

Информационные технологии проектирования электронных устройств

Лекция 2-3 ТИПОВЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТП

Вопросы :

- 1 Понятие математической модели. Структура модели
- 2 Математические модели технологических систем: виды, назначение, предъявляемые требования
- 3 Функциональные математические модели
- 4 Структурно-логические модели ТП
- 5 Формы представления связей контуров изделий технологической системы
- 6 Табличная модель технологического процесса
- 7 Сетевая модель технологического процесса
- 8 Перестановочная модель технологического

Вопрос 1. Понятие математической модели. Структура модели

Математическая модель

- это совокупность математических соотношений (уравнений, неравенств, логических условий и др.) и связей между ними, отражающих важнейшие свойства исследуемого процесса или объекта.

При проектировании технологических систем используют множество видов математических моделей в зависимости от уровня иерархии, степени декомпозиции системы, рассматриваемых задач, стадии и этапа проектирования.

Математическая модель

На любом уровне иерархии объект проектирования представляют в виде некоторой системы, состоящей из элементов.

Исходя из этого различают **математические модели элементов и систем.**

Для элементов более низкого уровня иерархии чаще всего имеется возможность более детального описания его физических свойств.

Поэтому **на низших уровнях** обычно используют наиболее **сложные математические модели.**

На высших уровнях могут быть с успехом применены более **простые модели.**

Составные части математических моделей :

- 1) компоненты,
- 2) переменные,
- 3) параметры,
- 4) функциональные зависимости,
- 5) ограничения,
- 6) целевые функции и
- 7) допущения.

Математическая модель

Под **компонентами** понимаются составляющие, которые при определенном объединении образуют моделируемую систему (например, модели технологических операций при соответствующем объединении образуют модель технологического процесса).

Переменные – это величины, которые могут принимать значения, определяемые видом исследуемой функции, являющиеся результатом внешних или внутренних воздействий.

В первом случае их называют **входными** переменными, во втором - переменными **состояния**

Математическая модель

Параметры модели – это величины, которые при составлении модели могут выбираться произвольно, но фиксироваться в процессе исследования модели на определенном уровне, т.е. использоваться в процессе моделирования в качестве постоянных величин.

Функциональные зависимости устанавливают взаимосвязь между переменными и параметрами и описывают их поведение в процессе исследования модели.

По своей природе они могут быть **детерминированными или стохастическими**.

Математическая модель

Ограничения представляют собой пределы изменения переменных или условий протекания исследуемых процессов. Ограничения могут устанавливаться искусственно в виде требований устанавливаемых к процессу или быть естественными, обусловленными самой сущностью процесса или исследуемого объекта.

Целевая функция представляет собой критерий, по которому проводится оптимизация исследуемого процесса, и отражает цели и задачи его моделирования. Могут применяться два вида критериев оптимизации: качественные или количественные (характеристики, выработанные практикой) и критерии, основанные на аналитических и численных методах оптимизации).

Математическая модель

Допущения – это принимаемые упрощения математической модели, пренебрежения определенными ее свойствами при сохранении физического смысла рассматриваемого процесса

Вопрос 2 Математические модели технологических систем: виды, назначение, предъявляемые требования

Классификация математических моделей

Математические модели классифицируются по :

1) характеру отражаемых свойств объекта

- **структурные**
- **функциональные;**

2) способу представления свойств объекта

- **аналитические**
- **имитационные;**

3) способу получения модели

- **теоретические,**
- **физические,**
- **эмпирические и**
- **комбинированные;**

Классификация математических моделей

Математические модели классифицируются по :

4) виду уравнений, используемых в моделях

- **линейные**

- **нелинейные;**

5) наличию в модели случайных параметров

- **детерминированные**

- **стохастические;**

6) изменению выходных переменных времени

- **статические (стационарные)**

- **динамические (нестационарные);**

7) виду представляемых параметров

- **аналоговые (непрерывные)**

- **дискретные;**

Классификация математических моделей

Математические модели классифицируются по :

8) отношению к иерархическому уровню

- **наноуровня,**
- **микроуровня,**
- **макроуровня,**
- **метауровня;**

9) приспособляемости модели

- **адаптивные**
- **неадаптивные;**

10) по размерности —

- **одномерные,**
- **многомерные.**

Классификация математических моделей

Аналитические модели представляются в виде явных математических выражений одним из следующих способов:

- 1) **аналитически** – когда получают в общем виде явные зависимости для искомых величин;
- 2) **численно** – когда для решения уравнений применяют численные методы;
- 3) **качественно** – когда, не имея решений в явном виде, можно найти некоторые свойства системы, например, устойчивость и т.п.

Они характеризуются высокой экономичностью, однако их можно строго построить не во всех случаях. Чаще всего принимаются определенные допущения, снижающие точность модели

Классификация математических моделей

Для **имитационной модели** характерна реализация моделирующего алгоритма в некотором смысле посредством имитации элементарных явлений, составляющих исследуемый процесс с сохранением их логической структуры, последовательности протекания во времени и **особенно** характера и состава информации о состоянии процесса.

