

621.9:658.511.4:681.52

## КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПОДОБИЯ ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Асп. А.А. НЕФЕДОВ

*Излагается методика формального определения подобия деталей по конструктивно-технологическим признакам. Установлено, что оценки подобия деталей взаимосвязаны с оценками подобия состава соответствующих им маршрутных технологических процессов. Оценки подобия могут быть использованы для определения преемственности технологических решений, что способствует сокращению производственно-технологического цикла многономенклатурного производства.*

*The technique of formal definition of similarity of details to is constructive-technological attributes is stated. It is established, that estimations of similarity of details are interconnected with estimations of similarity of structure of routing technological processes corresponding them. Estimations of similarity can be used for definition of continuity of technological decisions that promotes reduction is industrial-work cycle multinomenclature manufacture.*

Одним из наиболее часто применяемых подходов при технологическом проектировании в многономенклатурном производстве машин является использование технологических решений (ТР) — аналогов. В частности, при проектировании технологических процессов (ТП) изготовления деталей выполняют поиск ТП — аналогов, модифицируя которые превращают их в единичные ТП изготовления конкретных деталей.

Эффективность спроектированных таким образом единичных ТП прямо зависит от того, насколько положенные в их основу ТП — аналоги соответствуют конструктивно-технологическим параметрам деталей, для изготовления которых проектируют единичные процессы.

Обычно в качестве аналогов используют типовые ТП, разработанные для деталей — представителей соответствующих классов по технологическому классификатору [1]. Поиск процесса-аналога выполняют, как правило, сравнивая конструктивно-технологические параметры планирующейся к изготовлению детали с параметрами детали-представителя. Такой поиск, чаще всего, выполняет проектировщик ТП на базе субъективных оценок и предпочтений, что может привести как к неэффективности ТР, так и к грубым технологическим ошибкам.

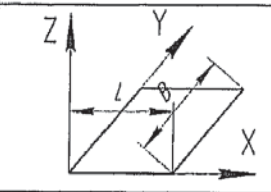
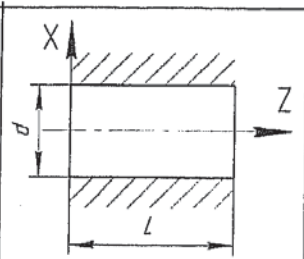
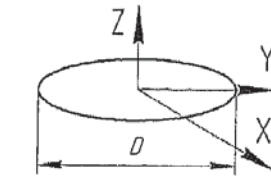
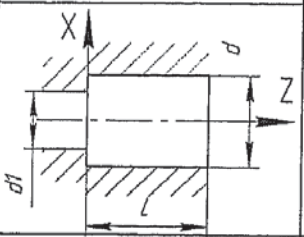
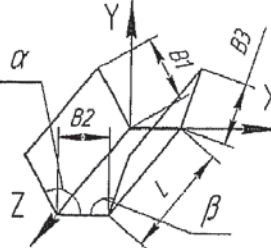
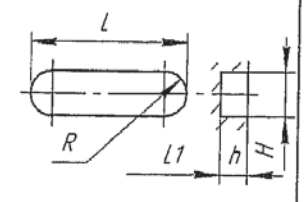
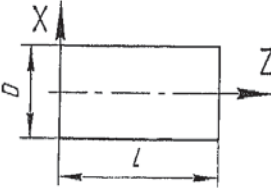
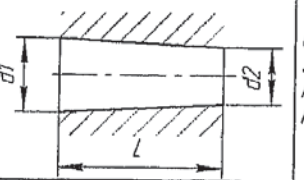
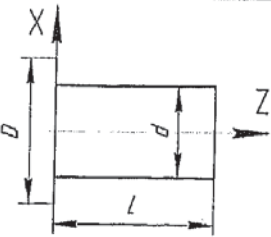
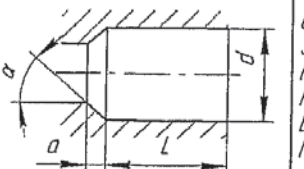
Сравнение планирующихся к изготовлению деталей и деталей — представителей должно быть корректным. Для этого сравниваемые детали должны: принадлежать к одному макрокласу (тела вращения; не тела вращения); находиться в одной размерной группе по максимальному габаритному размеру (до 5 мм, св. 5 до 28 мм, св. 28 мм до 100 мм, от 100 мм до 240 мм и т.п.) [2]; быть изготовлены из материалов одной группы (стали конструкционные, стали инструментальные, чугуны, медные сплавы, алюминиевые сплавы и т.д.) [2]; поверхности деталей должны быть выполнены с близкой максимальной точностью (например, наличие в обеих деталях поверхности вращения — опорной шейки подшипника, выполненной по ИТ6).

