

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭВРИСТИЧЕСКОГО ПОИСКА ДЛЯ СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

yorleon@yandex.ru

Рассматривается представление задачи автоматизации проектирования технологических процессов обработки заготовок в пространстве состояний. Предложен метод формирования оптимального технологического процесса, основанный на эвристическом алгоритме поиска. Представлены критерии автоматизированного выбора рациональных схем базирования.

Ключевые слова: технологический процесс, САМ/САЕ, АСТПП, схемы базирования, эвристический поиск, пространство состояний.

Известно большое множество научных работ направленных на решение задач автоматизации проектирования технологических процессов (ТП) обработки заготовок [1]. Однако на сегодняшний день остаются не решенными многие технологические задачи, одна из которых поиск оптимальной структуры обработки заготовки. Такая ситуация объясняется сложной формализацией этой задачи. Как показал анализ, данная проблема требует нестандартных подходов с применением современных математических методов и алгоритмов.

В области искусственного интеллекта широко известны методы поиска решения в пространстве состояний. Под пространством состояний понимают множество возможных конфигураций исследуемой динамически меняющейся системы [2]. Различают начальное и конечное (целевое) состояния системы. Под начальным состоянием понимают исходную конфигурацию системы, с которой начинается решение задачи. Целевым состоянием называют конечную конфигурацию системы, к которой стремится решение задачи. Очень часто пространство задач представляют в виде графа или дерева, вершины которых соответствуют состояниям, а дуги операторам, которые преобразуют одно состояние системы в другое.

Применительно к задаче проектирования ТП обработки заготовки пространством состояний будем называть всевозможные варианты состояния заготовки после обработки от начального состояния – заготовки до конечного состояния – детали. В процессе обработки заготовка может проходить различные состояния, т.е. заготовка будет представлять собой промежуточные состояния, в которых обработанными являются те или иные поверхности до различных стадий обработки. В качестве модели описания пространства состояний для задачи проектиро-

вания ТП обработки заготовки было выбрано иерархическое представление в виде дерева. В корне этого дерева находится начальное состояние заготовки (S_0). Листьями этого дерева являются конечные состояния заготовки – деталь (S_d). Остальные узлы дерева S_1, S_2 и т.д. представляют собой промежуточные (текущие) состояния заготовки – S_k (рис. 1). Каждый путь от состояния заготовки до состояния детали проходит по разным сценариям (маршрутам обработки), при этом в дереве возможных состояний могут встречаться одинаковые состояния заготовки.

Для того чтобы рассмотреть всевозможные варианты обработки заготовки необходимо сначала их включить в пространство состояний. Вначале для текущего состояния заготовки определяют всевозможные варианты базирования, при этом неизвестно какая технологическая операция будет идти первой, а какая второй и т.д. Для каждой базы определяют возможные виды обработки (операции) с учетом конкретного станочного оборудования.

Представим для примера алгоритм формирования операций для текущей базы.

1. Выбираем станок из базы данных (БД) станочного оборудования.

2. Определяем можно ли обеспечить требуемое базирование для выбранного станка: если да, то продолжаем алгоритм: если нет, то выбираем другой станок (пункт 1).

3. Определяем какие поверхности и до какой стадии можно обработать при выбранном базировании и на текущем станочном оборудовании. База, станок и обработка максимально возможного набора поверхностей будет определять текущую операцию.

4. Если в БД станочного оборудования остались не рассмотренные станки, то переходим к первому пункту, если нет, то формирова-

ние возможных операций на текущую базу закончено.

На рис. 1 показано дерево возможных вариантов обработки, в котором помимо состояний заготовки добавлены возможные базы и операции, выполненные от этих баз.