В этом случае моделирующий алгоритм описывает исследуемые физические процессы с помощью аналитических, численных или статистических методов, соблюдая критерии подобия, что приближает модель к реальному процессу.

Требования к математической модели

- ✓ адекватность,
- ✓ точность,
- ✓ простота,
- ✓ открытость,
- ✓ совместимость,
- ✓ экономичность,
- ✓ надежность.

Вопрос 3 Функциональные математические модели

Характеристики современных технических систем (ТС) :

- наличие значительного числа разнообразных факторов, влияющих на ТС;
- большое число внутренних связей между параметрами ТС и их сложное взаимное влияние;
- наличие нескольких конкурирующих направлений процессов, имеющих различные выходные данные;
- воздействие на ТС большого числа внешних неконтролируемых и неуправляемых факторов, играющих роль возмущений.

Схема сложной технической системы

Стратегия построения математической модели

Общие положения

Задача оптимизации математической модели
решается **методами математического
программирования**

Линейное программирование

Нелинейное программирование

Целочисленное программирование

Динамическое программирование

Вопрос 4 Структурно-логические модели ТП

Классификация структурно-логических моделей

1. табличные,

2. сетевые и

3. перестановочные.

S_i – класс моделей, который характеризуется набором контуров F_i (условия).

F_G – условие, определяющее маршрут операции или переходов технологического процесса: $A_k (F_G=1)$, маршрут, будучи представленным в виде графа, будет являться простой цепью ($F_G=0$ - в противном случае).

F_n – условие, определяющее маршрут операции и переходов технологического процесса.

Если $F_n = 1$, то количество элементов в маршруте постоянное $F_n = 0$ – иначе

Классификация структурно-логических моделей

F_{λ} – условие, учитывающее отношение порядка элементов (операций и переходов в технологическом процессе). Если $F_{\lambda} = 1$, то отношение порядка не меняется, $F_{\lambda} = 0$ – иначе.

F_a – условие, учитывающее состав операций и переходов технологического процесса. Если $F_a = 1$, то состав операций одинаковый, если $F_a = 0$ – иначе.

Классификация структурно-логических моделей

Контуры F_i характеризуют разные стороны унификации технологического процесса:

- при $F_a = 1$ унифицируется **состав технологических операций**.
- при $F_n = 1$ унифицируется **количество операций**.
- при $F_\lambda = 1$ унифицируется **последовательность реализации операции**.
- при $F_G = 1$ унифицируется **характер смежности операций в технологическом процессе**.

Классификация структурно-логических моделей

Модели называются **структурно-логическими**, так как они задают **состав и взаимосвязь операций технологического процесса**.

Представляются в виде графа, который определяет состав и последовательность (маршрут) выполнения этапов, операций, переходов при выполнении обработки или сборки изделия.

Вершины графа соответствуют **элементам технологического процесса** (этапам, операциям, переходам), а **рёбра** или дуги графа характеризуют **последовательность элементов технологического**

Классификация структурно-логических

моделей

1. **Табличная модель** – описывает одну конкретную структуру технологического процесса (это модели класса **S1**).

В табличной модели одному набору условий или контуров соответствует единственный вариант технологического процесса.

Эти модели используют для описания **стандартных и**

типовых проектных решений.

Модель относится к той или иной группе в зависимости от условий налагаемых на ТП

2. **Сетевая модель** – описывает множество структур технологического процесса, отличающихся количеством и составом элементов структуры при неизменном отношении порядка (это модели классов **S2, S5, S7, S8, S11**).

В сетевой модели структура элементов описывается **ориентированным графом**, который **не имеет ориентированных циклов**.

3. **Перестановочная модель** – описывает множество структур технологического процесса, отличающихся количеством и составом элементов структуры при изменении отношения порядка (это модели классов **S3, S4, S6, S9, S10, S12**).

Отношение порядка в перестановочных моделях задается с помощью **графа, содержащего перестановочные циклы**

Вопрос 5 Формы представления связей контуров изделий технологической системы

Формы представления связей

- **ДИЗЪЮНКТИВНАЯ;**
- **КОНЪЮНКТИВНАЯ**

Дизъюнктивная форма представления:

- 1) исходное состояние контуров $F_i(A)$ изделия обозначается равным **нулю**;
- 2) окончное состояние после реализации соответствующей операции $F_i(A)=1$

Дизъюнктивная форма описывает переход контура F_i в реализованное состояние, под воздействием конкретной технологической операции T_k :

$$F_i(T_k)=1$$

Состав контуров изделия после выполнения k -й операции:

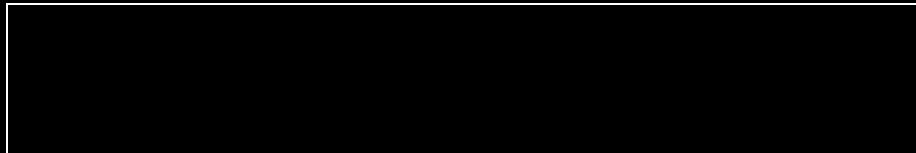
--

Формы представления связей

Конъюнктивная форма представления:

- 1) исходное состояние контуров $F_i(A)=0$;
- 2) контур, подлежащий реализации $F_i(A)$ принимает единичное значение $F_i(A)=1$;
- 3) Состояние контура $F_i(A_k)$ технологической операции, участвующей в реализации $F_i(A)$ также обозначается $F_i(T_k)=1$

Конъюнктивная форма описывает состав контуров изделия $F(A_k)$, реализуемых при участии k -ой операции :



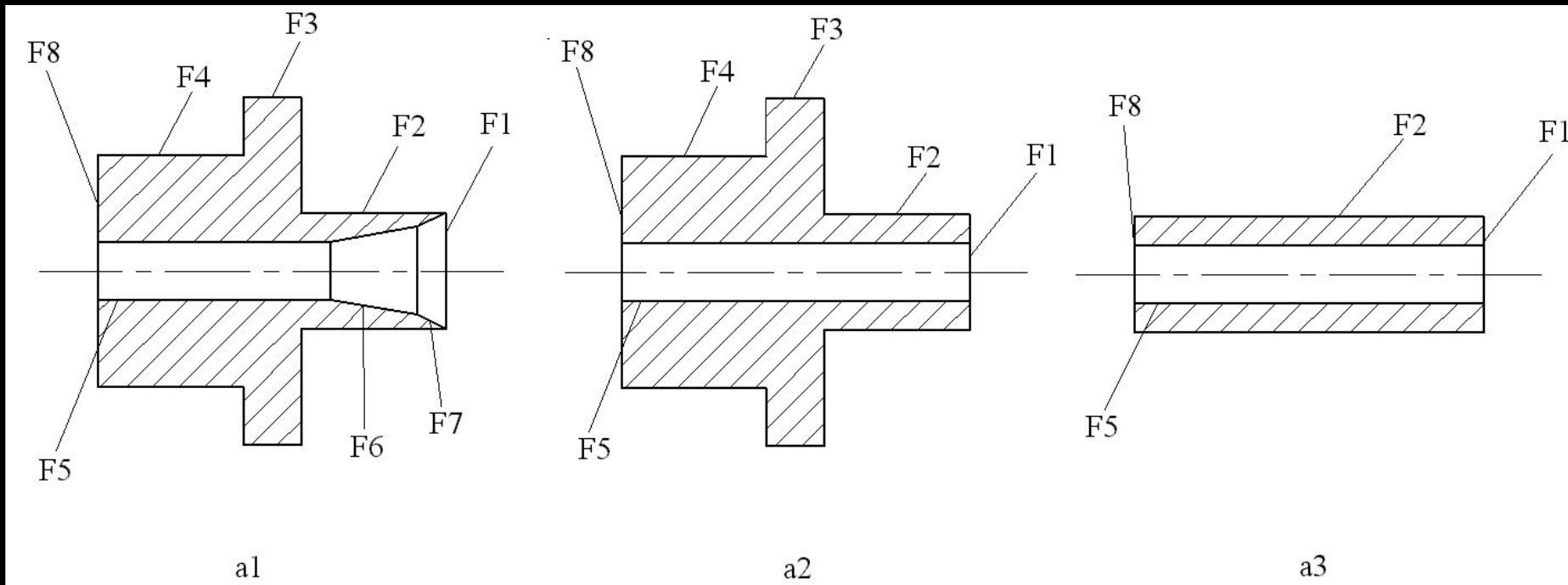
Вопрос 6. Табличная модель технологического процесса