Представляется весьма актуальной разработка формального аппарата, пригодного для сравнения и оценивания конструктивно-технологического подобия изготавливаемых деталей машин. Сложность разработки такого аппарата состоит, прежде всего, в необходимости корректного представления и описания структур деталей как предметов производства. Представление структуры должно быть по возможности простым и инвариантным способом ее описания.

Для решения этой задачи было предложено разбиение конструкции детали на технологические комплексы. Технологический комплекс (Т-комплекс) — совокупность поверхностей различных типов, которые могут быть обработаны совместно при непрерывном движении инструмента по заданной траектории или обработаны комплектом последовательно используемых инструментов при реализации элементарного маршрута обработки комплекса (ЭМОК). Каждому Т-комплексу ставится в соответствие некоторое множество технологических методов, которые в зависимости от условий производства и требований к качеству обработки могут быть использованы отдельно или в совокупности (как операции ЭМОК) для совместной обработки всех поверхностей, образующих Т-комплекс [3]. В табл. 1 показаны примеры Т-комплексов.

Таблица 1

Примеры Т-комплексов

K1		Строгание Фрезерование Протягивание Шлифовка Полірование Шабрение Притирка	K13		Сверление Рассверливание Зенкерование Развертывание Протягивание Растачивание Шлифование Хонингование Алмазное выглаживание Полірование
K2		Точение Фрезерование Цекование Шлифование Полірование	K15		Зенкерование Развертывание Цекование Растачивание Шлифование
K8		Строгание Фрезерование Протягивание	K17		Фрезерование
K10		Точение Обкатывание Шлифование Притирка Суперфиниширование Алмазное выглаживание Полірование	K29		Сверление Зенкерование Развертывание Растачивание
K11		Точение Обкатывание Шлифование Притирка Алмазное выглаживание Полірование	K32		Сверление Зенкерование Развертывание Растачивание Шлифование Полірование

Любую деталь можно разбить на конечное число Т-комплексов. Комплексы взаимосвязаны друг с другом, образуя структуру детали.

В Т-комплексы включают только обрабатываемые поверхности. Необрабатываемые поверхности при разбиении деталей не учитывают, так как их наличие или отсутствие не оказывает существенного влияния на ТП изготовления деталей.

Поверхности в составе деталей предложено делить на 2 группы: исполнительные и связующие [4]. Под исполнительными поверхностями понимают поверхности, с помощью которых деталь выполняет свое функциональное назначение в машине или механизме. В свою очередь, исполнительные поверхности делят на базирующие и рабочие: с помощью рабочих поверхностей деталь выполняет рабочие функции, такие как передача движения, резание материала и т. д.; с помощью базирующих поверхностей определяется положение детали в машине. Одновременно деталь имеет связующие поверхности, с помощью которых исполнительные поверхности детали объединяются в пространственное тело и деталь приобретает соответствующие конструктивные формы. Для снижения размерности разбиения детали на Т-комплексы было предложено выделять при разбиении только исполнительные поверхности.

Разбиение детали на Т-комплексы неоднозначно и субъективно. Некоторые (более сложные) Т-комплексы могут быть представлены комбинациями более простых. Специалист, выполняющий декомпозицию детали может, в принципе, выбирать Т-комплексы в соответствии с личными предпочтениями.

