

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ**

УДК 004.632.5:004.415.2

*Ю. В. ПОЛОЗКОВ, Д. П. КУНКЕВИЧ, А. В. БОРОДУЛЯ***СИСТЕМНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СТРУКТУРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ  
КОНФИГУРАЦИИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ»***Белорусский национальный технический университет**(Поступила в редакцию 26.02.2015)*

**Введение.** Ключевым фактором достижения эффективности в промышленном производстве является формирование единой информационной среды на основе взаимодействия систем CAD/CAE/CAPP/CAM для обеспечения сквозной автоматизации производственного процесса и сопровождения последующих этапов жизненного цикла изделия [1, 2]. В реализации этого взаимодействия особую актуальность имеет проблема автоматизации технологической подготовки производства. Одна из важнейших задач ее решения – разработка методов описания конструкторско-технологических элементов (КТЭ), совокупностью которых может быть представлена поверхность технического объекта при разработке технологии его изготовления [3–7]. В процессе формализации КТЭ наиболее объективным и стабильным фактором является геометрическая форма поверхности, характеризующая КТЭ независимо от функционального назначения, технологических возможностей, производственных традиций, новых инженерных подходов и т. п. Построение модели КТЭ, основанной на описании геометрической конфигурации, осуществляется путем декомпозиции глобальной поверхности деталей и анализа особенностей ее строения на уровне отсеков поверхности [7]. В связи с этим в данной статье на примере деталей типа «тела вращения» рассматриваются вопросы декомпозиции глобальной поверхности деталей на составляющие отсеки поверхности и синтеза геометрической структуры КТЭ, заданных множеством отсеков поверхности. В аспекте такого представления КТЭ излагается подход к их систематизации, направленной на автоматизацию процедур построения баз данных и создание шаблонов описания геометрической структуры КТЭ.

**Основные положения декомпозиции поверхности КТЭ на уровне отсеков.** В [7] показана необходимость представления поверхности физического тела множеством ее отсеков, каждый из которых является участком поверхности одного вида (плоской, цилиндрической, конической, сферической, торовой и др.), отделенным от поверхности другого вида граничной линией или плавнопереходящим в поверхность другого вида. При таком рассмотрении один или несколько отсеков составляют фрагмент поверхности, под которым может пониматься КТЭ детали (фрагмент, предназначенный для выполнения определенной конструкторской, технологической или иной функции и изготовленный посредством одного или нескольких технологических маршрутов, сформированных из набора переходов). Тогда геометрическая конфигурация КТЭ на уровне отсеков может быть представлена в виде [7]

$$M = \langle S, O_S, Q_P \rangle, \quad (1)$$

где  $S$  – множество отсеков поверхности,  $O_S$  – множество взаимных отношений между отсеками,  $Q_P$  – множество свойств КТЭ.

Компонента  $S$  включает в себя набор параметров, характеризующих особенности геометрического строения каждого из отсеков поверхности рассматриваемого объекта. Они могут быть получены, например в результате чтения данных из форматов хранения геометрической информации STEP, IGES и т.п. На основе анализа параметров отсеков устанавливаются их взаимные отношения, формирующие геометрическую структуру КТЭ:

$$O_S = \{O_i, P, R_S, W, I\}, \quad (2)$$

где  $O_i$  – порядок сопряжения,  $P$  – взаимное расположение,  $R_S$  – относительные размеры,  $W$  – значимость (вес),  $I$  – инвариантность отсеков.

