

Оптимизация состава технологических переходов при многопозиционной автоматической обработке

*Анфёров Михаил Анисимович,
e-mail: anfyorov@inbox.ru*



«МИРЭА — Российский технологический университет»

Введение

Современная ситуация



- Основные тенденции на мировом рынке наукоемких промышленных изделий (самолеты, корабли, автомобили, военная техника):

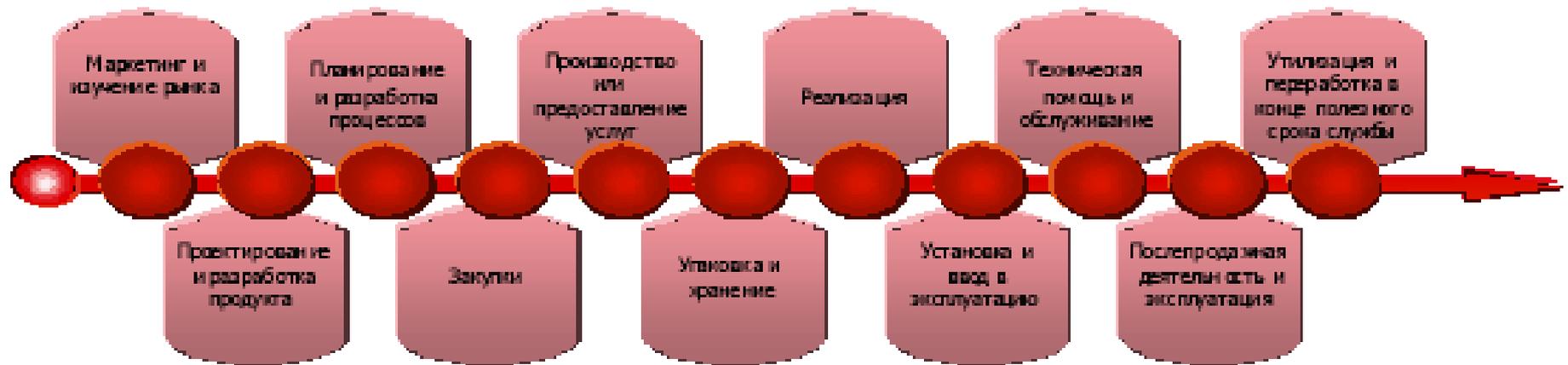


- Повышение сложности и ресурсоемкости изделий
- Повышение конкуренции на рынке
- Углубление кооперации между участниками жизненного цикла изделия
 - Создание «виртуальных предприятий»