С целью оценки влияния представления конструкции детали Т-комплексами на проектные технологические решения, формируемые на его основе проведено исследование.

Анализировались два возможных подхода к декомпозиции детали на Т-комплексы: с минимизацией числа Т-комплексов (одним комплексом описывают максимальное число элементарных поверхностей детали); с максимизацией числа Т-комплексов (деталь описывают по возможности наиболее простыми Т-комплексами).

Для любого варианта разбиения может быть построен граф, отображающий связи между Т-комплексами в составе детали — структуру детали. Пример такого построения показан на рис. 1. Такие графы так же могут быть представлены в виде матриц связей Т-комплексов.

Примеры деталей, рассматриваемых в исследовании, а также соответствующих им графов Т-комплексов и технологических процессов приведены в табл. 2.

Для данных деталей проводилось разбиение на Т-комплексы по обоим представленным методикам. В случаях, когда в составе детали имелось несколько однотипных Т-комплексов, им присваивался индекс: 1 — комплексу, имеющему наибольшее число связей в графе и далее по убыванию числа связей. Графы могут быть представлены в виде матриц связей.

Детали сравнивались с использованием формального аппарата технологического подобия [5]. Оценка подобия двух объектов равна удвоенному отношению числа подобных элементов этих объектов к их общему числу элементов

$$S_{1,2} = \frac{2k}{a+b}, \quad (1)$$

где  $k$  — число подобных элементов в составе объектов;  $a$  и  $b$  — общее число элементов 1-го и 2-го объектов.

Для всех деталей были попарно определены оценки подобия состава и структуры. Оценка подобия состава определялась по спискам технологических комплексов в составе деталей [6]. Оценка подобия структуры вычислялась путем сравнения графов (матриц). Рассмотрим пример сравнения структур двух деталей, представленных матрицами связей, с разбиением по двум предложенным подходам: с минимизацией (табл. 3) и максимизацией (табл. 4) числа Т-комплексов.

Для сравнения матриц необходимо, чтобы они имели одинаковую размерность и имели в составе одинаковые элементы. Поэтому нужно дополнить обе матрицы за счет недостающих элементов другой матрицы, т. е. в матрицу №1 добавить элементы  $K2_1$ ;  $K2_2$ , из 2-ой матрицы. Аналогично поступаем и со второй матрицей. Таким образом, обе матрицы будут иметь состав:  $K2_1$ ;  $K2_2$ ;  $K3$ ;  $K13_1$ ;  $K13_2$  и одинаковую размерность. Связи для добавленных элементов отсутствуют. В итоге получаем 2 расширенных матрицы одинакового состава и размерности (табл. 5 и 6).

