

УДК 681.3.016(075)

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

© 2011 С.В. Смирнов

Учреждение Российской академии наук  
Институт проблем управления сложными системами РАН, г. Самара

Поступила в редакцию 14.12.2011

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 разноплановые методы: от векторной алгебры до теории решеток. Статья разделена на две относительно независимые части для удовлетворения ограничений на объем публикуемого материала.

Ключевые слова: эвристика, экспертная система, база правил, базирование детали, поверхность, геометрическая погрешность, формальная грамматика, онтологический анализ.

### ВВЕДЕНИЕ

Придание детали требуемого положения относительно выбранной системы отсчета, или *базирование* – один из важнейших переходов в технологии машиностроения [1]. В предметной области (ПрО) базирования оперируют понятиями “база” – поверхность (или сочетание поверхностей) детали, используемая для базирования, “схема базирования” – набор баз, каждая из которых устанавливает то или иное ограничение на перемещение детали в трехмерном пространстве, “погрешность базирования” – линейные и угловые отклонения положения некоторой *актуальной* поверхности детали. Исчерпывающие определения этих и других понятий рассматриваемой ПрО приведены в [2].

В общем случае проблематика задачи базирования детали определяется довольно большим объемом значимых, но *слабо формализуемых знаний* ПрО, имеющихся у опытных специалистов. Это стимулировало разработку прототипа экспертной системы для решения задачи базирования детали, сочетающей элементы расчета и опыт экспертов-технологов [3, 4]. Подход к моделированию ПрО включал тезис о гетерогенной проблематичности чисто геометрического подхода к оценке погрешности ориентации детали в трехмерном пространстве, опирался на эвристические принципы моделирования деталей, сформулированные в работе [5], а база правил, определявших формирование допустимых схем базирования и их ранжирование, “извлекалась” из экспертов методами инженерии знаний [6].

Результативность созданной экспертной системы была апробирована при решении задач базирования в процессах автоматизированной сборки. Тем не менее, достоверность принятого эвристического подхода требовала дополнительной аргументации. Именно такую *валидацию* различных аспектов ранее выполненной прикладной разработки доставляет данная публикация.

В первой части статьи рассматриваются два вопроса:

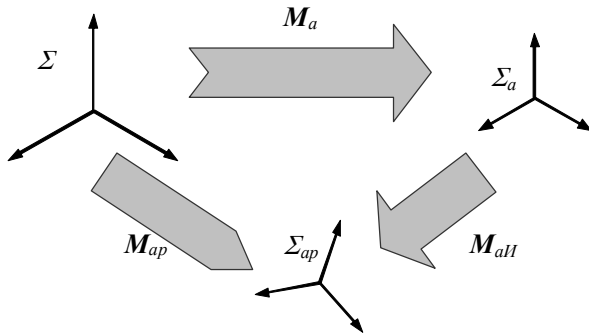
- анализируются *границы применимости* в задаче базирования чисто геометрического подхода к оценке погрешности ориентации детали в трехмерном пространстве;
- указывается способ систематизации и увязывания всех правил назначения ролей поверхностей детали в базировании, обеспечивающий *полноту* этого набора правил и определяющий *процедурную семантику* их применения при формировании допустимого комплекта баз детали.

Во второй части статьи приводятся результаты информационно-логического анализа ПрО задачи базирования деталей с построением *формальных онтологий* [6], и, в частности, с учетом новых достижений *онтологического анализа* [7, 8] обосновывается примененный в экспертной системе способ моделирования деталей.