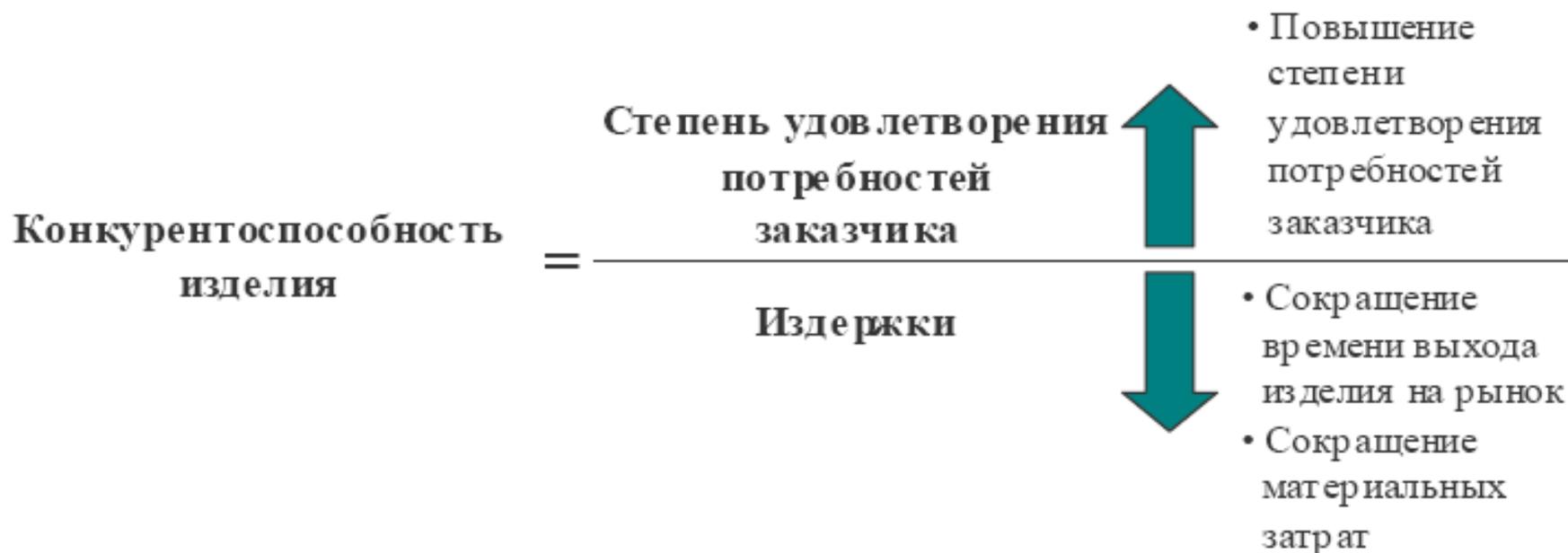
Продукт и его жизненный цикл

- Согласно стандартам серии ISO 9000:
 - Продукт – результат некоторой деятельности или выполненных процессов
 - Жизненный цикл (ЖЦ) продукта – совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенном продукте до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта
 - Этапы ЖЦ продукта:

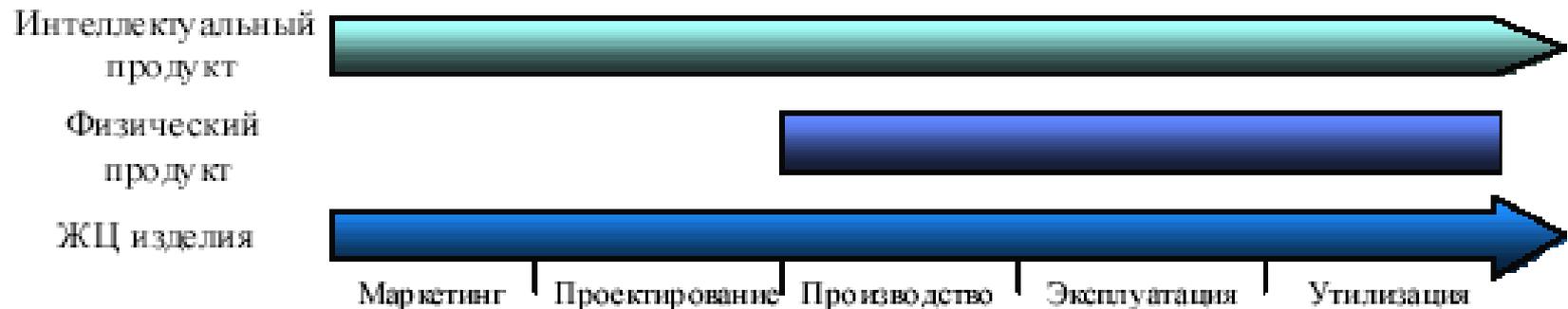


Конкурентоспособность изделия

- Основная задача предприятия –
повышение конкурентоспособности
изделий



Концепция CALS

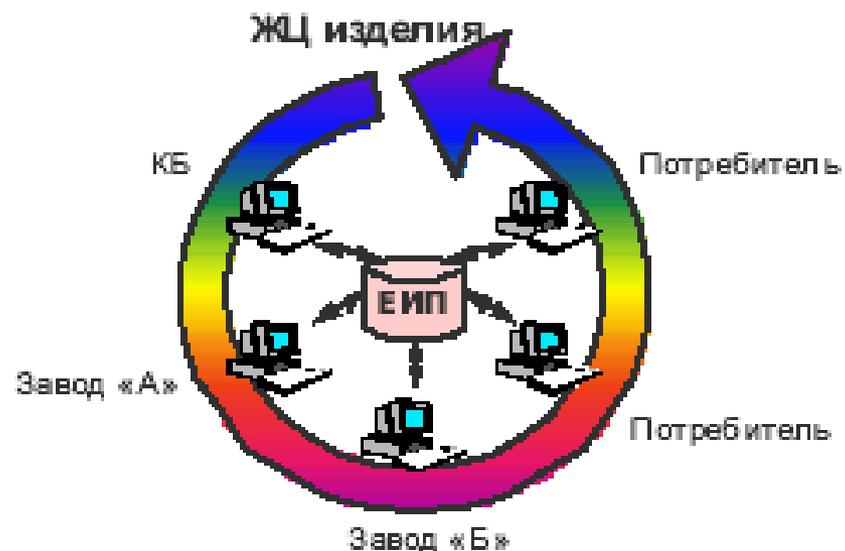


- Цель – преобразование ЖЦ изделия в **высокоавтоматизированный процесс**
- Средство – применение **новых информационных технологий**
- **Выгоды:**
 - Сокращение времени выхода изделия на рынок
 - Сокращение общей стоимости ЖЦ
 - Улучшение качества изделия

Единое информационное пространство

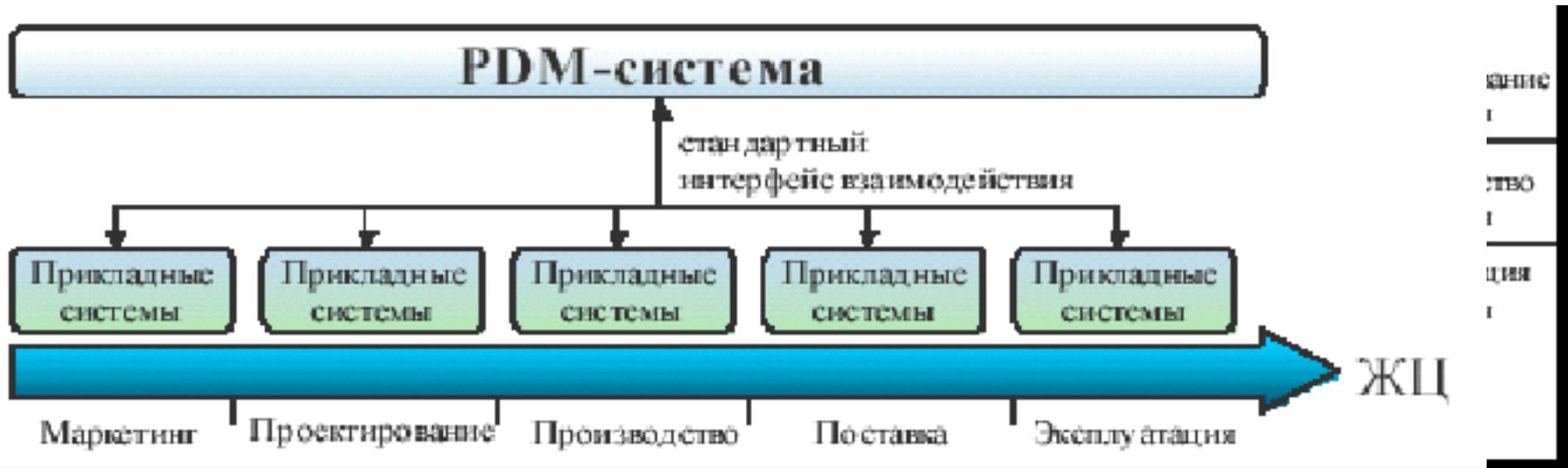
■ Свойства ЕИП:

- информация представлена в электронном виде
- ЕИП охватывает все данные об изделии
- ЕИП является единственным источником данных об изделии
- для интеграции различных программно-аппаратных средств используются международные, государственные и отраслевые информационные стандарты
- для создания ЕИП используются существующие у участников программно-аппаратные средства
- ЕИП непрерывно развивается