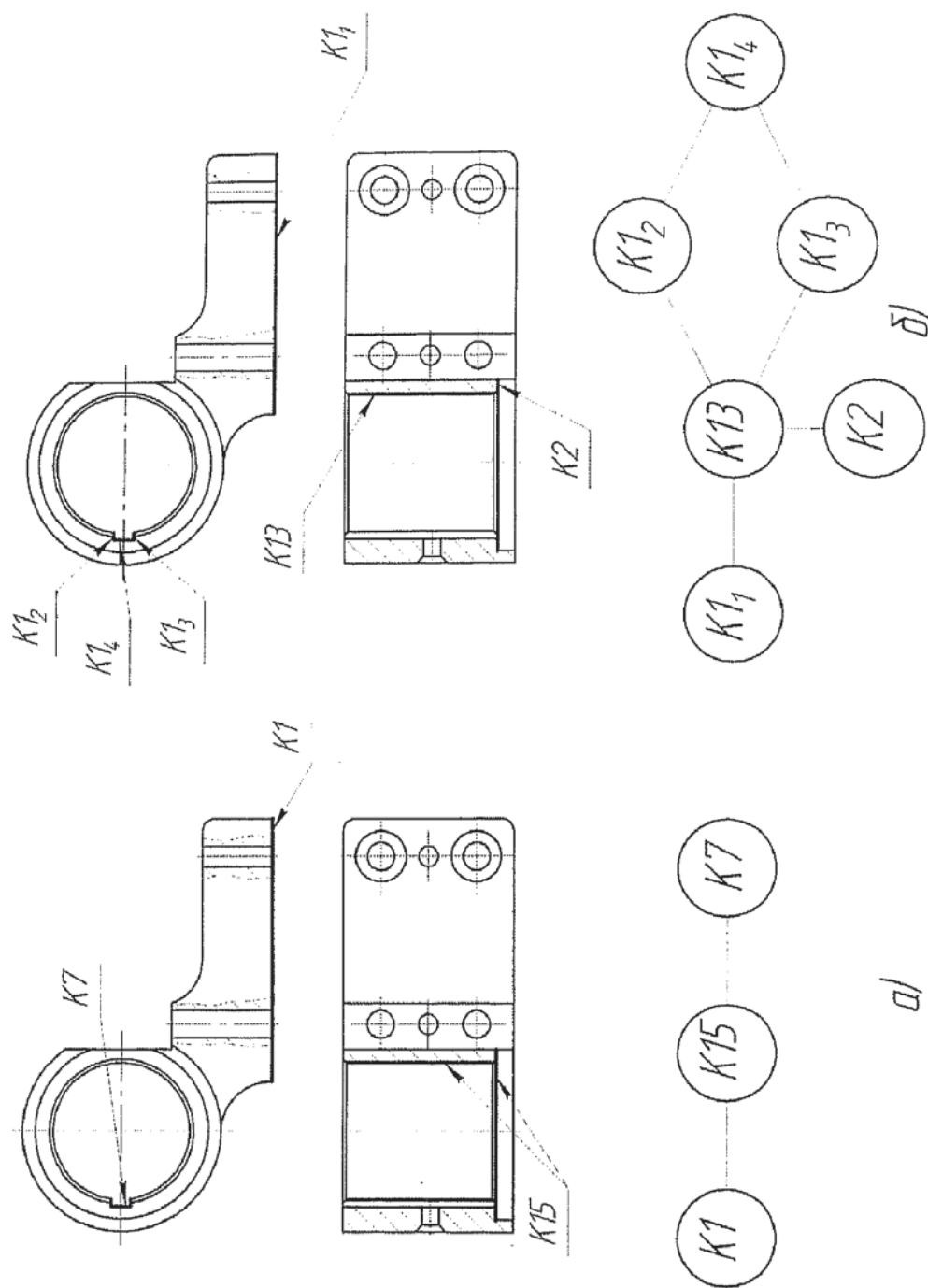


Рис. 1. Декомпозиция детали на T-комплексы и графы структур: а — с минимизацией числа T-комплексов; б — с максимизацией числа T-комплексов

Таблица 2

Примеры деталей

Наименование	Чертеж	Граф (минимизация числа Т-комплексов   максимизация числа Г-комплексов)	Маршрутный технологический процесс
Вилка			Токарно-винторезная Горизонтально-фрезерная Вертикально-фрезерная
Вилка			Вертикально-фрезерная Вертикально-сверлильная Плоскошлифовальная
Вилка			Вертикально-фрезерная Вертикально-сверлильная Токарная полуавтоматная
Водило			Вертикально-фрезерная Горизонтально-фрезерная Плоскошлифовальная