Исходными данными для построения дерева являются 3D-представления заготовки и детали с нанесенными конструкторскими и технологическими требованиями. При сравнении геометрии заготовки и детали заготовка разбивается на отдельные конструктивно-

технологические элементы (КТЭ) – P_i согласно классификации В.Д. Цветкова [3]. В ходе анализа требований к качеству изготовления детали, полученные КТЭ заготовки разбиваются на множество КТЭ, представляющие собой состояния элементов заготовки после выполнения над ними промежуточных операций. Таким образом, для каждого элемента заготовки определяется план обработки с получением промежуточных состояний от исходного состояния заготовки до конечного состояния детали.

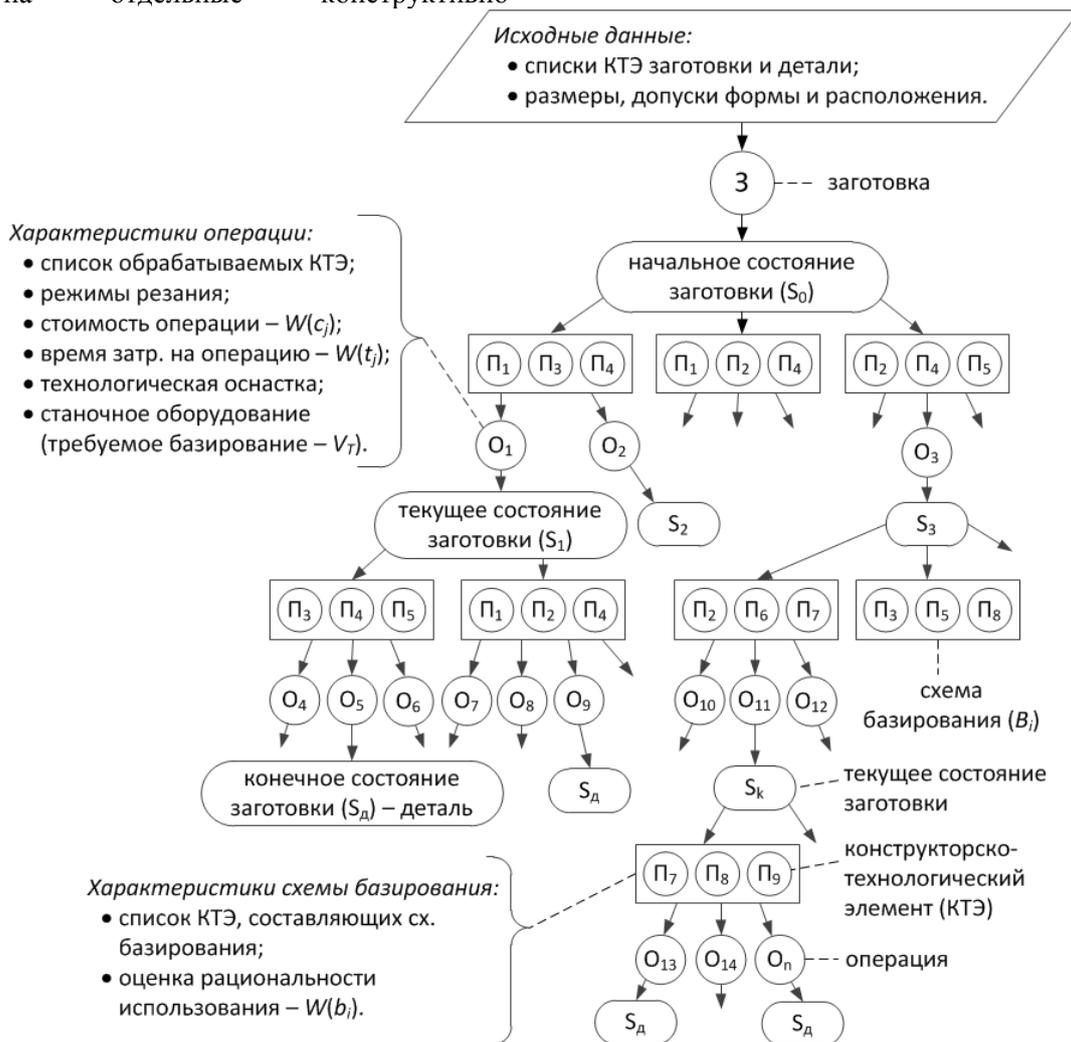


Рис. 1. Дерево возможных вариантов обработки заготовки

После выполнения технологических операций появляются новые состояния заготовки. Например, после операции O_1 появляется новое состояние заготовки S_1 (рис. 1). Далее описанные действия по формированию новых состояний повторяются до тех пор пока в каждом из возможных путей обработки заготовки не получим целевое состояние детали (S_d).

После создания дерева возможных вариантов обработки заготовки необходимо рассчитать следующие оценки: укрупненную стоимость операции – $W(c_j)$; укрупненное время, затрачи-

ваемое на операцию – $W(t_j)$; качество использования схемы базирования – $W(b_{ij})$ (рис. 2). Эти оценки потребуются для нахождения оптимального ТП обработки заготовки.

Необходимо рассчитывать оценки качества схемы базирования для каждой операции, например для схемы, изображенной на рис. 2 необходимо получить две оценки схемы базирования $W(b_{i1})$ и $W(b_{i2})$ для операций O_1 и O_2 соответственно.

Каждая технологическая база ранжируется согласно критериям оптимальности, которые в

итоге определяют качество схем. Определены следующие критерии выбора рациональных схем базирования [4]: погрешность схемы базирования заготовки; относительные затраты на реализацию схемы установки; относительное вспомогательное время, необходимое на установку и снятие заготовки; площадь главной базы; устойчивость заготовки при базировании по главной базе; доступность обрабатываемых поверхностей; доступность использования базовых поверхностей; компактность расположения базовых поверхностей.