Табличная модель ТП

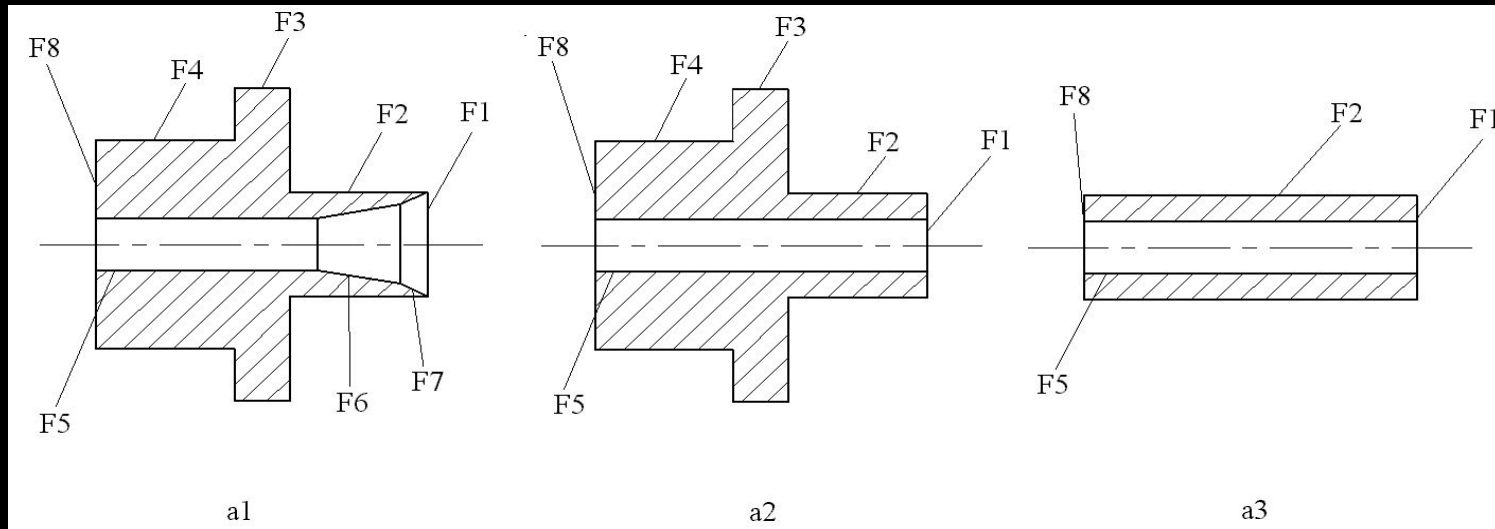
дана группа деталей **a_1, a_2, a_3** , описание которых объединено в одно множество A:



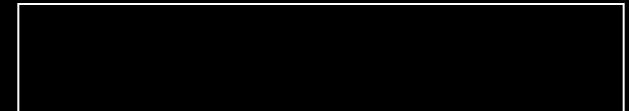
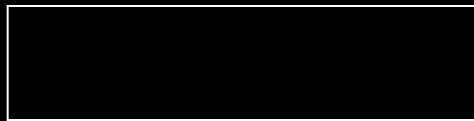
Чертежи деталей – тел вращения



Табличная модель ТП



Для реализации свойств изделия используются технологические операции и переходы T_k :



T_1 – подрезка торца;

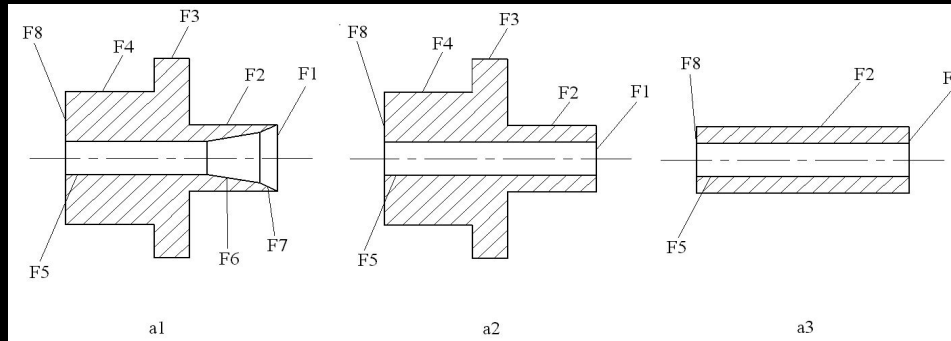
$T_{2'3'4}$ – точение
цилиндрических
поверхностей;

T_5 – сверление;

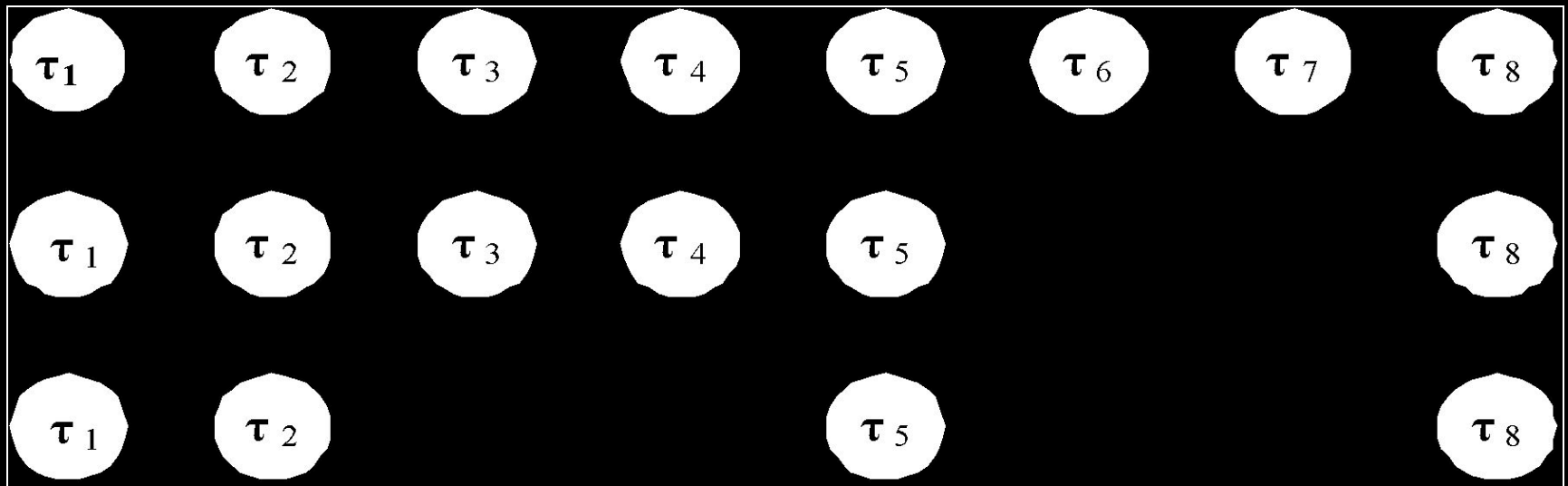
T_6 – коническое
расточивание;