Для программной реализации описания КТЭ с помощью отсеков поверхности составляются таблицы основных терминов с их цифровым кодированием. В них присваиваются определенные индексы видам, типам отсеков, взаимному расположению и др. Информация кодировочных таблиц используется при структурном описании поверхности КТЭ, общий алгоритм которого включает в себя следующие основные шаги (рис. 1) [7]:

*шаг 1. Составление таблиц исходных данных.* Определяются виды отсеков (рис. 1, б), формируются таблицы взаимного расположения отсеков (табл. 1) и их смежности (табл. 2). Таблицы имеют вид, аналогичный верхнетреугольной матрице с нулевой диагональю. Номера строк и столбцов табл. 1, 2 соответствуют номерам отсеков поверхности. В ячейках табл. 2 на пересечении соответствующих строк и столбцов записывается единица, если данные отсеки являются смежными, в противном случае выставляется нуль;

*шаг 2. Формирование производных таблиц.* Определяются типы отсеков, упорядочивается их нумерация в соответствии со смежностью (рис. 1, в), а также перестраиваются все ранее построенные таблицы в соответствии с новой нумерацией. Например, табл. 2 после преобразований примет вид табл. 3;

*шаг 3. Описание параметров с нечеткими значениями.* Анализируются относительные размеры, устанавливаются значимость, инвариантность, назначение отсеков и др. Выполнение данной процедуры обусловлено необходимостью увязки структурно-геометрического описания поверхности рассматриваемого объекта или его фрагмента с возможными вариантами ее технологического исполнения, а также с традиционно сложившимися подходами в ассоциировании, наименовании и классификации КТЭ, деталей машин и механизмов.

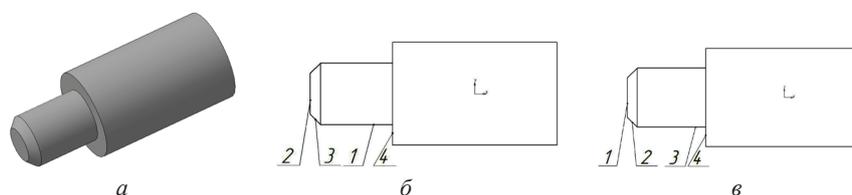


Рис. 1. Представление в виде отсеков поверхности ступени с фаской:  $a$  – модель детали;  $b$  – исходная (произвольная) последовательность отсеков;  $v$  – последовательность отсеков в соответствии с их смежностью; 1–4 – номера отсеков

Таблица 1. Взаимное расположение отсеков

	1	2	3	4
1	0	3	3	1
2	0	0	3	3
3	0	0	0	3
4	0	0	0	0

Таблица 2. Смежность отсеков

	1	2	3	4
1	0	0	1	1
2	0	0	1	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0

Таблица 3. Перестроенная таблица смежности отсеков

	1	2	3	4
1	0	1	0	0
2	0	0	1	0
3	0	0	0	1
4	0	0	0	0

В результате декомпозиции поверхности, при выполнении которой элементарными (базовыми) конструктами являются отсеки поверхности, формируется информация, позволяющая описать структурно-геометрическую конфигурацию как дискретных фрагментов технического объекта, так и его поверхности в целом (рис. 2). Это позволяет варьировать глубиной дискретного представления для обеспечения корректного толкования понятия «конструктивно-технологический

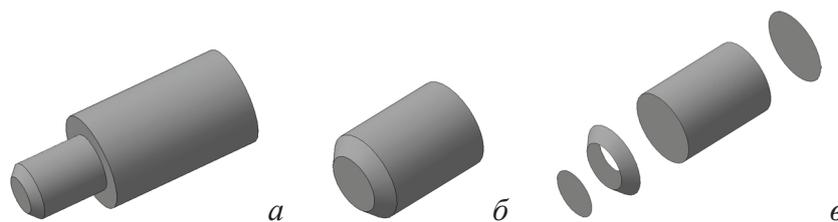


Рис. 2. Пример вариантов представления СТЭ: *а* – фрагмент поверхности как СТЭ части детали; *б* – поверхность целостной детали как один СТЭ; *в* – фрагмент поверхности как множество СТЭ

элемент» в различных практических ситуациях. Анализ применяемых в теории и практике классификаций [3, 4, 8, 9], технологий изготовления различного рода изделий, а также прикладных библиотек типовых элементов систем CAD, CAPP показал, что СТЭ трактуются весьма неоднозначно в зависимости от производственных условий, целей проектирования, опыта специалистов и др. В ряде случаев фрагмент поверхности неизменной пространственной формы может выступать в качестве СТЭ детали (рис. 2, *а*), собственно самой (целостной) деталью (рис. 2, *б*), а также представляться множеством отдельных СТЭ (рис. 2, *в*), например торец, фаска и др. При этом технологии изготовления этого фрагмента в зависимости от различных вариантов интерпретации СТЭ могут принципиально отличаться. Приведенный пример демонстрирует необходимость разработки инструментов управления глубиной дискретного представления в процессе автоматизации описания СТЭ.