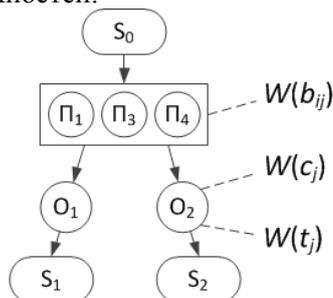


Рис. 2. Оценки схемы базирования и операции

Свертку оценок схем базирования по критериям рациональности можно выполнить с помощью методов принятия решений, например метода анализа иерархий [5].

Используя данные об обрабатываемых поверхностях, технических характеристиках выбранного станочного оборудования и режущего инструмента, выбранной схемы обработки, рекомендуемых режимов резания (табличные данные, основанные на информации о переходах КТЭ на следующие стадии обработки), подсчитывается укрупненная оценка времени обработки $W(t_j)$. Укрупненная оценка стоимости обработки $W(c_j)$ рассчитывается исходя из данных о времени обработки и стоимости обработки на выбранном оборудовании.

После того как определены оценки схем базирования и операций, необходимо найти оптимальный ТП, который выражен в «кратчайшем» пути от состояния заготовки до состояния детали. Так как количество вариантов обработки заготовки, представленное деревом, будет достаточно большим необходимо выполнить процедуру оптимизации поиска.

Для оптимизации поиска ТП в дереве предлагается использовать алгоритм эвристического поиска «Алгоритм А*» [2]. Алгоритм использует следующую эвристическую оценочную функцию:

$$f(x) = g(x) + h(x), \tag{1}$$

где $g(x)$ – общий вес пройденного пути в дереве; $h(x)$ – оценка оставшегося пути до целевого состояния.

Для задачи поиска кратчайшего пути в дереве возможных вариантов обработки была использована оценочная функция (1) в которой функция $g(x)$ равна:

$$g(x) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{W(b_i)} + \sum_{j=1}^m W(t_j) + \sum_{j=1}^m W(c_j), \tag{2}$$

где i – текущая схема базирования для рассматриваемого пути; n – конечная схема базирования для рассматриваемого пути; $W(b_i)$ – оценка i -ой схемы базирования [4]; j – текущая операция рассматриваемого пути; m – конечная операция рассматриваемого пути; $W(t_j)$ – оценка вспомогательного времени j -ой операции; $W(c_j)$ – оценка стоимости j -ой операции (рис. 2).