### 1. МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ОРИЕНТАЦИИ ДЕТАЛИ В СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В технологических процессах сборки базирование должно обеспечить прежде всего надлежащую ориентацию тех поверхностей детали, ко-

Смирнов Сергей Викторович, доктор технических наук, директор. E-mail: smirnov@iccs.ru



**Рис. 1.** Идеальное и реальное положение актуальной поверхности относительно опорной системы координат детали:

$\Sigma$  – опорная система координат детали,  $\Sigma_a$  и  $\Sigma_{ap}$  – собственные системы координат актуальной поверхности соответственно в идеальном и реальном положениях

которые войдут при выполнении сборочной операции в контактную связь с поверхностями других деталей сборочной единицы. Упрощая ситуацию, можно рассматривать задачу ориентации с заданной точностью какой-либо одной из этих сопрягаемых поверхностей монтируемой детали. Такую сопрягаемую поверхность будем именовать далее *актуальной* (АП).

Погрешность положения АП может быть полностью определена величинами *смещения начала и поворотов осей* собственной системы координат. Соответствующее отклонение положения АП от ее *идеального положения*, возникшее в процессе изготовления детали, формально может быть описано с помощью *матрицы преобразований* [9]:

$$M_{alt} = \begin{pmatrix} & A & \Delta x \\ & & \Delta y \\ & & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где  $A$  – матрица направляющих косинусов, описывающая повороты осей собственной системы координат АП в трехмерном пространстве (и, следовательно, описывающая отклонение оси или нормали этой поверхности), а  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  определяют смещение начала собственной системы координат, то есть смещение точки привязки АП.

Если  $M_a$  и  $M_{ap}$  – преобразования координат соответствующие идеальному и реальному положению собственной системы координат АП *относительно опорной координатной системы детали* (рис. 1), то получаем

$$M_{ap} = M_{alt} M_a. \tag{1}$$

Оставаясь в рамках геометрической модели детали и полагая идеальными геометрические

свойства устройства, осуществляющего базирование детали, можно констатировать, что отклонение расположения АП определяют только *два фактора*: неточность изготовления детали в части отклонения положения ее поверхностей от номинального и состав комплекта баз.

Действие первого фактора в некотором смысле *абсолютно*, поскольку при его отсутствии (т.е. при идеальном изготовлении детали) действие второго фактора в рассматриваемых условиях равно нулю. Своеобразие действия второго фактора состоит в следующем.

Без ограничения общности базирование можно рассматривать как *совмещение* опорной системы координат детали с координатной системой “базирующего” устройства. Тогда базирование как установление контактных связей с конкретным набором реальных поверхностей детали (или комплектом баз) естественно интерпретировать как *преобразование опорной системы координат детали*. Иначе говоря, осуществляется переход от исходной *идеальной* опорной системы координат к *реальной* опорной системе координат, построенной на избранных *неидеальных* базах детали.

Необходимое положение АП относительно идеальной опорной системы координат детали (и, следовательно, относительно координатной системы базирующего устройства) априори известно. Действительное положение АП детали в результате базирования должно быть определено относительно координатной системы базирующего устройства или в соответствии с высказанными выше соображениями относительно новой, т.е. реальной, опорной системы координат детали. Если это действительное положение будет определено, то отклонение положения АП будет получено по аналогии с формулой (1).

Рис. 2 иллюстрирует процесс образования погрешности ориентации детали в результате базирования. Ниже приводятся необходимые выкладки и комментарии.

Координаты произвольной точки  $F$ , представленной в опорной системе координат  $\Sigma$  вектором  $R$ , в собственной системе координат АП детали  $\Sigma_a$ , соответствующей идеальному положению этой поверхности, можно определить из соотношения  $R_a = M_a R$ , где  $M_a$  – преобразование, связывающее системы  $\Sigma$  и  $\Sigma_a$ ,  $R_a$  – радиус-вектор точки  $F$  в системе координат  $\Sigma_a$  (см. рис. 2).