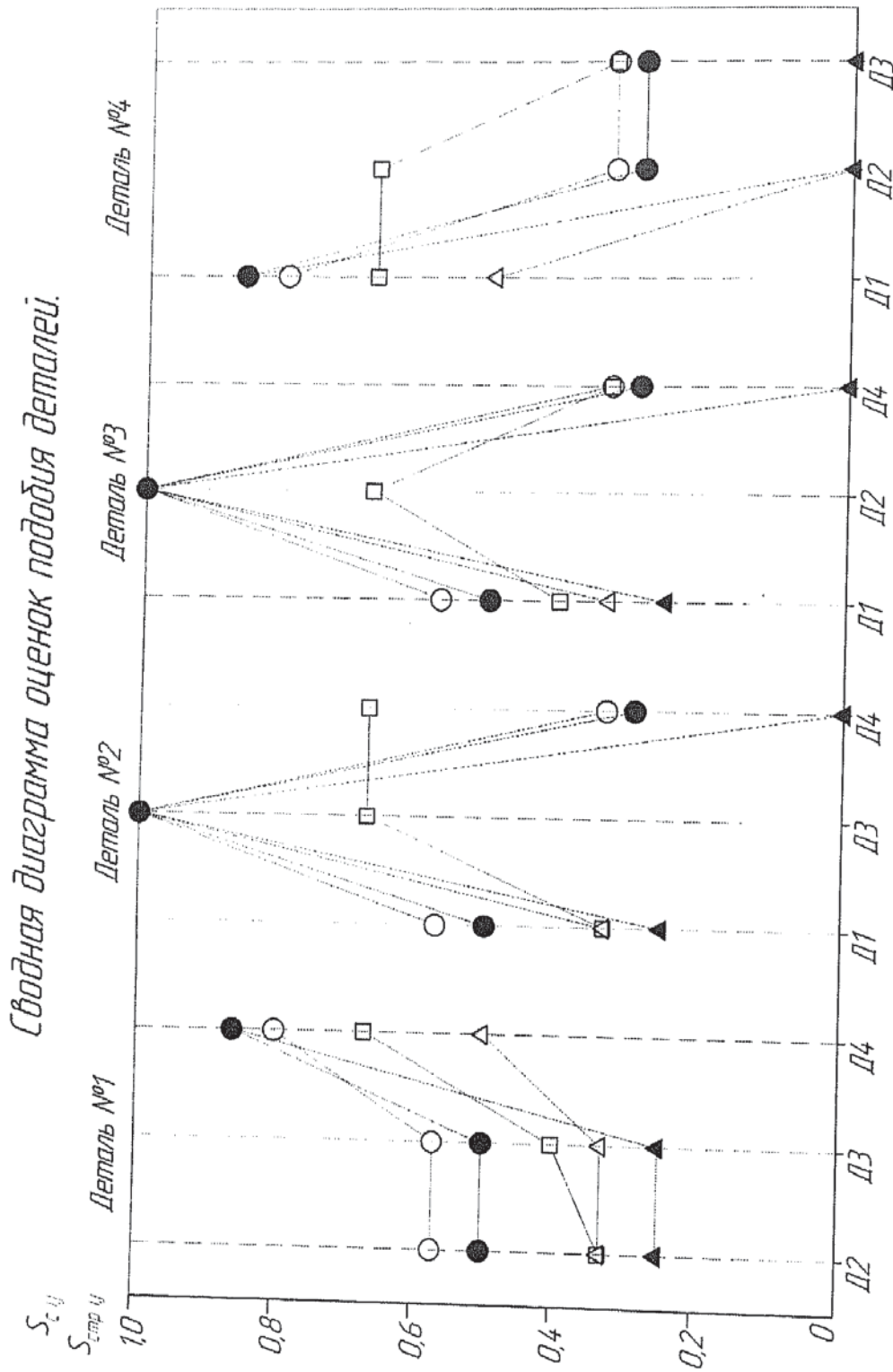


Рис. 2. Оценки подобия деталей:  $S_{c,u}$  — оценка подобия состава,  $S_{стр,u}$  — оценка подобия структуры. На диаграмме: ○ — оценка подобия состава при минимизации числа T-комплексов; ● — оценка подобия состава при максимизации числа T-комплексов; △ — оценка подобия структуры при минимизации числа T-комплексов; ▲ — оценка подобия структуры при максимизации числа T-комплексов; □ — оценка подобия состава технологических процессов

Жирным шрифтом выделены одинаковые связи двух матриц.