Для управления глубиной дискретного представления СТЭ требуется разработка принципов систематизации СТЭ различного уровня дискретизации, удобной формы записи информации для создания шаблонов описания СТЭ, а также алгоритмов синтеза СТЭ на основе заданного множества отсеков поверхности и уровня дискретного представления. Решение этих задач позволит преодолеть сложности, обусловленные неоднозначностью в определении СТЭ, которые возникают в процессе автоматизации процедур выделения СТЭ на глобальной поверхности деталей, генерации шаблонов структурно-геометрического и технологического описания СТЭ, хранения и поиска информации о СТЭ.

**Систематизация СТЭ на основе структурного описания отсеков поверхности.** В аспекте конструкторско-технологического описания глобальную поверхность детали можно рассматривать как иерархическую структуру, построенную на основе анализа геометрической формы, взаимоположения и других свойств и отношений дискретных СТЭ [4, 5, 8–11]. При построении этой структуры можно выделить родительские и дочерние СТЭ [5]. В дальнейшем рассматриваются базовые, основной формы СТЭ, которые не содержат дочерние СТЭ.

Для систематизации СТЭ различного уровня дискретного представления целесообразно принять в качестве основного инварианта описания СТЭ количество ограничивающих отсеков. По данному признаку СТЭ можно распределить на  $n$  уровней (табл. 4). СТЭ 1-го уровня ограничиваются одним отсеком поверхности (например, сфера, тор). Следует заметить, что один отсек поверхности, например цилиндрический, не всегда позволяет задавать геометрические тела, т. е. поверхности, ограничивающие некоторый объем пространства. Данное положение справедливо и для поверхностей, получаемых в результате многих вариантов пересечения отсеков. Однако такие отсеки и варианты пересечений поверхностей могут служить для описания сквозных и глухих отверстий, а также задавать составную часть тела, соответствующего физическому СТЭ. В этой связи для структурного описания СТЭ целесообразно ввести понятия замкнутого, частично замкнутого и незамкнутого элемента. При этом частично замкнутый и незамкнутый элементы могут быть преобразованы в замкнутый элемент посредством добавления одного или нескольких отсеков (например, плоскости) для полного ограничения пространственного объема. Понятие замкнутости СТЭ позволяет отнести к элементам 1-го уровня плоский, конический, цилиндрический и любые другие отсеки поверхности, что обеспечивает универсальность построения иерархии СТЭ. Элементы 2-го и последующих уровней представляют собой комбинации элементов 1-го уровня. Так, СТЭ 2-го уровня ограничиваются двумя отсеками (например, полусфера ограничивается сферическим и плоским отсеками). СТЭ 3-го и последующих уровней представляет собой комбинации СТЭ 1-го, 2-го и последующих уровней.

Таблица 4. Примеры иерархического распределения КТЭ по количеству ограничивающих отсеков поверхности

Конструкторско-технологические элементы					
1-й уровень		2-й уровень		3-й уровень	
					