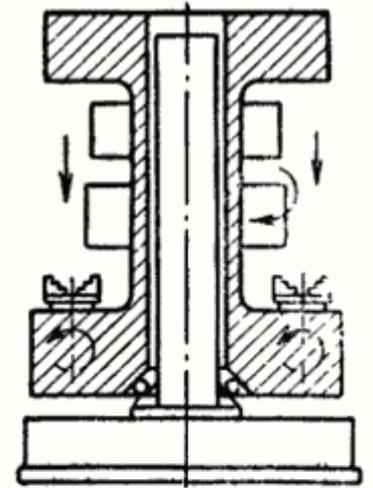


CALS-технологии

- CALS-технологии – набор методов реализации стратегии CALS (создания ЕИП):
 - технологии реинжиниринга бизнес-процессов
 - технологии представления данных об изделии в электронном виде
 - технологии интеграции данных об изделии в рамках ЕИП



Постановка задачи

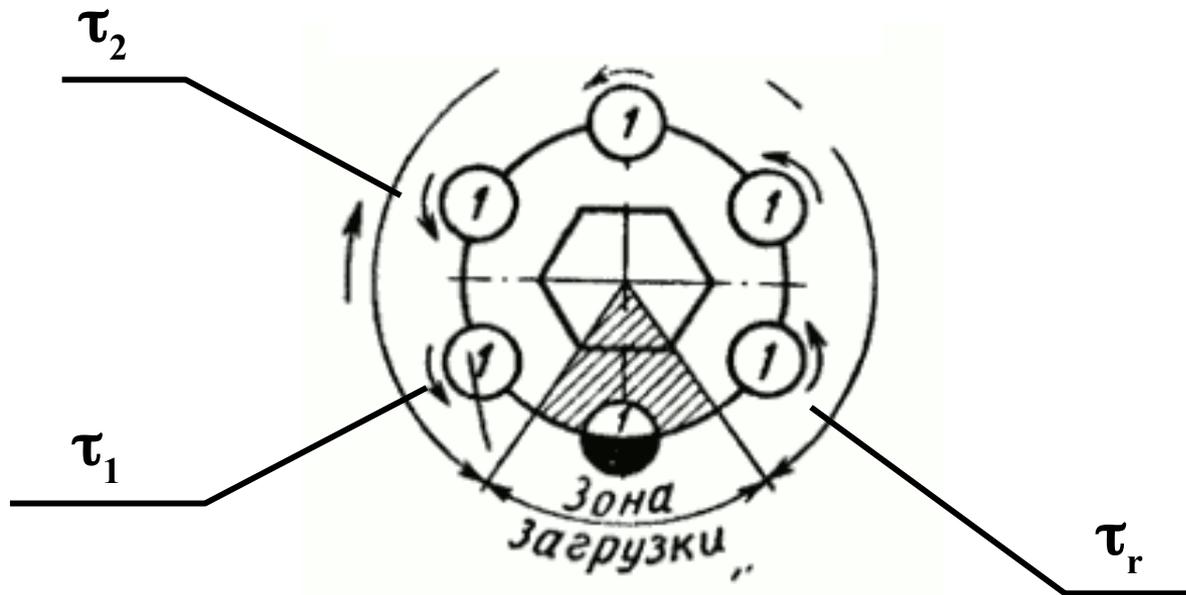


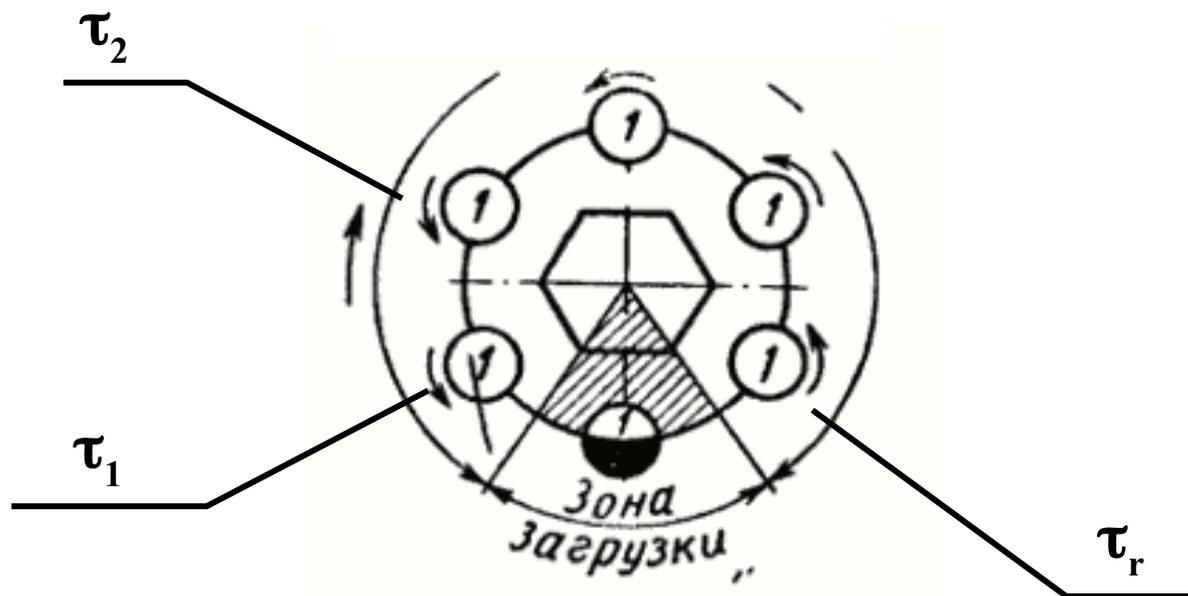
Зона обработки



$$\mathbf{P} = \{p_i\}, i \in [1, n]$$

$$\xi : \mathbf{P} \rightarrow \mathbf{T}, \mathbf{T} = \{t_i\}$$

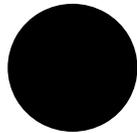
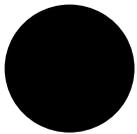




$$\tau_{\text{sup}} - \tau_{\text{inf}} = \varepsilon \rightarrow 0,$$

где $\tau_{\text{sup}} = \max \{ \tau_j \}, \tau_{\text{inf}} = \min \{ \tau_j \}, j = [1, r].$