Отклонение положения АП после изготовления детали описываем как перенос и поворот системы  $\Sigma_a$ ;  $\Sigma_{ap}$  обозначает собственную систему координат АП реальной детали, а  $M_{alt}$  – преобразование, связывающее  $\Sigma_a$  и  $\Sigma_{ap}$  (рис. 2). Имеем

$$R_{ap} = M_{alt} R_a = M_{alt} M_a R. \tag{2}$$

Базирование детали по поверхностям, у которых в процессе изготовления образовалось

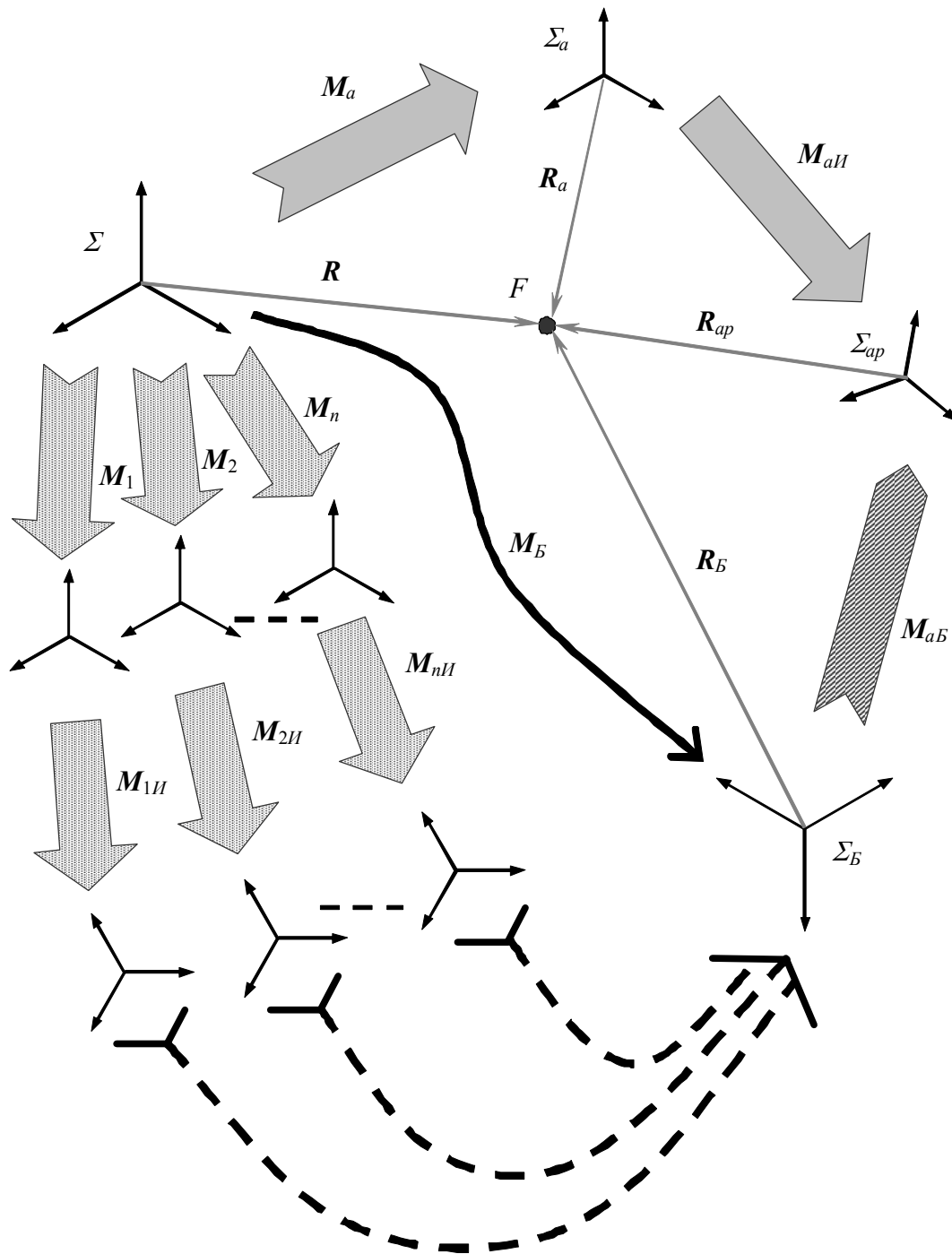


Рис. 2. Модель образования погрешности ориентации актуальной поверхности в результате предоперационного базирования детали

отклонение положения, рассматриваем как занятие системой  $\Sigma$  нового положения  $\Sigma_b$ . Если  $M_B$  - преобразование, связывающее  $\Sigma$  и  $\Sigma_b$ , то радиус-вектор  $R_b$  точки  $F$  в реальной опорной системе координат детали  $\Sigma_b$  определится выражением  $R_b = M_B R$ .