T_7 – зенкование;

T_8 – отрезка.

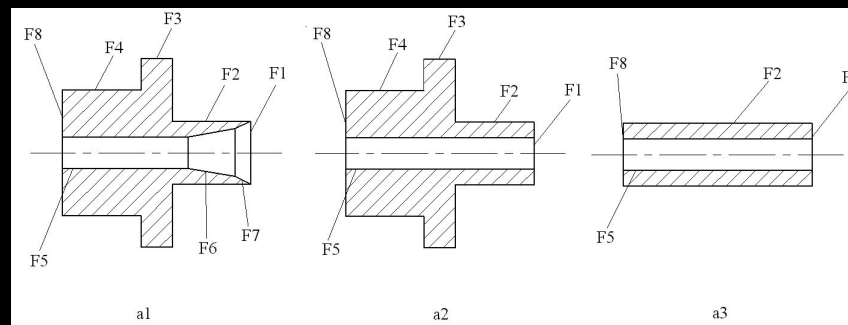


Табличные модели представляются в виде матриц и графов



Графы взаимосвязей переходов для деталей a_1 , a_2 , a_3

τ_1 – подрезка торца; $\tau_{2'3'4}$ – точение цилиндрических поверхностей; τ_5 – сверление; τ_6 – коническое растачивание;



Табличные модели представляются в виде матриц и графов

Дизъюнктивная матрица

Конъюнктивная матрица

T_1 – подрезка торца; $T_{2'3'4}$ – точение цилиндрических поверхностей;

T_5 – сверление; T_6 – коническое растачивание;

T_7 – зенкование; T_8 – отрезка.

Алгоритм проектирования с использованием дизъюнктивной модели

- 1) деталь описывается набором свойств F_i и на основании этого описания
- 2) проверяется достаточность контуров модели для реализации детали.

$$F(A) \subseteq F(T)$$

- 3) рассматривают очередную строку матрицы и проверяют, участвует она в реализации контуров изделия, т.е. отыскивается «1» в строке матрицы

$$F(A_k)^1 = F(A)_{k-1} \cap F(T_k)$$

(перемножают строку T_k на столбец F_{k-1})

Алгоритм проектирования с использованием дизъюнктивной модели

4) если $F(A_k)^1 \neq 0$, то операция T_k **включается** в технологический процесс,

если $F(A_k)^1 = 0$, то операция **не включается** и происходит анализ следующей строки.

(Порядок следования операций в этом случае не меняется).

5) Определяются все контуры, над которыми выполняются операции и проверяются, все ли контуры из заданной системы обработаны.

6) После включения операции в ТП проверяется, все ли контуры изделия реализованы. Если **да** – проектирование завершено, если **нет** – возвращаемся к п. 3.

Алгоритм проектирования с использованием конъюнктивной модели

1. Подготовка исходных данных описания контуров (свойств) деталей $F(A)$.
2. Проверяют составы контуров модели $F(T)$ для изготовления данного изделия $F(A) \subseteq F(T)$.

Если достаточно - переходят к дальнейшему анализу, иначе проектирование прекращается.

3. Рассматривают k -ую строку матрицы контуров и проверяют, участвует ли данная операция в изготовлении изделия

$$F(A)_k = F(A) \cap F(T_k)$$

Алгоритм проектирования с использованием конъюнктивной модели

4. по формуле

$$F(A) = F(A)_k \cap F(A)$$

проверяется все ли контуры, которые реализуются с помощью T_k , включены в модель. При положительных ответах на оба вопроса операция включается в состав ТП, **иначе – нет**.

5. Проводится проверка, все ли операции просмотрены (т.е. строки матрицы отношений контуров и операций). Если **да – конец проектирования**.

Иначе – переход к п. 3.