Оценки вспомогательного времени и стоимости для j -ой операции равны:

$$W(t_j) = \frac{t_j^{on}}{\sum_{k=1}^w t_k^{on}}, \quad W(c_j) = \frac{c_j^{on}}{\sum_{k=1}^w c_k^{on}}, \tag{3}$$

где t_j^{on} , c_j^{on} – укрупненные оценки вспомогательного времени и стоимости j -ой операции; $\sum_{k=1}^w t_k^{on}$, $\sum_{k=1}^w c_k^{on}$ – сумма всех оценок вспомогательного времени и стоимости в дереве.

Различия оценок $W(b_{ij})$ на рис. 2 и $W(b_i)$ в формуле (2) объясняется тем, что в первом случае целью являлось показать, что на одну и ту же схему может быть несколько оценок, количество оценок для одной схемы зависит от количества возможных операций. Во втором случае индекс i определяет порядок следования схем базирования в рассматриваемом пути.

Оценка оставшегося пути до целевого состояния $h(x)$ является эвристической компонентой в функции (1), в качестве целевого состояния принимается конечное состояние заготовки (деталь). Для задачи поиска оптимального ТП функция $h(x)$ равна:

$$h(x) = \frac{\sum_{q=1}^p St_q^{ocm}}{\sum_{q=1}^p St_q^{sce}}, \tag{4}$$

где q – текущий КТЭ детали; p – конечный КТЭ детали; St_q^{ocm} – количество стадий, которое осталось пройти (осталось обработать) текущему (q -му) КТЭ; St_q^{sce} – количество всех стадий, которое необходимо пройти q -му КТЭ.

Рассмотрим подробнее расчет эвристической компоненты $h(x)$. Для этого, обобщенно представим задачу обработки отдельного КТЭ. Задача формулируется следующим образом: необходимо подобрать план обработки элемента заготовки КТЭ³ для того, чтобы получить конечный элемент КТЭ⁰; при этом план обработки представляет собой упорядоченный список КТЭ с выявленными характеристиками (размеры, точность, качество, геометрия КТЭ), составляющих промежуточные состояния рассматриваемого элемента заготовки. Такой список может быть представлен следующим образом:

$$KTЭ_{cn.} = (KTЭ^3, KTЭ_1^3, KTЭ_2^3, \dots, KTЭ^0), \quad (5)$$

где КТЭ_i³ – i-ое состояние КТЭ, полученное на текущей стадии обработки.

Для решения поставленной задачи необходимо воспользоваться функцией $F_{cm.}$, которая переведет КТЭ³ в КТЭ⁰: $KTЭ^3 \xrightarrow{F_{cm.}} KTЭ^0$.

При решении рассматриваемой задачи необходимо учитывать множество доступного станочного оборудования $E_q = \{eq_1, eq_2, \dots, eq_n\}$ и множество методов обработки $M = \{m_1, m_2, \dots, m_m\}$.

$$F_{cm.} : \{[M], KTЭ^3, KTЭ^0\} \rightarrow (KTЭ^3, KTЭ_1^3, KTЭ_2^3, \dots, KTЭ^0). \quad (7)$$

Таким образом, для списка $KTЭ_{cn.} = (KTЭ_0^3, KTЭ_1^3, KTЭ_2^3, \dots, KTЭ_s^3)$ в случае, если КТЭ₂³ является текущим состоянием j-го КТЭ, то в формуле (4) количество стадий которое осталось пройти элементу вычисляется следующим образом:

$$St_q^{ocm} = s - i - 1, \quad (8)$$

где s – количество состояний КТЭ; i – номер текущего состояния.