Замкнутый	Незамкнутый	Замкнутый	Частично замкнутый	Замкнутый	Незамкнутый

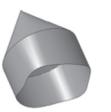
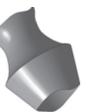
Элементы 1, 2 и 3-го уровней позволяют структурно описывать базовые геометрические тела, которые на практике могут представлять собой относительно простые цельные детали и отверстия. Поэтому они могут быть приняты в качестве основных элементов для синтеза структур, описывающих более сложные КТЭ. Для алгоритмизации описания КТЭ отсекам 1-го уровня присваиваются индексы (номера) на этапе добавления их в заданный динамически расширяемый список. При формировании последующих уровней значения индексов отсеков сохраняются. Построение такой иерархии обеспечивает возможность создания цифровых шаблонов структурно-геометрического описания КТЭ. Создание классов КТЭ 2-го уровня, инвариантной частью которых в основном является взаимное расположение отсеков поверхностей (например, соосность, параллельность, пересечение, скрещивание осей пар отсеков), осуществляется формированием пар отсеков с помощью прямого перебора (каждого с каждым) индексов списка КТЭ (видов отсеков поверхностей) 1-го уровня. Таким образом, классы КТЭ 2-го уровня будут описываться таблицами, соответствующими верхнетреугольным квадратным матрицам, номера строк и столбцов которых соответствуют индексам отсеков поверхностей 1-го уровня (табл. 5). Данные таблицы заполняются значениями, указывающими код взаимного расположения отсеков, входящих в состав КТЭ.

В состав создаваемых классов входят группы, которые подразделяют КТЭ по признаку замкнутости. Они могут подразделяться на подгруппы в зависимости от особенностей геометрической конфигурации поверхности (например, от соотношения размеров отсеков, составляющих пару, от наличия и расположения особых точек поверхности и пр.). По признакам групп и подгрупп окончательно формируется представление о геометрической форме поверхности КТЭ. Группы и подгруппы КТЭ 3-го уровня создаются путем последовательного добавления в каждую группу и подгруппу 2-го уровня индексов КТЭ 1-го уровня.

Условием построения классов является возможность математического задания взаимного положения отсеков таким образом, чтобы поверхность не имела разрывов. Тогда для каждого из вариантов взаимодействия отсеков на любом уровне можно составить таблицу, одновременно описывающую смежность и взаимное расположение отсеков. Исключения составляют КТЭ 1-го уровня, которые описываются только одним отсеком, вследствие этого смежность и взаимное расположение с другими отсеками для них не рассматриваются. В табл. 5 для различных вариантов КТЭ 2-го уровня справа от их изображения приведены примеры таких таблиц, соответствующих квадратным верхнетреугольным с нулевой диагональю матрицам. Наименования строк и столбцов данных таблиц соответствуют индексам видов поверхности сопрягающихся отсеков, которые определяются на этапе анализа сопряжения. На пересечении строк и столбцов указывается код взаимного расположения сопрягающихся отсеков. Таким образом, данные таблицы несут информацию о структуре («скелете») поверхности и могут рассматриваться в качестве основных шаблонов описания КТЭ на заданном уровне. Описание прямой и обратной последовательностей сопряженных отсеков КТЭ возможно путем изменения индексации видов поверхности отсеков в столбцах и строках таблиц-шаблонов.

Построение таблиц-шаблонов на последующих уровнях осуществляется путем увеличения размеров взятого за основу шаблона до количества отсеков, ограничивающих поверхность рассматриваемого КТЭ, и записи данных о добавляемых отсеках, начиная с последней ячейки основного шаблона. Программно-алгоритмическая реализация данной процедуры позволит автоматизировать процесс синтеза составных КТЭ из множества КТЭ различного уровня.