Свойства моделей класса S1 (табличных)

- 1) нет циклов;
- 2) количество элементов постоянно;
- 3) порядок постоянен;
- 4) состав операций неизменен

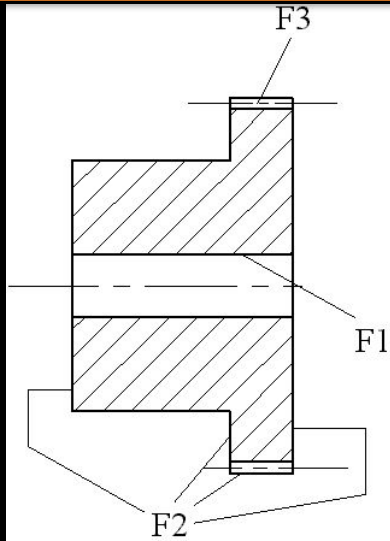
Вопрос 7. Сетевая модель технологического процесса

Сетевая модель ТП

Модели $S2, S5, S7, S8, S11$ – сетевые модели, которые отличаются количеством и составом операций при неизменном отношении порядка F_λ . В модели может содержаться несколько вариантов A_k проектируемого ТП, однако, во всех будет неизменным отношение порядка.

Сетевая модель **включает** матрицу свойств детали, описания логических отношений между свойствами и граф $G(T, C)$ взаимосвязи операторов ($T = \{T_1, T_2 \dots T_n\}$ – операции; $C = \{C_1, C_2 \dots C_n\}$ – дуги графа) по возможной их последовательности.

Пример: Зубчатое колесо

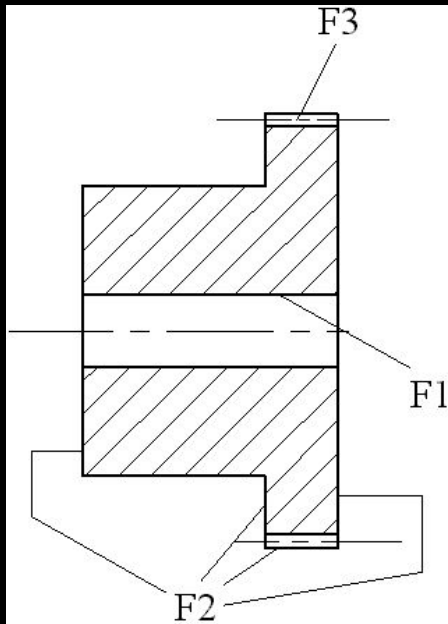


Сетевая модель S5 (отсутствие циклов $F_G = 1$, неизменное отношение порядок $F_\lambda = 1$)
изготовление зубчатого колеса

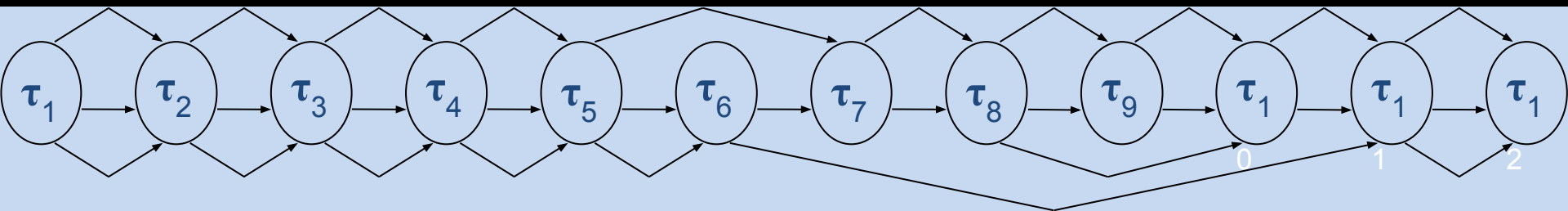
Множество T:

T_1 – получение заготовки; T_2 – сверление базового отверстия; T_3 – черновое обтачивание контура зубчатого колеса; T_4 – чистовое обтачивание контура зубчатого колеса; T_5 – черновая маркировка зубчатого колеса; T_6 – чистовая черновая маркировка зубчатого колеса; T_7 – термообработка; T_8 – отделка базового отверстия; T_9 – шлифование зубчатого профиля; T_{10} – притирка зубчатого профиля; T_{11} – мойка;

Пример: Зубчатое колесо



Граф взаимосвязи операторов по
ВОЗМОЖНОЙ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИХ
реализации:

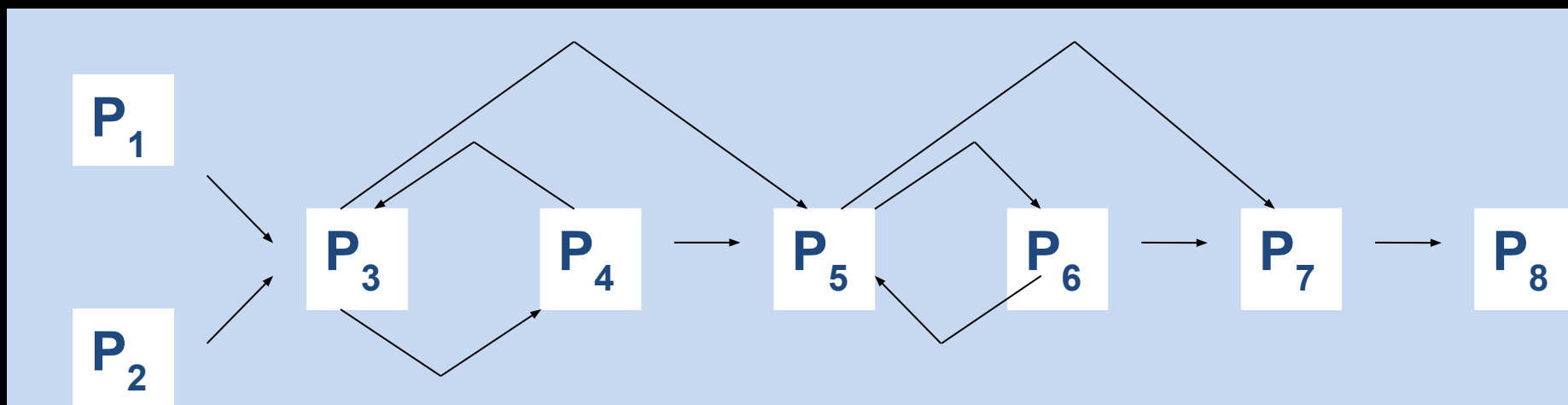


Матрица взаимосвязи операции и контуров

	F_i τ_i	F_1	F_2	F_3
Получение заготовки	τ_1	1	1	
Протягивание базового отверстия	τ_2	1		
Черновое обтачивание контура зубчатого колеса	τ_3		1	
Черновое обтачивание контура зубчатого колеса	τ_4		1	
Черновая нарезка зубчатого профиля	τ_5			1
Черновая нарезка зубчатого профиля	τ_6			1
Термообработка	τ_7	1	1	1
Отделка базового отверстия	τ_8	1		
Шлифование базового отверстия	τ_9			1
Притирка зубчатого профиля	τ_{10}			1
Мойка	τ_{11}	1	1	1
Контроль	τ_{12}	1	1	1

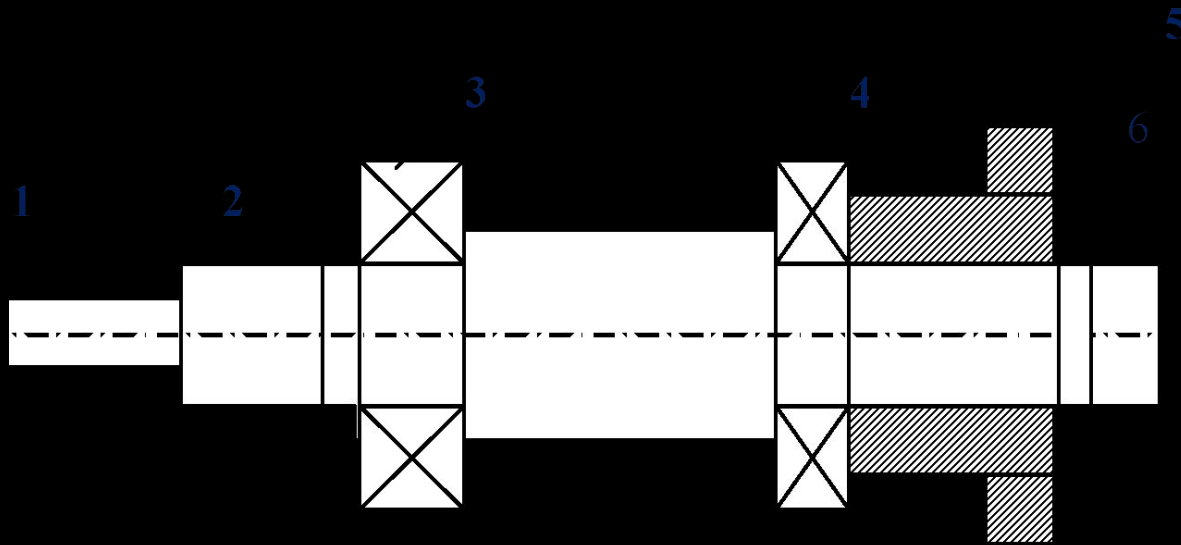
Вопрос 8. Перестановочная модель технологического процесса

Пример 1: Граф расцеховки изделия

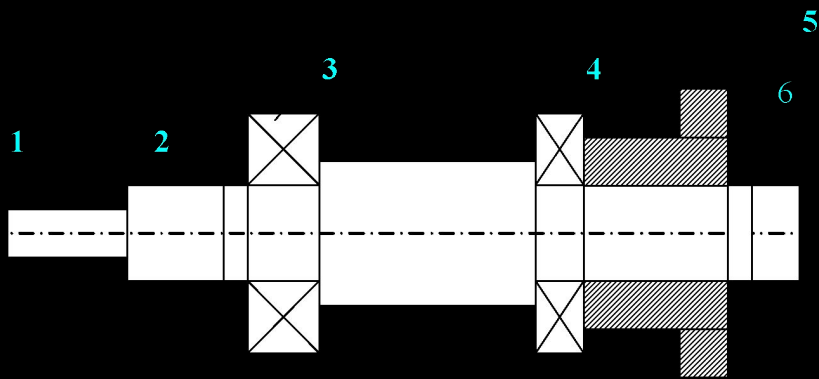


P1 – литейной; P2 – кузнечной; P3 – механической;
P4 – нормической; P5 – механосборочной;
P6 – общей сборки; P7 – испытаний; P8 – упаковки