Пространственная геометрическая связь координатных систем  $\Sigma$  и  $\Sigma_b$  зависит от состава выбранных баз и отклонений положения соответствующих поверхностей детали:

$$M_B = M_B(M_1, M_2, \dots, M_n, M_{1II}, M_{2II}, \dots, M_{nII}), \quad (3)$$

где  $n$  – количество баз (т.к. каждая из них лишает деталь хотя бы одной степени свободы, то  $n \geq 6$ ),  $M_i, M_{iII}, i = 1, \dots, n$  – преобразования, определяющие соответственно идеальное положение каждой базы и отклонение положения этой базы от идеального у конкретной детали (см. рис. 2).

Принципиальной особенностью формирования пространственно-геометрической связи между  $\Sigma$  и  $\Sigma_b$  является *неполнота* пространственных размерных цепей [1], выстраиваемых между координатными системами  $\Sigma_i, i = 1, \dots, n$ ,

каждой отдельно взятой базы и системой  $S_B$ . Неполнота подобной размерной сети заключается в том, что действительное положение собственной координатной системы каждой базы определено лишь *частично*: из шести степеней свободы пространственного положения этой системы исключены лишь те, которые “связывает” данная база.

Например, если база является установочной [2], и конкретно ею реализуется неполная схема связей, препятствующая перемещению детали в направлении оси  $Ox$ , вокруг осей  $Oy$  и  $Oz$  опорной системы координат, то положение собственной системы координат этой базы определено лишь с точностью до указания направления оси абсцисс (т.е. положение начальной точки, ординаты и аппликаты, вообще говоря, произвольны).

Расчет  $M_B$  очевидно связан с решением системы уравнений, структура которой определяется пространственными размерными цепями между собственными системами координат каждой из избранных баз и координатной системой  $\Sigma_B$ , а неизвестными являются элементы матрицы  $M_B$  (при этом не исключается и случай выбора в качестве одной из баз АП).

Действительное положение АП в результате базирования детали может быть описано преобразованием  $M_{ab}$ , связывающим системы координат  $\Sigma_B$  и  $\Sigma_{ap}$  (см. рис. 2). Тогда справедливо

$$R_{ap} = M_{ab} R_B = M_{ab} M_B R. \quad (4)$$

Объединяя (2) и (4) получим искомый аналог формулы (1), выражающий в данном случае отклонение положения АП детали при выборе некоторого допустимого комплекта баз:

$$M_{ab} = M_{aII} M_a M_B^{-1}. \quad (5)$$

Таким образом, располагая в качестве исходных данных сведениями об идеальном положении АП и любой иной поверхности детали, пригодной для базирования, об отклонении положения каждой из этих поверхностей после изготовления детали, о выбранном комплекте баз, по формуле (5) можно определить отклонение положения АП детали в результате выполненного базирования.

Оценивая сложность и саму возможность использования результатов проведенного анализа, необходимо отметить следующее.

Во-первых, в отличие от преобразований вида  $M_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , которые характеризуют идеальные положения поверхностей детали и известны априори (например, из рабочих чертежей), преобразования вида  $M_{iip}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , априори (т.е. до изготовления детали) могут быть лишь приближенно оценены. Информацией для подобной оценки могут служить сведения из рабочих чертежей о допусках размеров и допустимых погрешностях расположения составных частей детали. Не ис-

ключено, что в общем случае оценка интересующих нас преобразований, учитывающая все виды допустимых погрешностей изготовления детали, может оказаться нетривиальной аналитической задачей. (Здесь мы не касаемся того важного вопроса, что в действительности при проектировании детали необходимо решать *обратную задачу*: требования к точности изготовления детали предъявлять в частности и “со стороны” технологического процесса сборки.)