Таблица 5. Примеры соосных КТЭ 2-го уровня

Поверхность	Плоская		Сферическая		Цилиндрическая		Коническая		Гиперболическая																												
	1	2	3	4	5																																
Плоская	-	 <table border="1" data-bbox="343 1243 486 1400"> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	2	1	0	2	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="343 884 486 1041"> <tr><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	3	1	0	3	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="343 526 486 683"> <tr><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	4	1	0	4	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="343 168 486 324"> <tr><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	5	1	0	5	0	0	0
		1	2																																		
1	0																																				
2	0																																				
0	0																																				
1	3																																				
1	0																																				
3	0																																				
0	0																																				
1	4																																				
1	0																																				
4	0																																				
0	0																																				
1	5																																				
1	0																																				
5	0																																				
0	0																																				
Сферическая	-	 <table border="1" data-bbox="550 1243 694 1400"> <tr><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	2	2	2	0	2	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="550 884 694 1041"> <tr><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	2	3	2	0	3	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="550 526 694 683"> <tr><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	2	4	2	0	4	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="550 168 694 324"> <tr><td>2</td><td>5</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	2	5	2	0	5	0	0	0
		2	2																																		
2	0																																				
2	0																																				
0	0																																				
2	3																																				
2	0																																				
3	0																																				
0	0																																				
2	4																																				
2	0																																				
4	0																																				
0	0																																				
2	5																																				
2	0																																				
5	0																																				
0	0																																				
Цилиндрическая	-	<table border="1" data-bbox="726 1243 869 1400"> <tr><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	3	4	3	0	4	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="742 526 885 683"> <tr><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	3	4	3	0	4	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="742 168 885 324"> <tr><td>3</td><td>5</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	3	5	3	0	5	0	0	0									
		3	4																																		
3	0																																				
4	0																																				
0	0																																				
3	4																																				
3	0																																				
4	0																																				
0	0																																				
3	5																																				
3	0																																				
5	0																																				
0	0																																				
Коническая	-	<table border="1" data-bbox="933 1243 1077 1400"> <tr><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	4	4	4	0	4	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="949 526 1093 683"> <tr><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	4	4	4	0	4	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="949 168 1093 324"> <tr><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	4	5	4	0	5	0	0	0									
		4	4																																		
4	0																																				
4	0																																				
0	0																																				
4	4																																				
4	0																																				
4	0																																				
0	0																																				
4	5																																				
4	0																																				
5	0																																				
0	0																																				
Гиперболическая	-	<table border="1" data-bbox="1141 1243 1284 1400"> <tr><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	5	5	5	0	5	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="1157 168 1300 324"> <tr><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	5	5	5	0	5	0	0	0	 <table border="1" data-bbox="1157 168 1300 324"> <tr><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	5	5	5	0	5	0	0	0									
		5	5																																		
5	0																																				
5	0																																				
0	0																																				
5	5																																				
5	0																																				
5	0																																				
0	0																																				
5	5																																				
5	0																																				
5	0																																				
0	0																																				

Примечание. З – замкнутый КТЭ; ЧЗ – частично замкнутый КТЭ; НЗ – незамкнутый КТЭ

**Пример построения таблиц-шаблонов составных КТЭ.** Построение таблиц-шаблонов составных КТЭ путем добавления информации о КТЭ различных уровней наглядно демонстрируется в табл. 6 на примере синтеза КТЭ 4-го уровня, ограниченного плоским, коническим, цилиндрическим и сферическим отсеками, индексы которых соответствуют индексации, принятой в табл. 5. Так, в варианте I табл. 6 к взятому за основу КТЭ 2-го уровня добавляется один новый цилиндрический отсек поверхности. Это выполняется путем увеличения размера таблицы-шаблона на один столбец и одну строку, соответствующих новому сопряженному отсеку, и записи в ячейку, расположенную на пересечении последней строки и предпоследнего столбца, кода взаимного расположения предпоследнего и последнего отсеков. По аналогии можно добавлять данные о новом отсеке в начало таблицы. В результате получается таблица-шаблон, описывающая КТЭ 3-го уровня. Окончательное решение для КТЭ 4-го уровня формируется путем повторения описанной процедуры для записи данных о сферическом отсеке поверхности. Таким образом, последовательное добавление новых отсеков к рассматриваемой таблице-шаблону позволяет описывать КТЭ различных уровней.