$$\bar{\mathbf{T}} = \{3, 3, 4, 5, 5\}$$



3

3, 4, 5, 5

$\varepsilon = 14$

$t_0 = 17$

3, 3, 4

5, 5

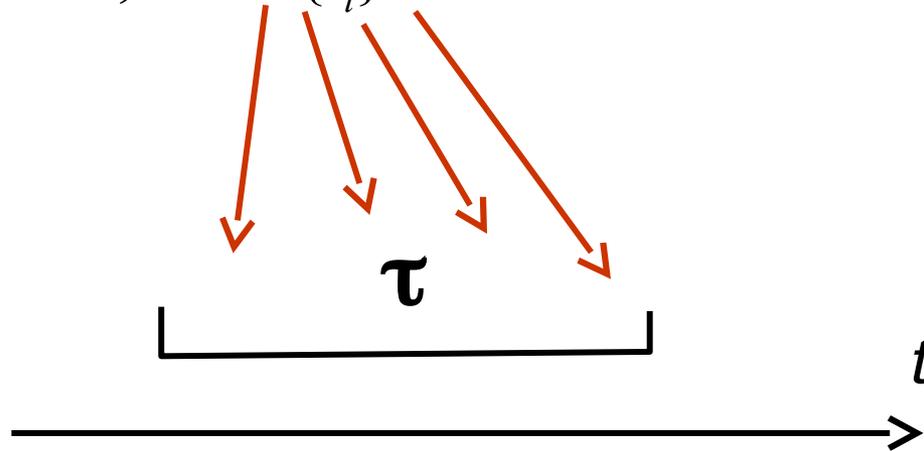
$\varepsilon = 0$

$t_0 = 10$

Метод оптимизации

$$\mathbf{P} = \{p_i\}, i \in [1, n]$$

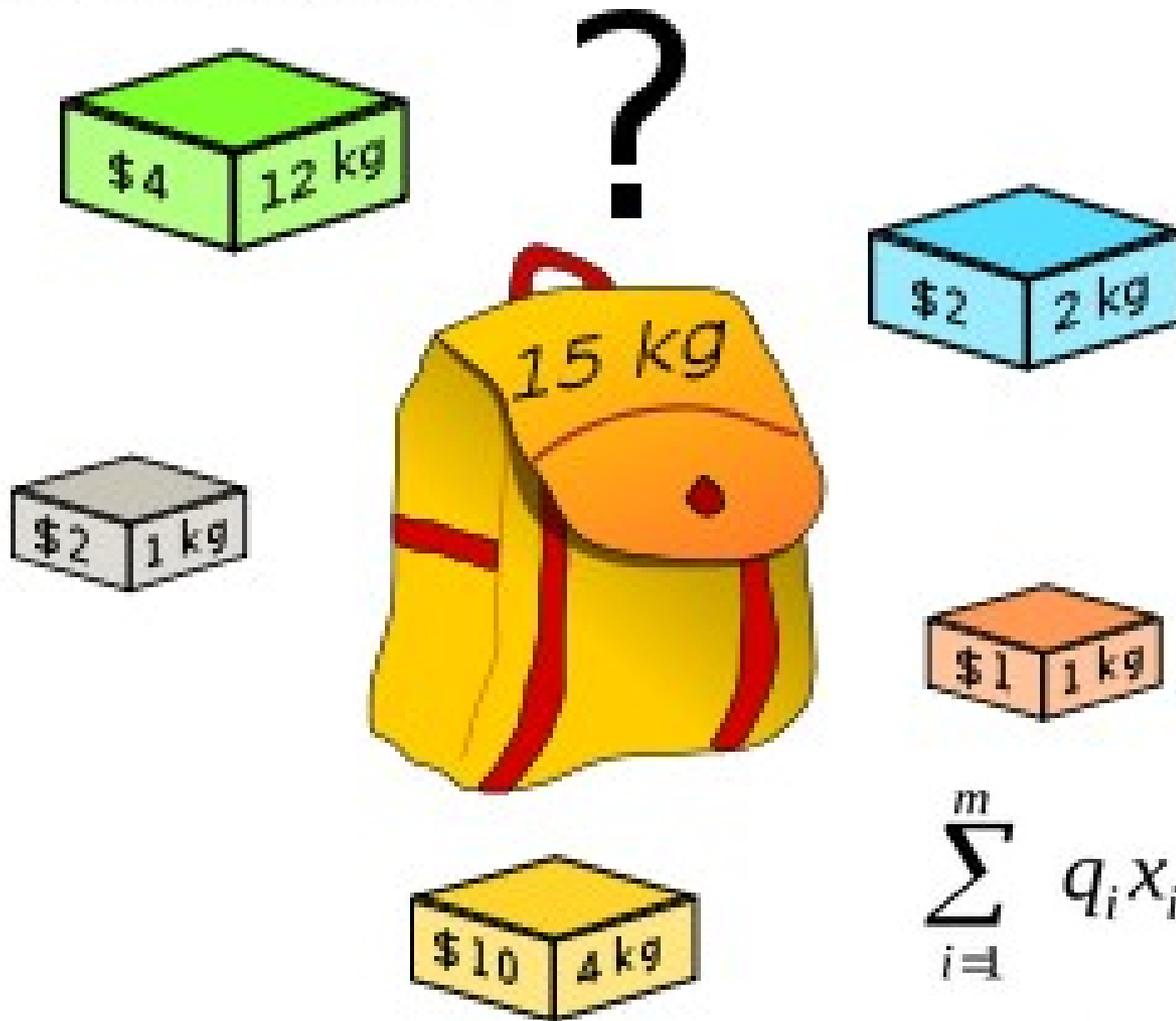
$$\xi : \mathbf{P} \rightarrow \mathbf{T}, \mathbf{T} = \{t_i\}$$



$$\tau - \sum_{t_i \in \mathbf{T}} t_i = \delta \rightarrow 0$$

Для достижения поставленной цели использован метод динамического программирования при решении так называемой "задачи об оптимальной загрузке рюкзака", которая подверглась модификации в связи с особенностями основной задачи.

Задача о рюкзаке



$$\sum_{i=1}^m q_i x_i \leq Q,$$

$$C(X) = \sum_{i=1}^m c_i x_i \rightarrow \max$$

При этом предварительно из элементов множества \mathbf{T} формируется новое упорядоченное множество $\bar{\mathbf{T}} = \{t_i\}$ таким образом, что для $\forall i \in [1, n-1] \Rightarrow t_i \leq t_{i+1}$.

