

В.А. Кузнецов, д-р техн. наук, И.В. Заболотная, А.В. Смирнов, Д.И. Юшин, Н.В. Хомякова, А.А. Владыка, Москва, Россия.

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМОГО АНАЛИЗА И СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ (МИД) ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВОГО УРОВНЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ИЗДЕЛИЙ**

У статті розглядаються основи системного аналізу та структурного синтезу методів виготовлення деталей. Запропоновано класифікацію технологічних ланцюгів, що досягаються при реалізації даних методів, і здійснено їх квантифікація. Представлені узагальнені алгоритми для морфологічного і евристичного структурного синтезу методу виготовлення, що застосовується при його вдосконаленні.

Ключові слова: структурний синтез, квантифікація, метод виготовлення.

В статье рассматриваются основы системного анализа и структурного синтеза методов изготовления деталей. Предложена классификация технологических цепей, достигаемых при реализации данных методов, и осуществлена их квантификация. Представлены обобщенные алгоритмы для морфологического и эвристического структурного синтеза метода изготовления, применяемые при его совершенствовании.

Ключевые слова: структурный синтез, квантификация, метод изготовления.

In article bases of the system analysis and structural synthesis of component manufacturing methods are considered. Classification of the technological chains reached at realisation of given methods is offered, and carried out it's quantification. The generalised algorithms for morphological and heuristic structural synthesis of the manufacturing method are presented at its perfection.

Структурный синтез основан на представлении метода изготовления деталей в виде технической системы.

Под технической системой понимают организованный комплекс средств для достижения общей цели. При этом, данный комплекс имеет иерархическую структуру, каждый из элементов которой по степеням иерархии является средством достижения цели элемента или подсистемы более высокого уровня.

В свою очередь, метод изготовления деталей определяется способами формирования заданных параметров качества с производительностью, соответствующей наименьшим затратам в заданных условиях производства.

Из этого следует, что общей целью, которая достигается при применении того или иного МИД является получение детали с заданными параметрами качества.

Методу изготовления детали как любой системе присущи четыре основных свойства:

- 1) Целостность и членимость;
- 2) Свойство связи;

- 3) Организация;
- 4) Интегративные качества.

Для формализованного описания метода изготовления детали как системы наиболее удобным математическим аппаратом является теория графов. Связь структурных элементов МИД задается графом S(Q,T), множество вершин которого изоморфно составляющим метода изготовления детали, а множество дуг – отношением «ρ», «ω», «τ», с помощью которых выражается временная упорядоченность действий определенных составляющих. Применяя вышеуказанные отношения, можно комбинировать составляющие МИД с целью создания новых вариантов. Отношение «a<sub>1</sub>ωa<sub>2</sub>» обозначает последовательный метод совмещения составляющих, отношение «a<sub>1</sub>αa<sub>2</sub>» – одновременность действия составляющих метода изготовления, отношение «a<sub>1</sub>πa<sub>2</sub>» сдвиг их действия во времени. Наряду с временной упорядоченностью, структура МИД как система характеризуется ступенчатостью, которая распространяется на различную глубину. Применяя к исходной системе определенный способ расчленения, можно получить множество подсистем первого уровня {Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>, Q<sub>5</sub>}. Проредавая эту же операцию для каждой подсистемы первого уровня, можно получить множество подсистем второго уровня {Q<sub>1</sub><sup>2</sup>, Q<sub>2</sub><sup>2</sup>, ... Q<sub>k</sub><sup>2</sup>}. Результатом такого расчленения будет граф структуры системы, вершинами которого являются составляющие метода изготовления детали.

Функция МИД заключается в преобразовании исходного материала в готовую деталь и описывается отображением θ: K<sub>0</sub>θK<sub>k</sub>. В этом случае исходное и конечное состояния обрабатываемой детали определяется множеством параметров качества, которыми являются:

1. Модули упругости и упрочнения первого рода;
2. Модули упругости и упрочнения второго рода;
3. Предел текучести и прочности;
4. Твердость материала и распределение твердости по глубине и длине детали;
5. Точность размера, формы и расположения поверхностей детали;
6. Волнистость и шероховатость поверхности;
7. Конфигурация детали;
8. Анизотропия свойств материала детали;
9. Химический состав материала.

Метод изготовления детали может состоять из нескольких стадий «φ».

Учитывая выше изложенное, можно описать функцию МИД графом F(k, θ):

$$F(k, \theta) = k_0 \varphi_1 k_1 \dots k_{k-1} \varphi_k k_k \quad (1)$$

Так как для реализации заданной функции могут быть созданы методы с различной структурой, то необходимо ввести оценочные функции, с помощью которых можно определить эффективность того или иного метода. Оценочные функции в этом случае являются технической характеристикой метода изготовления детали, состоящей из некоторого множества параметров: Z = {Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, ..., Z<sub>n</sub>}.

