |     |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| СФЕРА_Ф              |     |     |      |      |     |    |     |    |     | X  | X  | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| КОНУС_Ф              |     |     |      |      |     |    |     | X  | X   | X  |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| ЦИЛИНДР_Ф            |     |     |      |      |     | X  | X   |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| КРУГ_Ф               |     |     |      |      | X   |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| КОЛЬЦО_Ф             |     |     | X    | X    |     |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| ПРЯМОУГОЛЬНИК_Ф      | X   | X   |      |      |     |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| СФЕРА_П              |     |     |      |      |     |    |     |    |     | X  | X  | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| КОНУС_П              |     |     |      |      |     |    |     | X  | X   | X  |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| ЦИЛИНДР_П            |     |     |      |      |     | X  | X   |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| КРУГ_П               |     |     |      |      | X   |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| КОЛЬЦО_П             |     |     | X    | X    |     |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| ПРЯМОУГОЛЬНИК_П      | X   | X   |      |      |     |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      |                           |
| СФЕРА_ФП             |     |     |      |      |     |    |     |    |     | X  | X  | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| КОНУС_ФП             |     |     |      |      |     |    |     | X  | X   | X  |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| ЦИЛИНДР_ФП           |     |     |      |      |     | X  | X   |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| КРУГ_ФП              |     |     |      |      | X   |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| КОЛЬЦО_ФП            |     |     | X    | X    |     |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| ПРЯМОУГОЛЬНИК_ФП     | X   | X   |      |      |     |    |     |    |     |    |    | X   | X   | X   | X  | X    |      |      |      |      | X                         |
| НЕКРУГЛОСТЬ          |     |     |      |      |     |    |     |    |     |    |    |     |     |     |    |      | X    |      |      |      |                           |
| НЕЦИЛИНДРИЧНОСТЬ     |     |     |      |      |     |    |     |    |     |    |    |     |     |     |    |      |      | X    |      |      |                           |
| НЕПЛОСКОСТНОСТЬ      |     |     |      |      |     |    |     |    |     |    |    |     |     |     |    |      |      |      | X    |      |                           |
| НЕПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ    |     |     |      |      |     |    |     |    |     |    |    |     |     |     |    |      |      |      |      | X    |                           |
| НЕПЕРПЕНДИКУЛЯРНОСТЬ |     |     |      |      |     |    |     |    |     |    |    |     |     |     |    |      |      |      |      |      |                           |
| НЕПАРАЛЛЕЛЬНОСТЬ     |     |     |      |      |     |    |     |    |     |    |    |     |     |     |    |      |      |      |      |      |                           |
| НЕСООСНОСТЬ          |     |     |      |      |     |    |     |    |     |    |    |     |     |     |    |      |      |      |      |      |                           |
| НЕСИММЕТРИЧНОСТЬ     |     |     |      |      |     |    |     |    |     |    |    |     |     |     |    |      |      |      |      |      |                           |

а) начальная часть соответствия «объекты-свойства», задаваемого объектно-признаковой моделью

| ОПМ                  | ~имеет_отклонение<br>формы | НеПерп | НеПаралл | НеСоосн | НеСимм | имеет_отклонение<br>расположения | ~имеет_отклонение<br>расположения | определяется_<br>относительно | ~определяется_<br>относительно |
|----------------------|----------------------------|--------|----------|---------|--------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| СФЕРА                |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| КОНУС                |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| ЦИЛИНДР              |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| КРУГ                 |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| КОЛЬЦО               |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| ПРЯМОУГОЛЬНИК        |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| СФЕРА_Ф              |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| КОНУС_Ф              |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| ЦИЛИНДР_Ф            |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| КРУГ_Ф               |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| КОЛЬЦО_Ф             |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| ПРЯМОУГОЛЬНИК_Ф      |                            |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| СФЕРА_П              |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| КОНУС_П              |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| ЦИЛИНДР_П            |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| КРУГ_П               |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| КОЛЬЦО_П             |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| ПРЯМОУГОЛЬНИК_П      |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| СФЕРА_ФП             |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| КОНУС_ФП             |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| ЦИЛИНДР_ФП           |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| КРУГ_ФП              |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| КОЛЬЦО_ФП            |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| ПРЯМОУГОЛЬНИК_ФП     |                            |        |          |         |        | X                                |                                   |                               | X                              |
| НЕКРУГЛОСТЬ          | X                          |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| НЕЦИЛИНДРИЧНОСТЬ     | X                          |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| НЕПЛОСКОСТНОСТЬ      | X                          |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| НЕПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ    | X                          |        |          |         |        |                                  |                                   |                               |                                |
| НЕПЕРПЕНДИКУЛЯРНОСТЬ |                            | X      |          |         |        |                                  | X                                 | X                             |                                |
| НЕПАРАЛЛЕЛЬНОСТЬ     |                            |        | X        |         |        |                                  | X                                 | X                             |                                |
| НЕСООСНОСТЬ          |                            |        |          | X       |        |                                  | X                                 | X                             |                                |
| НЕСИММЕТРИЧНОСТЬ     |                            |        |          |         | X      |                                  | X                                 | X                             |                                |