Таблица 6. Построение матриц-шаблонов составных КТЭ

	Основной КТЭ 2-го уровня	Добавление КТЭ 1-го уровня	Добавление КТЭ 1-го уровня	Результат КТЭ 4-го уровня																																																																											
<b>Вариант I</b>																																																																															
	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>		1	4	1	0	3	4	0	0	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>4</td><td>3</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>		1	4	3	1	0	3	0	4	0	0	3	3	0	0	0	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>		1	4	3	2	1	0	3	0	0	4	0	0	3	0	3	0	0	0	3	2	0	0	0	0	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>		1	4	3	2	1	0	3	0	0	4	0	0	3	0	3	0	0	0	3	2	0	0	0	0
	1	4																																																																													
1	0	3																																																																													
4	0	0																																																																													
	1	4	3																																																																												
1	0	3	0																																																																												
4	0	0	3																																																																												
3	0	0	0																																																																												
	1	4	3	2																																																																											
1	0	3	0	0																																																																											
4	0	0	3	0																																																																											
3	0	0	0	3																																																																											
2	0	0	0	0																																																																											
	1	4	3	2																																																																											
1	0	3	0	0																																																																											
4	0	0	3	0																																																																											
3	0	0	0	3																																																																											
2	0	0	0	0																																																																											
<b>Вариант II</b>	Основной КТЭ 2-го уровня	Добавление КТЭ 2-го уровня	Добавление КТЭ 2-го уровня	Результат КТЭ 4-го уровня																																																																											
																																																																															
	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>		1	4	1	0	3	4	0	0	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>4</td><td>3</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>		1	4	3	1	0	3	0	4	0	0	3	3	0	0	0	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>		1	4	3	2	1	0	3	0	0	4	0	0	3	0	3	0	0	0	3	2	0	0	0	0	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>		1	4	3	2	1	0	3	0	0	4	0	0	3	0	3	0	0	0	3	2	0	0	0	0
	1	4																																																																													
1	0	3																																																																													
4	0	0																																																																													
	1	4	3																																																																												
1	0	3	0																																																																												
4	0	0	3																																																																												
3	0	0	0																																																																												
	1	4	3	2																																																																											
1	0	3	0	0																																																																											
4	0	0	3	0																																																																											
3	0	0	0	3																																																																											
2	0	0	0	0																																																																											
	1	4	3	2																																																																											
1	0	3	0	0																																																																											
4	0	0	3	0																																																																											
3	0	0	0	3																																																																											
2	0	0	0	0																																																																											
<b>Вариант III</b>	Основной КТЭ 2-го уровня	Добавление КТЭ 3-го уровня		Результат КТЭ 4-го уровня																																																																											
																																																																															
	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>		1	4	1	0	3	4	0	0	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>			1	4	3	2	1	0	3	0	0	4	0	0	3	0	3	0	0	0	3	2	0	0	0	0	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>		1	4	3	2	1	0	3	0	0	4	0	0	3	0	3	0	0	0	3	2	0	0	0	0																
	1	4																																																																													
1	0	3																																																																													
4	0	0																																																																													
	1	4	3	2																																																																											
1	0	3	0	0																																																																											
4	0	0	3	0																																																																											
3	0	0	0	3																																																																											
2	0	0	0	0																																																																											
	1	4	3	2																																																																											
1	0	3	0	0																																																																											
4	0	0	3	0																																																																											
3	0	0	0	3																																																																											
2	0	0	0	0																																																																											

Кроме последовательного добавления КТЭ 1-го уровня при создании таблиц-шаблонов новых КТЭ может применяться синтез КТЭ, описанных таблицами-шаблонами других уровней. При этом могут использоваться как КТЭ одного уровня (табл. 6, вариант II), так и КТЭ различных уровней (табл. 6, вариант III). Однако в данном случае следует учитывать, что при интеграции двух КТЭ один из отсеков поверхности оказывается общим. При этом взаимосвязи данного отсека с другими отсеками поверхности двух КТЭ остаются без изменений. Соответственно уровень результирующего КТЭ будет на единицу меньше суммы уровней составляющих КТЭ. В этой связи при создании таблицы-шаблона объединенного КТЭ следует записывать один (общий) индекс столбца, который равен индексу последнего столбца шаблона, взятого за основу, и соответственно индексу первого столбца добавляемого шаблона. Аналогично должна записываться и общая строка, имеющая индекс, соответствующий индексу последней строки таблицы-шаблона, взятой за основу, и первой строки добавляемой таблицы-шаблона, значения которых совпадают. Таким образом, при синтезе КТЭ таблица-шаблон, взятая за основу, расширяется до размера  $(n_o + n_d) - 1$ , где  $n_o$  – размер таблицы-шаблона, взятой за основу,  $n_d$  – размер добавляемой таблицы-шаблона. Затем в расширенной таблице, начиная с ячейки, соответствующей последнему элементу исходной взятой за основу таблицы-шаблона, без изменений записываются значения добавляемой таблицы-шаблона. При построении таблиц-шаблонов КТЭ по вариантам II и III использовано изменение индексации видов отсеков в столбцах и строках для описания прямой или обратной последовательности сопряжения отсеков КТЭ.