Альтернативным способом определения реального положения поверхностей детали является непосредственное измерение параметров этого положения для каждой данной детали. Разумеется, экономически такой подход может оказаться оправданным лишь при сборке высокоточных сборочных единиц. При этом методики измерений и моделирование реального положения поверхностей могут быть различны. Например, можно на основании серии замеров определить действительное положение собственной системы координат конкретной поверхности путем некоторого “осреднения” (метод “среднего положения”); более сложным представляется моделирование на основе минимаксного подхода и т.п. [10].

Во-вторых, необходимо располагать эффективным методом отыскания преобразования (3).

Наконец, расчет отклонения АП в соответствии с (5) в общем случае должен быть произведен для каждого допустимого комплекта баз. Сложность этого расчета для отдельно взятого комплекта баз и экспоненциальный рост мощности множества допустимых комплектов баз при увеличении количества поверхностей детали, пригодных для базирования, делает реальное использование рассмотренного - чисто геометрического - подхода к оценке отклонения АП детали для выбора способа базирования весьма проблематичным, *практически нереализуемым*.

Таким образом, по крайней мере, для массового машиностроения оправдано создание экспертной системы, поддерживающей технологов при решении задач базирования. Тем самым оказывается решенным один из основных вопросов *этапа “выбора проблемы”* в технологии разработки экспертных систем [6].

## 2. ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА И ПОЛНОТЫ МНОЖЕСТВА ПРАВИЛ ВЫБОРА КОМПЛЕКТА БАЗ

Учитывая, что в качестве баз целесообразно использовать *хорошо* обработанные поверхности детали, и принимая во внимание ограниченный технологический потенциал массового машиностроения в [5] был выдвинут ряд упроща-

ющих положений относительно геометрии поверхностей детали, пригодных для базирования. Здесь отметим лишь два из них, которые непосредственно определяют правила формирования допустимых комплектов баз детали:

- Имеются четыре основных типа поверхностей, используемых при базировании детали: *плоские, цилиндрические, конические и сферические*. Плоские поверхности характеризуются параметрами ограничивающих фигур, в качестве которых фактически могут выступать лишь *прямоугольник, круг и кольцо*. Цилиндрическая поверхность, произвольно усеченная при формообразовании детали, оставляет, тем не менее, возможность ее описания параметрами “диаметр” и “длина”. Аналогично коническая поверхность описывается величиной большого диаметра, длиной и углом между осью и образующей, а сферическая – диаметром.

- Ориентация пригодных для базирования поверхностей детали имеет четко выраженный характер: ось  $O_z$  собственной системы координат поверхности коллинеарна какой-либо из осей опорной системы координат детали. Тогда *пространственное положение поверхности* полностью определяется координатами точки  $O_s$  (“точка привязки”) и ориентацией  $O_z$  (“опорная ось”).

Представление о выборе допустимого комплекта баз при установке детали основывается на известных из теоретической механики положениях о *двусторонних геометрических, или кинематических, связях твердого тела* [1, 2]: наложение одной геометрической связи лишает тело возможности перемещаться либо вдоль одной из трех осей выбранной системы координат, либо вокруг одной из этих осей (в качестве такой координатной системы в дальнейшем используется опорная система координат детали; это не умаляет общности рассуждений, а служит лишь их определенности и лаконичности записей). Существо подхода состоит в фиксации знаний о *возможных геометрических связях каждого из введенных типов поверхностей и распределении таких связей между поверхностями данной детали* (т.е. определении ролей поверхностей, пригодных для базирования, в реализации геометрических связей). На этой основе легко построить алгоритм, выводящий все допустимые комплекты баз детали.