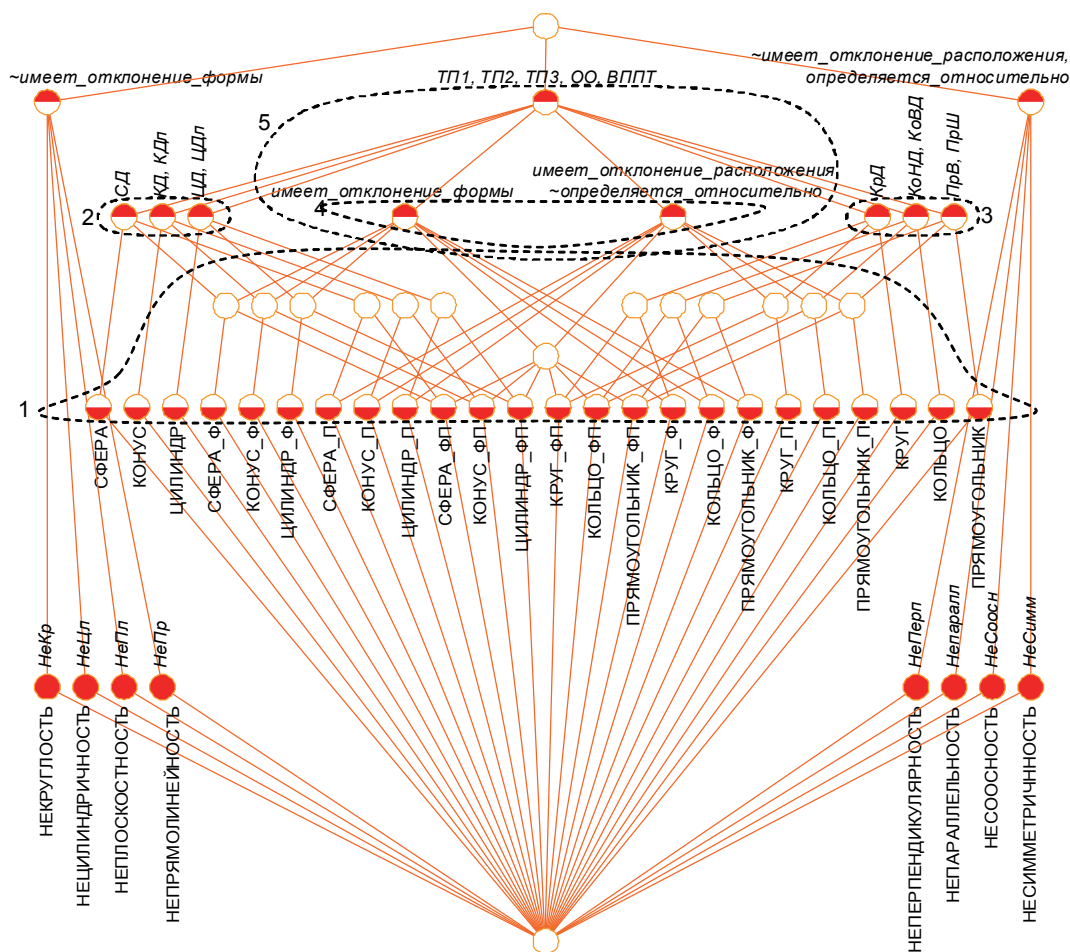
б) продолжение соответствия «объекты-свойства», задаваемого объектно-признаковой моделью