В качестве оценочной функции принимают производительность обработки, стойкость инструмента, энергоемкость процесса и т.д. Комплексным критерием оценки эффективности МИД может быть принята себестоимость изготовления деталей, прибыль или приведенные затраты.

Таким образом, информационная модель метода изготовления детали как технической системы описывается рядом отношений, определяющих функцию, техническую характеристику и структуру системы на всех уровнях расчленения:

$$Q^0 = Q : K_0 - > K_k, S^0(Q^1, T), \{Z_j^0\}; \quad (2)$$

$$Q^1 = \{\{\varphi^1 : K_{j-1}^1 - > K_j^1, S^1(Q^2, T), \{Z_{ij}^1\}\}; j=1, m_1; \quad (3)$$

$$Q^2 = \{\{\varphi^2 : K_{j-1}^2 - > K_j^2, S^2(Q^3, T), \{Z_{ij}^2\}\}\}; j=1, m_2; \quad (4)$$

$$Q^3 = \{\{\varphi^3 : K_{j-1}^3 - > K_j^3, S^3(Q^4, T), \{Z_{ij}^3\}\}\}; j=1, m_3; \quad (5)$$

Разработанная информационная модель позволяет перейти к формализованному описанию процесса синтеза МИД и их совершенствования, а также использовать для этого вычислительную технику.

Рассматриваемые выше функция и техническая характеристика метода изготовления детали состоит из определенного числа целей, которые необходимо достигнуть при реализации процесса обработки детали.

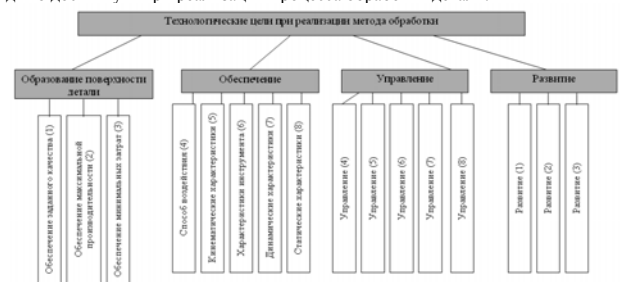


Рисунок 1 – Структура технологических целей

На основе анализа научно-технической и патентной литературы было разработано граф-дерево целей, достигаемых при реализации методов деталей (рис. 1). Технологические цели разбиты на четыре большие группы: образование поверхностей детали, технологическое обеспечение, управление и развитие. Цели, достигаемые при образовании поверхностей детали также разделены на три группы, характеризующие обеспечение заданного качества при максимальной производительности труда и минимальных затратах на изготовление в конкретных условиях производства. Цели технологического обеспечения определяют функции, которые необходимо учитывать при выборе и расчете требуемого для изготовления детали способа воздействия на обрабатываемый материал, обрабатывающего инструмента, кинематических, динамических и статических составляющих метода изготовления детали. Цели управления указывают на осуществление управляющих воздействий выше приведенными составляющими метода обработки. Группа целей развития перекликается в определенной мере с целями при образовании детали и включает в себя цели, которые характеризуют улучшение качества обработанных заготовок и детали, а также с повышением других технико-экономических показателей технологических процессов и операций. При разработке граф-дерева технологических целей был осуществлен процесс квантификации целей. Данный процесс производится до тех пор, пока во всех ветвях вершинах графа не будут содержаться количественно определяемые цели. Затем на основании и изучения научно-технической и патентной литературы может быть произведен анализ взаимосвязей технологических целей, стоящих при образовании детали и развитии с характеристиками метода изготовления деталей и построение круговых графов взаимосвязей между целями развития и характеристиками МИД.

Проведенный анализ позволит выявить характеристики, влияющие на наибольшее количество технологических целей, совершенствование которых дает наибольший эффект по улучшению качественных и технико-экономических показателей процессов обработки деталей. На основании полученных графов можно сделать вывод, что доминирующее влияние на максимальное количество целей имеют способ воздействия на обрабатываемый материал и обрабатывающий инструмент. Это позволяет, в свою очередь, наметить пути совершенствования МИД, выявить и сформулировать для этого физические и технологические принципы, а так определить направления технологических и фундаментальных исследований взаимосвязей целей с характеристиками МИД. После нахождения взаимосвязей целей с характеристиками метода изготовления деталей на следующем этапе системного анализа необходимо создать логико-множественную модель метода и процесса его синтеза.

Синтез метода изготовления детали может осуществляться по двум основным алгоритмам.