Оценка подобия состава вычисляется по спискам Т-комплексов в составе деталей

$$S_{c1,2} = \frac{2 \cdot 2}{3 + 4} = 0,57.$$

Таблица 3

Таблица 4

Деталь № 1. Вилка

	<b>КЗ</b>	<b>К13<sub>1</sub></b>	<b>К13<sub>2</sub></b>
<b>КЗ</b>	1		
<b>К13<sub>1</sub></b>	1	1	
<b>К13<sub>2</sub></b>	0	1	1

Деталь № 2. Вилка

	<b>К2<sub>1</sub></b>	<b>К2<sub>2</sub></b>	<b>К13<sub>1</sub></b>	<b>К13<sub>2</sub></b>
<b>К2<sub>1</sub></b>	1			
<b>К2<sub>2</sub></b>	1	1		
<b>К13<sub>1</sub></b>	1	1	1	

Таблица 5

Таблица 6

Расширенная матрица № 1

	<b>К2<sub>1</sub></b>	<b>К2<sub>2</sub></b>	<b>КЗ</b>	<b>К13<sub>1</sub></b>	<b>К13<sub>2</sub></b>
<b>К2<sub>1</sub></b>	1				
<b>К2<sub>2</sub></b>	0	1			
<b>КЗ</b>	0	0	1		
<b>К13<sub>1</sub></b>	0	0	1	1	
<b>К13<sub>2</sub></b>	0	0	0	1	1

Расширенная матрица № 2

	<b>К2<sub>1</sub></b>	<b>К2<sub>2</sub></b>	<b>КЗ</b>	<b>К13<sub>1</sub></b>	<b>К13<sub>2</sub></b>
<b>К2<sub>1</sub></b>	1				
<b>К2<sub>2</sub></b>	1	1			
<b>КЗ</b>	0	0	1		
<b>К13<sub>1</sub></b>	1	1	0	1	
<b>К13<sub>2</sub></b>	0	0	0	1	1

Оценка подобия структуры рассчитывается как отношение удвоенного числа одинаковых связей к общему числу связей в расширенных матрицах.

$$S_{стр1,2} = \frac{2 \cdot 1}{2 + 4} = 0,33.$$

Для этих же деталей были определены оценки подобия маршрутных технологических процессов по кратким спискам операций. Сводные результаты анализа приведены на рис. 2.

### Выводы

1. Оценки подобия состава и структуры деталей взаимосвязаны и инварианты методу декомпозиции детали на Т-комплексы.

2. Оценки подобия состава и структуры деталей и соответствующих им технологических процессов взаимосвязаны, что позволяет говорить о взаимосвязи конструктивного и технологического подобия, и о возможности выбора технологического процесса-аналога на основании формально определенных оценок подобия предметов производства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Классификатор ЕСКД. Класс 71. Детали-тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, штоков, шпинделей и др. — М. — 1986.
2. М и т р о ф а н о в С. П. Научная организация машиностроительного производства. — Л. Машиностроение, 1976. — 712 с.
3. К о н д а к о в А. И. Формирование информационной основы проектирования маршрутных процессов изготовления деталей // Инженерный журнал. — № 3. — 2001. — С. 15—20.

4. Проектирование технологий машиностроения на ЭВМ: Учебник для вузов / О.В. Таратынов, Б.М. Базров, В.В. Клепиков и др. / Под ред. О.В. Таратынова. — М.: МГИУ, 2006. — 519 с.
5. Технологические аспекты конверсии машиностроительного производства / А.С.Васильев, С.А.Васин, А.М.Дальский и др. / Под ред. А. И. Кондакова — М.: Тула: ТулГУ, 2003. — 271 с.
6. К о н д а к о в А. И., Нефедов А. А. Оценивание преемственности технологических решений // Известия вузов. Машиностроение. — № 5. — 2006. — С. 65—72.