**Рис. 3.** Объектно-признаковая модель геометрии поверхностей, используемых при базировании детали: постфиксы «Ф», «П» и «ФП» у имен классов поверхностей означают соответственно «поверхность с отклонением формы», «поверхность с отклонением положения» и «поверхность с отклонением формы и положения»

ветствующее ограничение реляционного подхода в информационном моделировании, но и термин «валентность» для описания структурных отношений в ПрО получает дополнительное обоснование, поскольку в рассматриваемой ситуации он используется в полном соответствии с его этимологией.

Для понятий поверхности на рис. 4 обсуждаемое редуцирование не только возможно, но целесообразно по существу, поскольку при конструировании детали описание некоторой поверхности снабжается информацией о допусках в отклонении формы и/или положения лишь *по необходимости*.





**Рис. 4.** Диаграмма Хассе решетки формальных понятий предметной области «Геометрии поверхностей, используемых при базировании детали».

Пунктиром обозначены шаги по ее редукции

Применение рассматриваемого метода редукции применительно к решетке на рис. 4 разворачивается в серии преобразований:

1) объединяются все вершины-понятия, представляющие разновидности понятий поверхности, т.е. количество таких концептов сокращается до шести «фундаментальных» понятий. При этом в силу утраты свойств, различающих объединяемые понятия (эти свойства фиксировали различные факты реализации валентностей «имеет\_отклонение\_формы» и «имеет\_отклонение\_расположения»), редуцируется набор соответствующих обобщающих понятий (см. группу 1 на рис. 4);

2) обобщающие понятия, отражающие общность геометрических параметров поверхностей (группы 2 и 3 на рис. 4), в силу смежного нахождения на одной линии обобщения необходимо сливаются с соответствующими фундаментальными понятиями поверхности. Этим актом формирование фундаментальных видов понятия поверхности заканчивается;

3) обобщающие понятия из группы 4 объединяются как эквивалентные для, с одной стороны, объемных, с другой – плоских поверхностей.

Образуется новое обобщающее понятие «поверхность, способная иметь отклонения формы и расположения, которое определяется относительно [некоторой другой базовой поверхности]»;

4) наконец, обобщающее понятие, образованное на шаге 3 в силу смежного нахождения на одной линии обобщения необходимо сливается с понятием, описывающим общие свойства всех видов поверхностей {ТП1, ТП2, ТП3, ОО, ВППТ} (см. группу 5 на рис. 4). Тем самым завершается формирование обобщающего понятия «поверхность».

В результате этих алгоритмически-точных преобразований решетка формальных понятий ПрО «Геометрия поверхностей, используемых при базировании детали» существенно редуцируется, но, *главное*, она может быть однозначно преобразована в форму, в которой представлена онтология геометрии поверхностей, используемых при базировании детали на рис. 1г. Другими словами, проведенное исследование благодаря совпадению онтологии, полученной методом ОАД, с онтологической спецификацией, отражавшей опыт экспертов, удостоверяет качество основной информационной модели ПрО задачи базирования детали.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенном исследовании с помощью привлечения ряда новых методов онтологического анализа для информационного моделирования ПрО установлена обоснованность важнейших составляющих эвристического подхода к решению задачи базирования детали.

В первой части статьи обоснован *выбор проблемы*, т.е. констатирована экономическая и практическая целесообразность разработки ЭС в рассматриваемой ПрО. Кроме того, благодаря разумным упрощающим предположениям о характере поверхностей, пригодных для использования в качестве баз, аргументирована возможность *систематизации описания правил* из базы знаний экспертной системы, ответственных за генерацию допустимых вариантов решения задачи базирования.

Во второй часть статьи обоснованы экспертные решения, принятые при проектировании информационных моделей задачи базирования - формальных онтологий соответствующей ПрО. Эти модели составляют программно-технический костяк ЭС, специфицируя в объектно-фреймовом стиле представления знаний и базы данных этого приложения, и его операционный базис.