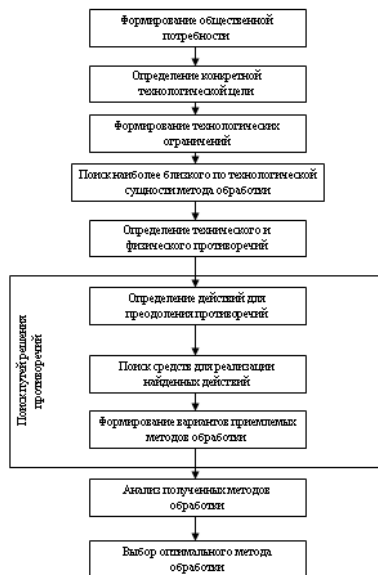


Рисунок 2 – Алгоритм эвристического синтеза метода обработки

Алгоритм эвристического синтеза относительно выбранного прототипа, т.е. наиболее близкого по технической сущности МИД представлен на рис. 2 и может быть применен в том случае, если в действующем производстве необходимо улучшить качество обрабатываемых деталей и другие технико-экономические показатели операции или техпроцесса. Наиболее важными этапами вышеуказанного алгоритма являются поиск и анализ прототипа с определением технического или физического противоречий, а также поиск путей решения выявленных противоречий с формированием вариантов приемлемых технических решений. Их анализ и выбор оптимального метода изготовления детали осуществляется по заранее выбранному критерию оптимальности (себестоимости, производительности, стойкости инструмента и т.д.) Для реализации выбранного МИД может быть осуществлена разработка нового или модернизация существующего оборудования, инструмента и тех-

нологической оснастки. При технологической подготовке производства деталей из новых конструкционных материалов может возникнуть необходимость проектирования индивидуального метода изготовления детали, имеющего принципиальные отличия от всех существующих. В этом случае проектирование осуществляется по алгоритму, представленному на рис. 3, который включает в себя синтез технического решения по каждой характеристике МИД и технологическим объектам его реализации. В каждом из блоков алгоритма после выбора тех или иных характеристик МИД осуществляется проектирование и расчет средств их реализации. Разработанные математические выражения и формальные алгоритмы позволяют приступить к созданию подробных алгоритмов и программ для математического моделирования структурного и параметрического синтеза методов изготовления деталей с применением ЭВМ.

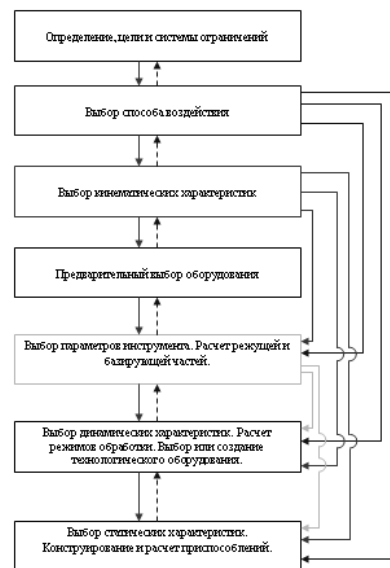


Рисунок 3 – Алгоритм морфологического синтеза метода обработки

## Выводы

1. Решение задачи совершенствования существующих и создания новых методов изготовления деталей осуществлено с помощью системного анализа. МИД рассмотрен как подсистема более крупной системы «Технологический процесс» с присущими ему свойствами. Представление МИД как технической системы позволило разработать его информационную модель, которая оценивается рядом соотношений, определяющих функцию, техническую характеристику и технологическую структуру системы на всех уровнях расчленения.
2. Предложена классификация технологических цепей, достигаемых при реализации методов изготовления деталей и осуществлена их квантификация. Анализ взаимосвязей технологических целей с характеристиками метода изготовления деталей, осуществленный с помощью теории графов позволил выявить его характеристики, влияющие на наибольшее число технологических цепей.
3. Используя методы математической логики и теорию множеств, была разработана математическая модель метода изготовления деталей, показывающая взаимосвязи его характеристик с другими технологическими объектами, участвующими в процессе изготовления деталей. Логические выражения, составляющие данную модель, позволяют установить порядок синтеза метода изготовления детали и средств его технического оснащения, в том числе с помощью ЭВМ.
4. Разработаны обобщенные алгоритмы для морфологического и эвристического структурного синтеза метода изготовления, применяемые при его совершенствовании. В результате анализа эвристического алгоритма выявлено, что наиболее важным этапом при совершенствовании методов изготовления деталей является определение физического или технического противоречия, а также нахождение действий и средств для его разрешения.
5. На основании разработанной методологии разработаны новые методы, способы и приемы механообработки деталей типа зубчатых колес, рычагов, втулок и валов. Для их реализации созданы конструкции круглодиагональных протяжек (А.С. № 1096061, 1287996, 1440633), деформирующих и деформирующее-режущих протяжек и прошивок для обработки отверстий (А.С. № 1085710, 1159769, 1215894, 1399025, 1634398, 1703305), комбинированных ротационных инструментов (А.С. № 1162578) и многофункциональных инструментов для обработки деталей резанием и поверхностным пластическим деформированием (А.С. № 1237399, 1442327, 1572766).