Допустимые комплекты баз детали *определяются минимально полными схемами связей*. Под *схемой связей* мы понимаем конкретный вариант наложения на деталь геометрических связей. *Полной* считаем схему связей, лишаящую деталь всех шести степеней свободы в трехмерном пространстве. Такая схема будет *минимально полной*,

если у реализующего ее комплекта баз отсутствуют *пересечения ролей* баз в схеме связей. Уже использовавшееся понятие “*комплект баз*” здесь и далее по необходимости имеет более широкий смысл, чем определено в [1], и обозначает множество всех баз детали, на которых помещаются *опорные точки* [1], символизирующие связи детали с опорной системой координат.

Допустимые роли поверхностей в образовании кинематических связей детали задают известные в теории базирования дефиниции *физически реализуемых баз* [1, 2]: *опорная-1*  $\{a\}$ , *опорная-2*  $\{\hat{a}\}$ , *двойная опорная*  $\{a, b\}$ , *тройная опорная*  $\{a, b, c\}$ , *направляющая*  $\{a, \hat{b}\}$ , *двойная направляющая*  $\{a, b, \hat{a}, \hat{b}\}$  и *установочная*  $\{a, \hat{b}, \hat{c}\}$ . Здесь  $a, b, c \in L = \{x, y, z\}$ ,  $a \neq b, a \neq c, b \neq c$  – отличительные атрибуты соответствующих понятий,  $a, x, y, z$  – факты связывания перемещения детали в направлениях одноименных координатных осей, тег “ $\hat{\phantom{a}}$ ” – указывает вращение детали вокруг оси.

Задача выявления *физически реализуемой минимально полной схемы связей* теперь может быть сведена к *разложению* полной схемы  $V = \{x, y, x, \hat{x}, \hat{y}, \hat{z}\}$  на непересекающиеся подмножества, каждое из которых описывает физически реализуемую схему связей. Например,  $V = \{x, \hat{y}, \hat{z}\} \cup \{y, \hat{x}\} \cup \{z\}$ .

Таким образом, получаем, что *допустимый комплект баз* – это набор поверхностей, каждой из которых взаимно однозначно сопоставлена физически реализуемая схема связей в некотором допустимом разложении полной схемы связей.

При упомянутых выше допущениях о конфигурации и ориентации поверхностей, пригодных для базирования, *знания* о возможной роли поверхности детали в базировании могут быть легко обобщены и представлены средствами *логики первого порядка*. Например, в форме правил определения роли поверхности, которые их можно *систематизировать* в формальной грамматике некоторого языка описания подобных ролей, т.е. известные принципы порождения формальных грамматик с необходимостью обеспечивают *полноту корпуса правил выбора комплекта баз детали*.

Однако экспертиза ПрО показывает, что правила определения роли поверхности в базировании детали должны применяться, во-первых, в зависимости от достигнутой полноты комплекта баз детали, а, во-вторых, в зависимости от ориентации поверхности в трехмерном пространстве. Т.е. существует *вторая группа правил* определения ролей поверхности в базировании, которая регламентирует применение первой группы таких правил.

Систематизации связей этих двух групп ус-

ловий можно добиться *атрибутируя* [11] синтаксические правила, фиксируемые грамматикой описания ролей поверхностей, ссылками на правила (процедуры) семантического контроля, регулирующие определение роли поверхности. Ниже в расширенной нотации Бэкуса-Наура приводится такая атрибутированная грамматика описания роли поверхности в базировании детали (элементы множества  $V$  считаются терминальными символами). Правила атрибутируются номерами соответствующих процедур семантического контроля, причем номеру предшествует знак “\*”. Описание завершается раскрытием содержания каждой из таких процедур.