В целом представленные результаты не только подтвердили достоверность и качество созданной ранее интеллектуальной системы для построения рациональной схемы базирования соединяемых деталей, но практически продемонстрировали эффективность методов онтологического моделирования и анализа данных. Результаты моделирования ПрО задачи базирования могут быть применены при создании новых ЭС в этой сфере, а также использоваться в смежных задачах поддержки технологической подготовки производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнов С.В.* Валидация эвристического подхода к решению задачи базирования детали. I // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. №6. С. 274-280.
2. *Балашихин Б.С.* Теория и практика технологии ма-

3. *Виттих В.А., Смирнов С.В.* Интеллектуальная система для построения рациональной схемы базирования соединяемых деталей // Труды III конф. по искусственному интеллекту (20-24 октября 1992 г. Тверь, Россия). Т. 2. - Тверь: Российская ассоциация ИИ, 1992. С. 59-61.
4. *Vittikh V.A., Smirnov S.V.* Intelligent System for the Selection of Locating Chart // Proc. of the 8-th Int. Conf. on the Application of Artificial Intelligence in Engineering AIENG/93 (29 June - 2 July, 1993, Toulouse, France). Vol. 2: Application and Techniques. London-N.Y.: CMP and Elsevier, 1993. P. 827-834.
5. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
6. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. М.: Изд. стандартов, 1976. 35 с.
7. *Будников Ю.М., Николаев В.А., Смирнов С.В.* Моделирование деталей как элементов сборочных единиц на основе объектно-ориентированного подхода // Интеллектуальные системы в машиностроении: Материалы всесоюз. конф. (10-14 июня 1991 г., Самара). Ч. 1. Самара: СамФ ИМАШ АН СССР, 1991. С. 99-104.
8. *Смирнов С.В.* Онтологический анализ предметных областей моделирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т. 3. № 1. С. 66-71.
9. *Смирнов С.В.* Прагматика онтологий: объектно-ориентированная модель знаний о предметной области // Одиннадцатая Национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008 (28 сентября-03 октября 2008 г., Дубна, Россия): Труды конф. Т. 3. М.: ЛЕНАНД, 2008. С. 208-216.
10. ГОСТ 24642-81. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. - М.: Изд. стандартов, 1981. 45 с.
11. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 1. Изд. 5-е. М.: Машиностроение, 1979. 729 с.
12. *Wille R., Ganter B.* Formal Concept Analysis. Mathematical foundations. - Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1996. 290 p.
13. *Кузнецов С.О., Обьедков С.А.* Алгоритмы построения множества всех понятий формального контекста и его диаграммы Хассе // Известия академии наук. Теория и системы управления. 2001. №1. - С. 120-129.
14. *Kuznetsov S.O., Obiedkov S.A., Roth C.* Reducing the Representation Complexity of Lattice-Based Taxonomies // Proc. 15th International Conference on Conceptual Structures (ICCS'07), U. Priss, S. Polovina, R. Hill (Eds.) / Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI). Vol. 4604. - Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. - P. 241-254.
15. *Смирнов С.В.* Построение онтологий предметных областей со структурными отношениями на основе анализа формальных понятий // Знания - Онтология - Теория: Материалы Всероссийской конф. с международным участием (3-5 октября 2011 г., Новосибирск, Россия). Т. 2. Новосибирск: Институт математики СО РАН, 2011. С. 103-112.

## VALIDATION OF THE HEURISTIC APPROACH IN MACHINE-PIECE LOCATING. SECOND PART

© 2012 S.V. Smirnov

Institute for the Control of Complex Systems of RAS, Samara

The various decisions are collected in the paper such as a choice of a problem, extraction, structuring and formal description of knowledge in domain of interest and experts actions. These decisions have been accepted by working out the prototype of the expert system for the selection of locating chart. The pragmatist of the outlined research consists in decreasing the risk of inadequacy of the models which are constructed by the expert and on the basis of reasons of common sense. Multi-faceted methods were used, from vector algebra to the theory of lattices. In the first part of paper the expediency of expert system development is proved and her rulebase is systematized. In the second part there are proved information models of knowledge domain. They determine the database scheme and operational basis of expert system program realization.

Keywords: machine-piece locating, expert system, rulebase, surface, formal ontology, ontological analysis.

*Sergei Smirnov, Doctor of Technics, Director.*

*E-mail: smirnov@iccs.ru*