

## К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Россия, г. Пенза, Пензенский государственный технологический университет

*A method of forming the structure of the system under development based on the introduced concept of "Functional group" is proposed. Mathematical methods of graph theory and adjacency and incidence matrices are used for optimization. As a result, a dramatic simplification of the system structure is achieved while improving its basic operational characteristics.*

Надежность, обеспечиваемая при проектировании технической системы, в значительной степени определяет общий уровень надежности системы при ее эксплуатации. Оптимальным, в плане повышения надежности на этапе проектирования, можно считать решение с минимальным уровнем противоречий между конструкцией устройства и реализуемым им техпроцессом, например, по критерию сложности. Основными факторами, влияющими на начальную надежность, являются уровень нагрузок в элементах технической системы и сложность его структуры.

Уровень нагрузок зависит в первую очередь от параметров техпроцесса (вид продукта, характер его трансформаций, скорость протекания процесса и др.). Сложность структуры системы при оптимальном проектировании должна зависеть только от сложности реализуемого техпроцесса. Понятно, что наилучшим решением было бы сочетание низкого уровня нагрузок с простой структурой устройства. На практике, как правило, здесь возникают противоречия, особенно в случае реализации сложного техпроцесса.

Проведенные исследования показали, что морфологический анализ системы необходимо сочетать с анализом структуры техпроцесса. Установлено, что конструктивная несовместимость различных элементов системы в значительной мере является следствием технологической несовместимости различных этапов техпроцесса. В связи с чем, все элементарные трансформации продукта целесообразно разделять на 3 группы по степени их технологической совместимости: 1) аналогичные; 2) совместимые; 3) несовместимые. Схожесть предлагается оценивать по следующим признакам: а) по технологическим целям; б) по условиям протекания процесса; в) по возможности перехода одной трансформации в другую без промежуточных этапов. Для совместимости трансформаций необходимо как минимум выполнение признака «в». Элементарные трансформации осуществляются при взаимодействии конструктивных элементов между собой и с продуктом.

Сложность структуры проектируемых систем предполагается оценивать числом особых конструктивных образований – функциональных групп (ФГ). В общем случае ФГ – это совокупность приводного рабочего органа и всех вспомогательных элементов, необходимых для выполнения им заданной функции.

В общем случае на одну трансформацию приходится две ФГ. Исходя из понятия совместимости, находим, что две совместимые трансформации реализуются только тремя ФГ - одна группа у них общая. Из чего следует вывод: техпроцесс должен состоять из последовательно совместимых трансформаций, т.к. при этом сокращается число ФГ, т.е. упрощается конструкция системы.

Наряду с технологическим сходством между элементами системы необходимо

выявить и конструктивное сходство, признаками которого могут быть кинематические параметры, например, их скорость. Конструктивно близкие ФГ могут быть реализованы на одном рабочем органе, однако этому мешает порядок размещения элементов, определяемый ходом техпроцесса.

Итак, задача упрощения структуры системы сводится к минимизации числа ФГ. Наиболее реальным путем упрощения структуры системы при заданном технологическом процессе является совмещение рабочими органами различных технологических функций. В конструктивном плане это означает совмещение конструктивно близких ФГ. Реализовать это можно следующим способом.

Исходя из принятого техпроцесса, формируется предварительная конструктивно-технологическая схема проектируемой системы в виде сложного ориентированного графа [3], вершинами которого являются ФГ, а ребрами – технологические и конструктивные связи между ними (Рис.1). Римскими цифрами обозначены порядковые номера ФГ по ходу техпроцесса. Сплошными стрелками показано направление движения продукта. Пунктирные линии связывают конструктивно совместимые ФГ.

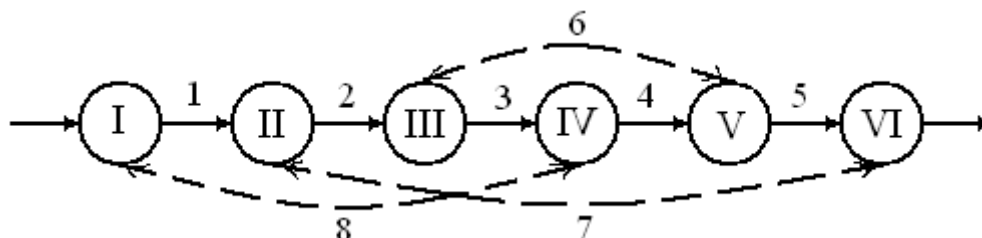


Рис.1 Исходный граф проектируемого устройства.