Рассмотрим для примера обработку наружной цилиндрической поверхности (вал). Исходный цилиндр (КТЭ³) после заготовительной операции имеет 14 квалитет. Необходимо получить конечное состояние цилиндра (КТЭ⁰) по 7-му квалитету.

С помощью функции F_m (см. формулу (5)) получаем следующий список методов: $[M] = \{\text{«черновое точение»}, \text{«чистовое точение»}, \text{«шлифование»}\}$. Черновое точение позволяет перейти от 14-го к 11-му квалитету, чистовое точение от 11-го к 9-му и шлифование от 9-го к 7-му. При этом необязательно, что план обработки может быть именно таким, но в данной задаче рассматривается именно такой план. Для

Каждое станочное оборудование позволяет использовать определенное множество методов обработки: $eq_i = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$, где k – количество доступных методов для i-го станочного оборудования.

На начальном этапе необходимо воспользоваться функцией F_m , которая определит список методов требуемых для перевода КТЭ³ в КТЭ⁰: $KTЭ^3 \xrightarrow{F_m} KTЭ^0$. Исходными данными для функции F_m служит характеристики КТЭ³ и КТЭ⁰ (точность, качество, геометрия). Работу данной функции можно представить следующим образом:

$$F_m : \{KTЭ^3, KTЭ^0\} \rightarrow (m_1, m_2, \dots, m_q). \quad (6)$$

Обозначим список найденных методов как: $[M] = (m_1, m_2, \dots, m_q)$. Такой список определяет план обработки КТЭ³ с применением конкретных методов обработки, при этом станочное оборудование остается неопределенным.

На следующем этапе с помощью функции $F_{cm.}$ получаем список КТЭ с выявленными характеристиками для каждого элемента, причем входными данными будут: список методов $[M]$, характеристики исходного элемента (КТЭ³) и конечного элемента (КТЭ⁰):

данного примера список промежуточных состояний КТЭ будет следующим: $KTЭ_{cn.} = (KTЭ_0^3, KTЭ_1^3, KTЭ_2^3, KTЭ_3^3)$, где КТЭ₀³ – исходное состояние КТЭ; КТЭ₁³ – состояние КТЭ после чернового точения; КТЭ₂³ – состояние КТЭ после чистового точения; КТЭ₃³ – окончательное состояние КТЭ после шлифования.

Таким образом, если текущее состояние элемента – КТЭ₁³, то количество стадий, которое необходимо пройти будет равным: $St_q^{ocm} = 4 - 1 - 1 = 2$.

Используя данный подход для каждого КТЭ, подсчитывается значение эвристической компоненты $h(x)$ по зависимости (4).

На рис. 3 представлена разработанная функциональная схема проектирования ТП с использованием дерева возможных вариантов обработки заготовки.

Предложенная методика проектирования ТП обработки заготовки позволила:

- формализовать процесс автоматизированного проектирования ТП для любых видов деталей;
- за счет представления задачи проектирования ТП в виде пространства состояний удалось учесть всевозможные варианты обработки заготовки;
- провести структурную оптимизацию ТП;

- выбирать рациональные схемы базирования для каждой технологической операции;
- получить маршрутные и операционные ТП обработки заготовки;
- сократить стоимость и время на подготовку технологической документации.