Окончательное описание структурно-геометрической конфигурации требуемого КТЭ формируется посредством задания или анализа размерных характеристик составляющих отсеков его поверхности.

**Заключение.** Сложности в автоматизации процесса представления глобальной поверхности технического объекта в виде множества конструкторско-технологических элементов во многом связаны с неоднозначностью суждений об их геометрической конфигурации в различных практических ситуациях. Декомпозиция поверхности технического объекта на уровне отсеков поверхности создает возможности варьирования геометрической структурой КТЭ для поиска наиболее оптимального решения по их дискретному описанию. В этой связи предложен вариант систематизации КТЭ, основанной на анализе объективных данных о структурно-геометрическом строении дискретных отсеков поверхности, принципы построения которой могут использоваться для разработки алгоритмов автоматизации создания шаблонов КТЭ заданного уровня или диапазона уровней структурно-геометрического описания. Также рассмотренное системное представление КТЭ может быть положено в основу организации динамической базы данных КТЭ, разработка которой предусматривается в ходе дальнейших исследований. Кроме того, перспективные исследования связываются с разработкой методики автоматизации выделения КТЭ различного уровня на глобальной поверхности технического объекта, заданной совокупностью отсеков поверхности.

## Литература

1. АНО «НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика» [Электронный ресурс]. 1998. Режим доступа : <http://www.cals.ru>. Дата доступа : 07.01.2015.
2. Соломенцев Ю. М., Митрофанов В. Г., Павлов В. В. и др. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии. М., 2003.
3. Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства в машиностроении / Под общ. ред. О. И. Семенкова. Мн., 1977. Т. 2.
4. Цветков В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. Мн., 1979.
5. Аверченков А. В. Автоматизация распознавания и идентификации конструкторско-технологических элементов деталей в интегрированных САПР : Дис. ... канд. техн. наук : 05.13.12. Брянск, 2004.
6. Падун, Б. С., Кишкурно В. С. // Тр. шестой сессии междунар. науч. школы «Фундаментальные и прикладные проблемы теории точности процессов, машин, приборов и систем». 2003. Ч. 2. С. 145–149.
7. Полозков Ю. В., Евтушенко А. В. // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та. Сер. «Машиностроение». 2013. № 4 (82). С. 33–36.

8. Панфилов Е. А. и др. Иллюстрированный определитель деталей общемашиностроительного применения. Руководящий технический материал. Классы 40 и 50 Общесоюзного классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции. М., 1977.

9. Классификатор ЕСКД. Класс 71. «Детали-тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.» / Ред. Т. В. Пантелеева. М., 1986.

10. Sreeramulu D. C., Rao S. P. // Intern. Journal of Engineering, Science and Technology. 2011. Vol. 3, N 6. P. 102–115.

11. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными : ГОСТ Р 10303–2002. Введ. 20.12.2002. М., 2002.

*Yu. V. POLOZKOV, D. P. KUNKEVICH, A. V. BORODULYA*

## **SYSTEM REPRESENTATION OF STRUCTURAL-GEOMETRICAL CONFIGURATION OF FORM FEATURES OF PARTS OF A TYPE OF BODY OF ROTATION**

### **Summary**

A problem of automatic description of form features of parts is considered. In order to describe form features of parts a model is given. The model is based on the analysis of discrete surface segments. In order to systematize form feature of parts as body of rotation a method is offered. In order to automatically create templates of structural-geometrical description of form feature of parts the technique is shown by systematization principles.