Результат решения в постановке (2) определяется вектором $\mathbf{X} = \{x_i\}$, $i \in [1, n]$, компоненты которого соответствуют элементам множества $\bar{\mathbf{T}}$ и могут принимать значение "1" в случае, если соответствующий элемент из $\bar{\mathbf{T}}$ включен в интервал τ , либо значение "0" в противном случае.

Целевая функция определена следующим образом:

$$F(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i, \quad (3)$$

где c_i – весовое значение соответствующего интервала из $\bar{\mathbf{T}}$.

Механизм назначения оценок c_i заключается в следующем:

$$c_i = \begin{cases} c_i = 1 \text{ для } i = 1; \\ c_i = c_{i-1} + 1 \text{ для } \forall i \in [1, n-2] \text{ если } t_i > t_{i-1}; \\ c_i = c_{i-1} \text{ для } \forall i \in [1, n-2] \text{ если } t_i = t_{i-1}. \end{cases}$$

Используемое линейное ограничение имеет вид

$$\sum_{i=1}^n t_i \cdot x_i \leq \tau, \quad (4)$$

который может быть приведен к целочисленному (это всегда можно сделать выбором более мелких единиц измерения интервалов t_i)

который может быть приведен к целочисленному (это всегда можно сделать выбором более мелких единиц измерения интервалов t_i)

$$\sum_{i=1}^n t_i \cdot x_i \leq t^* + \Delta t \cdot k^*, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i \cdot x_i \leq t^* + \Delta t \cdot k^*,$$

основное рекуррентное соотношение Беллмана для рассматриваемой задачи запишется в виде

$$\varphi_k = \max_{i \in \mathbf{I}_u} (c_i + \varphi_u), \quad u = k - t_i / \Delta t, \quad \mathbf{I}_u : u \geq -t^* / \Delta t. \quad (6)$$

Алгоритм решения задачи (2) состоит из двух частей, соответствующих прямому рекуррентному и обратному ходу, определяющему вектор \mathbf{X} .

При этом для $\forall k$ используется вектор $\mathbf{\beta}_k = \{\beta_k^0, \beta_k^1, \dots\}$, компонентам которого присваиваются значения оптимальных политик при проверке рекуррентного соотношения (6), а также скаляр α_k , равный количеству запомненных в $\mathbf{\beta}_k$ альтернативных политик.

Алгоритм структурной оптимизации

Шаг 1. Вычислить интервал τ по формуле

$$\tau = \begin{cases} \left[\frac{1}{r} \sum_{i=1}^n t_i \right], & \text{если } \left\{ \frac{1}{r} \sum_{i=1}^n t_i \right\} = 0 \\ \left[\frac{1}{r} \sum_{i=1}^n t_i \right] + 1, & \text{если } \left\{ \frac{1}{r} \sum_{i=1}^n t_i \right\} \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

и перейти к *шагу 2*.

Шаг 2. Положить $w = 1$ (w – номер позиции технологического оборудования) и перейти к *шагу 3*.

Шаг 3. Сформировать множества \bar{T} и $\{c_i\}$, рассчитать параметры t^* , Δt , k^* и перейти к *шагу 4а*.

Шаг 4а. Заполнить с помощью алгоритмов прямого и обратного хода интервал τ и **проверить на допустимость¹** технологические переходы, соответствующие временным интервалам из \bar{T} , отмеченные вектором X . Если недопустимых переходов нет – перейти к *шагу 4б*, если есть – удалить из T временные интервалы, соответствующие этим переходам, поместив их во временное множество Q , и перейти к *шагу 3*.

Шаг 4б. Закрепить за w -й технологической позицией отмеченные вектором X временные интервалы из \bar{T} , удалить эти интервалы из T , переместить обратно из временного множества Q все элементы в T и перейти к *шагу 5*.