Специально разработанным методом производится трансформация исходного линейного графа в эквивалентный с параллельными ветвями (рис.2). При этом конструктивно близкие ФГ размещаются на одноименных уровнях, а технологический путь графа остается неизменным. Полученный граф эквивалентен исходному, т.к. физическая картина техпроцесса и направление движения продукта не изменились.

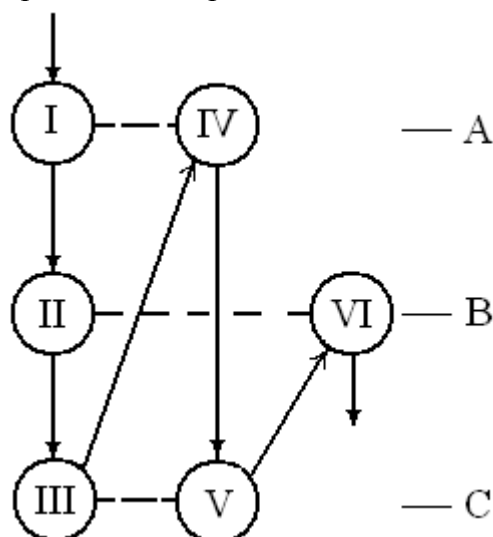


Рис.2 Эквивалентный трехуровневый граф.

Полученная схема имеет меньшую сложность, чем исходный техпроцесс; три рабочих органа на шесть трансформаций продукта. Выражение для определения числа рабочих органов с учетом совмещения имеет вид:

$$N_p = \left( N_{\phi\sigma} - N_c \right) + K,$$

где  $N_{\phi\sigma}$  – количество ФГ;  $N_c$  – число пар совмещенных ФГ;  $K$  – число попарно не связанных ФГ.

В результате применения данного способа достигается уменьшение числа функциональных групп, и как следствие, значительное повышение начальной надежности разрабатываемой системы.

При необходимости осуществляется корректировка технологических связей, что приводит к изменению их положения. Для этого разработана программа, фрагмент которой представлен на рис.3.

```

1  <html>
2  <head>
3      <title>Трансформация графа</title>
4  </head>
5  <body>
6      Входной массив <input id="mas" value="1,2,3,4,5,6"><br>
7      Приоритеты <input id="pr" value="a,b,c,a,c,b"><br>
8      <input type="button" value="Start" onclick="start()"><br>
9      <div id="res">
10     </div>
11     <script>
12         function start()
13         {
14             var mas=document.getElementById('mas').value.split(',');
15             var pr=document.getElementById('pr').value.split(',');
16             var res={};
17             if (mas.length==(pr.length))
18             {

```

Рис.3 Фрагмент листинга программы.

Важная особенность представления конструктивно-технологических схем с помощью графов заключается в возможности нахождения аналитической зависимости, а точнее, матричной записи указанных схем [4]. Граф может быть задан матрицами инцидентности и смежности. При использовании матриц инцидентности их столбцами являются вершины графа, а строками его ребра. Более компактным является представление графа в виде матрицы смежности. Данная возможность особенно важна при создании сложных систем, когда целесообразно заменить действия над векторами операциями над матрицами. Матричные преобразования реализуются средствами ЭВМ, что можно использовать при создании соответствующей подсистемы САПР. Указанные преобразования можно свести к получению матрицы с минимальным количеством нулей из исходной строки-матрицы, соответствующей исходному графу проектируемой системы.

Предлагаемый метод упрощения структуры проектируемой системы позволяет получить вполне однозначное аналитическое выражение для любой технологической системы: механизма, машины и даже всей технологической линии.

1. Хилл П. Наука и искусство проектирования – М.: Мир, 1973.–264 с.
2. Волков С.В., Пакулова Н.К., Волков В.В. Вопросы надежности при системном проектировании скоростных вытяжных приборов – Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. Иваново: 2005, №5 (286), стр.67-70
3. Харари Ф. Теория Графов – М.: Мир, 1973. – 355с.

4. Кормен, Хомас Х. и др. Алгоритмы: построение и анализ, 3-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2013. – 1328с.