Грамматика языка описания роли поверхности в базировании:

- 1) Описание роли поверхности детали =  
Роль плоской поверхности |  
Роль цилиндрической, или конической, или сферической поверхности.
- 2) Роль плоской поверхности =  
Роль собственно плоской поверхности “+”  
Роль скрытых баз плоской поверхности.
- 3) Роль собственно плоской поверхности =  
Опорная база \*0\*1 | Направляющая база \*0\*2 | Установочная база \*0\*3 | Никакая.
- 4) Роль скрытых баз плоской поверхности =  
“(“ Роль первой перпендикулярной плоскости “+”  
Роль второй перпендикулярной плоскости “)””.
- 5) Роль первой перпендикулярной плоскости =  
Опорная база \*0\*4 | Направляющая база \*0\*5 | Никакая.
- 6) Роль второй перпендикулярной плоскости =  
Опорная база \*0\*4 | Направляющая база \*0\*5 | Никакая.
- 7) Роль цилиндрической, или конической, или сферической поверхности =  
Роль собственно поверхности “+” Роль скрытых баз поверхности.
- 8) Роль собственно поверхности =  
Опорная база \*0\*4 | Направляющая база \*0\*5 | Двойная опорная база \*0\*6 | Двойная направляющая база \*0\*6 | Никакая.
- 9) Роль скрытых баз поверхности =  
“(“ Роль продольных сечений поверхности “)”+”  
Роль поперечного сечения поверхности “+” Роль оси поверхности “)””.
- 10) Роль продольных сечений поверхности =  
Роль первого продольного сечения поверхности “+”  
Роль второго продольного сечения поверхности.
- 11) Роль первого продольного сечения поверхности =  
Опорная база \*0\*4 | Направляющая база \*0\*5 | Никакая.
- 12) Роль второго продольного сечения по-

верхности =

Опорная база \*0\*4 | Направляющая база \*0\*5 | Никакая.

13) Роль поперечного сечения поверхности =  
Опорная база \*0\*1 | Направляющая база \*0\*2 | Никакая.

14) Роль оси поверхности =  
Двойная опорная база \*0\*6 | Двойная направляющая база \*0\*6 | Никакая.

15) Опорная база = “{“  $x$  “}” | “{“  $y$  “}” | “{“  $z$  “}” | “{“  $\wedge x$  “}” | “{“  $\wedge y$  “}” | “{“  $\wedge z$  “}””.

16) Направляющая база =  
“{“  $x, \wedge y$  “}” | “{“  $x, \wedge z$  “}” | “{“  $y, \wedge x$  “}” | “{“  $y, \wedge z$  “}” | “{“  $z, \wedge x$  “}” | “{“  $z, \wedge y$  “}””.

17) Установочная база = “{“  $x, \wedge y, \wedge z$  “}” | “{“  $y, \wedge x, \wedge z$  “}” | “{“  $z, \wedge x, \wedge y$  “}””.

18) Двойная опорная база = “{“  $x, y$  “}” | “{“  $x, z$  “}” | “{“  $y, z$  “}””.

19) Двойная направляющая база = “{“  $x, y, \wedge x, \wedge y$  “}” | “{“  $x, z, \wedge x, \wedge z$  “}” | “{“  $y, z, \wedge y, \wedge z$  “}””.

20) Никакая = “{“ “}””.

*Правила семантического контроля:*

0) Проверка полноты и минимальности схемы связей, которая возникает при назначении рассматриваемой поверхности роли, устанавливаемой правилом грамматики.

Если  $B_{t-1}$  – схема связей, сформировавшаяся к моменту применения правила,  $B_t$  – возникающая после планируемого назначения роли, а  $B$  – минимально полная схема связей, то контролируемые условия имеют вид:

$$B_t \cap B_{t-1} = B_{t-1}, B_t \subset B.$$

1) Если роль рассматриваемой поверхности  $S$  как опорной базы направлена на связывание перемещения вдоль оси опорной системы координат, то такой осью может быть лишь ось, перпендикулярная к плоскости  $S$ , т.е.  $\{a\} \rightarrow a = \mathbf{dir}(S)$ , где функция  $\mathbf{dir}$ , принимающая значения во множестве  $L$ , указывает опорную ось поверхности  $S$ .