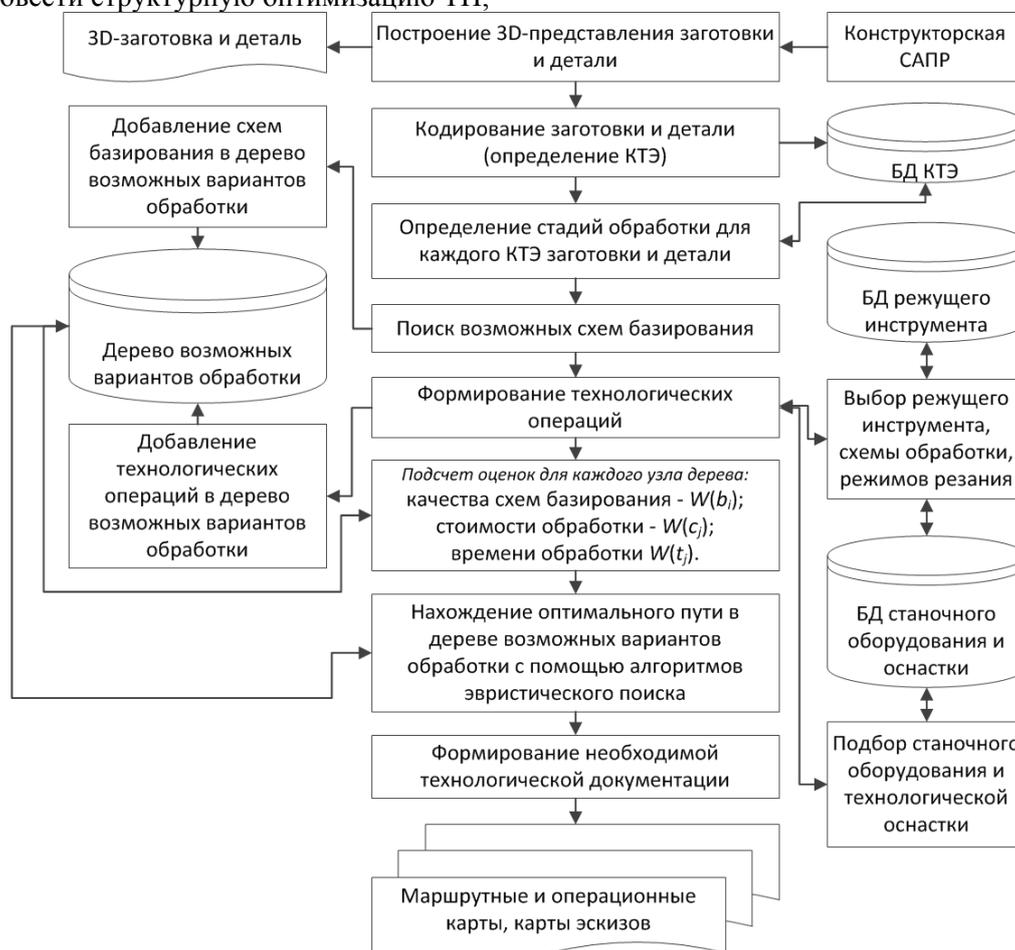


Рис. 3. Функциональная схема проектирования ТП с использованием дерева возможных вариантов обработки заготовки

В результате проведенного исследования была создана автоматизированная система [4] решающая следующие задачи: кодирование заготовки и детали на основе их 3D-представления; поиск возможных схем базирования для текущего состояния заготовки; подсчет оценок качества схем базирования для выбранной операции, согласно установленным критериям рациональности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыжов, Э.И. Оптимизация технологических процессов механической обработки / Э.И. Рыжов, В.И. Аверченков – Киев: Наук, думка, 1989. – 192с.
2. Нильсон, Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений / Н. Нильсон; под ред.

С.В. Фомина – М.: «Издательство МИР», 1973. – 273с.

3. Цветков, В.Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов / В.Д. Цветков. – М.: Машиностроение, 1972. – 240с.

4. Аверченков, В.И. Автоматизация поиска и выбора рациональных схем базирования заготовки при решении задачи синтеза единичных технологических процессов / В.И. Аверченков, Ю.А. Леонов // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3. Тула: изд-во ТулГУ, 2011. – 524с.

5. Аверченков, В.И. Использование метода аналитической иерархии для решения задачи автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки / В.И. Аверченков, Ю.А. Леонов // Вестник БГТУ. Брянск: изд-во БГТУ, 2010. – 150 с.