Пример 2: Необходимо синтезировать ТП сборки редуктора

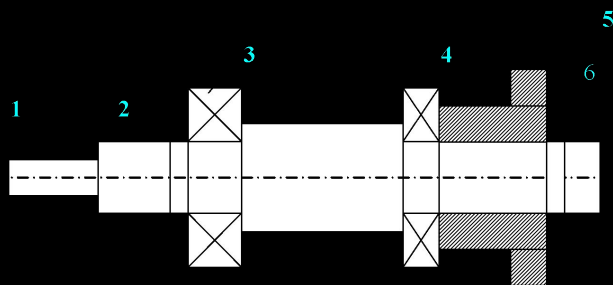


- 1 – вал; 2 – стопорное кольцо; 4, 3 – подшипник;
- 5 – коническое зубчатое колесо;
- 6 – стопорное кольцо



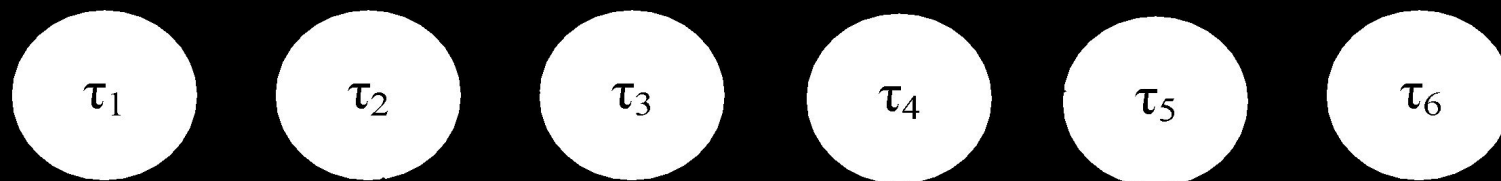
Сборочные операции (τ_i):

- τ_1 – установка вала в сборочное приспособление;
- τ_2 – установка стопорного кольца (2);
- τ_3 – посадка шарика-подшипника(3);
- τ_4 – посадка шарика-подшипника(4);
- τ_5 – установка конического колеса (5);
- τ_6 – установка стопорного кольца (6)

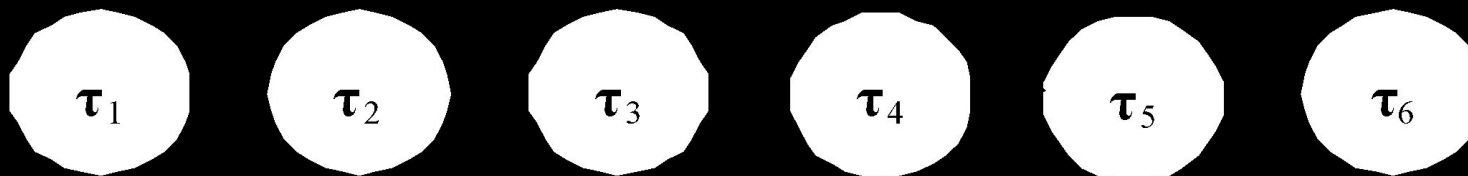


Графы вариантов ТП сборки редуктора:

1:



2:



и др...

Алгоритм проектирования технологического процесса по дизъюнктивной табличной модели

1. Готовятся исходные данные о составе контуров изделия, которые должны быть реализованы в этой модели.
2. Проверяется достоверность состава контуров модели для изготовления конкретного изделия.
3. Рассматривается очередная k -я строка дизъюнктивной матрицы контуров
4. Проверяется, участвует ли операция τ_k в реализации контуров изделия. Если да, то переходим к п. 5, если нет, то возвращаемся в п. 3.
5. Операцию τ_k включают в технологически процесс T_i , очередность выполнения операций τ_k в технологическом процессе определяется очередностью включения τ_k в T_i .
6. Определяется состав контуров, которые могут быть реализованы набором T_i операций.
7. Проверяется достоверность этих контуров для реализации изделия. Если да, то проектирование закончено, если нет, то переходим к п. 3.

Способ построения графа вариантов маршрута сборки изделия

1. Выбирается элемент конструкции, который называется базовой деталью и он принимается за корневую вершину графа (чаще всего это корпус).
2. Рассматриваются все остальные элементы конструкции кроме корневого, и проверяется выполнение условий базирования и доступа. Отобранные таким образом вершины образуют второй ярус в графе.
3. Рассматриваются остальные вершины за исключением включенных в граф и т.д.
4. Построение графа заканчивается тогда, когда для каждой ветви получены последние висячие вершины, соответствующие последним элементам сборочной единицы.

*Вопросы по прочитанному
материалу?*

Спасибо за внимание!