Если роль  $S$  состоит в связывании вращения (и только вращения) вокруг оси опорной системы координат, то  $\{^a\} \rightarrow a \in L \setminus \{\mathbf{dir}(S)\}$ .

Аналогично формулируются остальные правила второй группы.

2)  $\{a, ^b\} \rightarrow a = \mathbf{dir}(S)$ .

3)  $\{a, ^b, ^c\} \rightarrow a = \mathbf{dir}(S)$ .

4)  $\{a\} \rightarrow (a \in L \setminus \{\mathbf{dir}(S)\}) \text{ И } (\{^a\} \rightarrow a \neq \mathbf{dir}(S))$ .

5)  $\{a, ^b\} \rightarrow (a \in L \setminus \{\mathbf{dir}(S)\}) \text{ И } b \neq \mathbf{dir}(S)$ .

6)  $\{a, b\} \text{ И } \{a, b, ^a, ^b\} \rightarrow a, b \in L \setminus \{\mathbf{dir}(S)\}$ .

Во второй части статьи будет показано, что правила экспертной системы в действительности следует рассматривать как *аксиомы онтологий* ПрО задачи базирования деталей, что окончательно продемонстрирует их полноту и легитимность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлена обоснованность двух важных составляющих эвристического подхода к решению задачи базирования детали.

Во-первых, показано, что решение задачи, опирающееся на аналитическую оценку геометрической погрешности базирования, отягощено существенными проблемами: неполнотой исходной информации, технической сложностью ее восполнения, быстрым ростом вычислительных затрат. Эти обстоятельства, дополненные наблюдениями успешного преодоления подобных проблем опытными технологами, делает экономически и практически оправданной разработку экспертных систем в рассматриваемой предметной области.

Второй результат связан с найденной возможностью систематического описания части правил из базы знаний экспертной системы, ответственных за генерацию допустимых вариантов решения задачи – конструирование физически реализуемых комплектов баз. Как оказалось, эта возможность была предопределена разумными упрощающими предположениями о характере поверхностей, пригодных для использования в качестве баз.

Дальнейшее обоснование эвристик и экспертных решений для рассматриваемой задачи будет достигнуто путем построения (в том числе путем вывода из экспериментальных данных) формальных онтологий предметной области задачи базирования детали.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балакишин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения: Кн. 2. Основы технологии машино-

- строения. М.: Машиностроение, 1982. 368 с.
2. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. М.: Изд. стандартов, 1976. 35 с.
3. *Vittikh V.A., Smirnov S.V.* 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. *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.
6. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
7. *Смирнов С.В.* Онтологический анализ предметных областей моделирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т. 3. № 1. С. 66-71.
8. *Смирнов С.В.* Построение онтологий предметных областей со структурными отношениями на основе анализа формальных понятий // Знания – Онтологии – Теории: Материалы Всероссийской конф. с международным участием (3-5 октября 2011 г., Новосибирск, Россия). Т. 2. Новосибирск: Институт математики СО РАН, 2011. С. 103-112.
9. *Розенфельд Б.А.* Многомерные пространства. М.: Наука, 1966. 647 с.
10. *Мушик Э., Мюллер П.* Методы принятия технических решений: Пер. с нем. М.: Мир, 1990. 208 с.
11. *Серебряков В.А.* Методы атрибутивной трансляции // Языки программирования. М.: Наука, 1985. С. 47-79.

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

© 2011 S.V. Smirnov

Institution of the Russian Academy of Sciences  
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 actions of experts. 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. The paper is divided on two rather independent parts for the satisfaction of the restrictions on the volume of the published material.

Keywords: heuristics, expert system, base of rules, machine-piece locating, surface, geometrical error, formal grammar, ontological analysis.