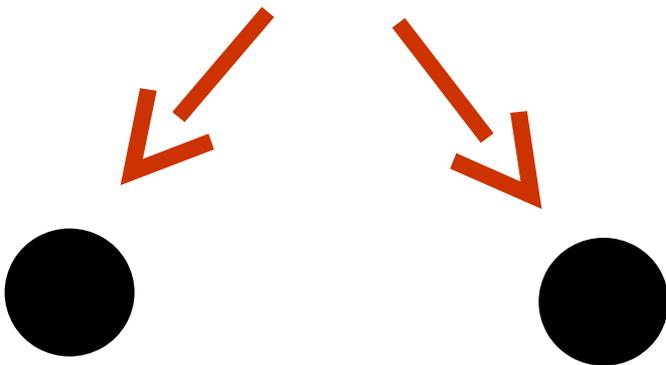
Шаг 5. Проверить, является ли множество T пустым: если да – перейти к *шагу 6*, если нет – положить $w = w + 1$ и перейти к *шагу 3*.

Шаг 6. Проверить справедливость равенства $w = r$. Если равенство справедливо, то закончить, если нет – положить² $\tau = \tau + \Delta\tau$, $w = 1$, восстановить множество T и перейти к *шагу 3*.

ПРИМЕР

Пример 2. Требуется распределить пять технологических переходов между двумя технологическими позициями ($r = 2$). Вектор $\bar{\mathbf{T}}$, определяемый временами выполнения данных переходов, равен $\bar{\mathbf{T}} = \{3, 3, 4, 5, 5\}$.

$$\bar{\mathbf{T}} = \{3, 3, 4, 5, 5\}$$



Интервал τ рассчитывается как $\tau = (3+3+4+5+5) / 2 = 10$.

Пояснение к работе алгоритма прямого хода для первой технологической позиции



Параметры	Значение параметров			
\underline{k}	0	1	2	3
$\varphi_{\underline{k}}$	1	2	3	3
$\beta_{\underline{k}}$	{1, 2}	{3}	{4, 5}	{4, 5}
\underline{k}	4	5	6	7
$\varphi_{\underline{k}}$	3	4	5	6
$\beta_{\underline{k}}$	{1, 2, 3, 4, 5}	{1, 2, 4, 5}	{3, 4, 5}	{4, 5}

При обратном ходе формируется вектор $\mathbf{X} = \{0, 0, 0, 1, 1\}$.

$$\bar{\mathbf{T}} = \{3, 3, 4, 5, 5\}$$

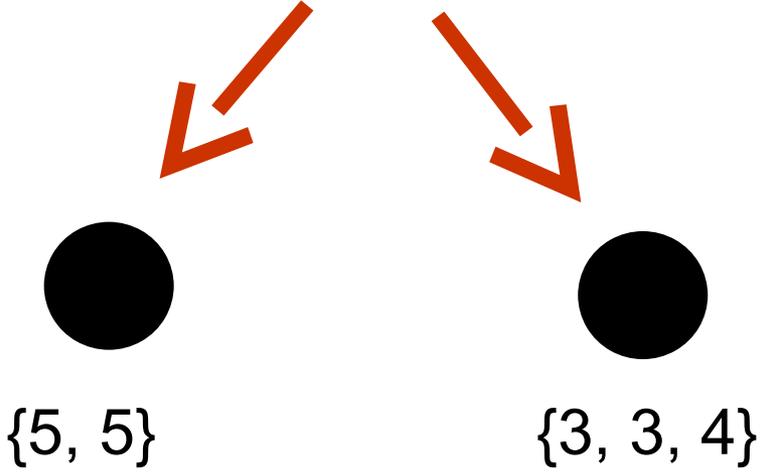
Пояснение к работе алгоритма прямого хода для второй технологической позиции

Параметры	Значение параметров			
\underline{k}	0	1	2	3
$\varphi_{\underline{k}}$	1	2	2	2
$\beta_{\underline{k}}$	{1, 2}	{3}	{3}	{1, 2, 3}

Параметры	Значение параметров			
\underline{k}	4	5	6	7
$\varphi_{\underline{k}}$	3	4	4	4
$\beta_{\underline{k}}$	{1, 2, 3}	{1, 2, 3}	{3}	{1, 2, 3}

При обратном ходе формируется вектор $\mathbf{X} = \{1, 1, 1\}$.

$$\bar{\mathbf{T}} = \{3, 3, 4, 5, 5\}$$



Заключение

- **Повышение технологической производительности на 10 – 15%.**
- **Повышение уровня автоматизации процесса проектирования средствами САПР ТП.**
- **Повышение конкурентоспособности наукоемких изделий в области машиностроения.**