

С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев

**МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕДУР
РАЗРАБОТКИ СТРУКТУР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ,
РЕАЛИЗУЕМЫХ НА ОБОРУДОВАНИИ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ****Аннотация.**

Актуальность и цели. Объектом исследования является проектирование технологических операций механообработки. Предмет исследования – процесс разработки структуры операций, реализуемых на оборудовании токарной группы. Цель – разработка моделей и методик для формализации проектных процедур генерации возможных вариантов, отсева нерациональных и выбора рациональных вариантов структур технологических операций.

Материалы и методы. Для разработки моделей и методик использовался математический аппарат теории сетей Петри и теории графов.

Результаты. Разработаны три математические модели, описывающие процессы разработки структур технологических операций, выполняемых на оборудовании токарной группы, и методики отсева нерациональных и выбора рациональных вариантов структур операции.

Выводы. Разработанные модели и методики дают возможность создания алгоритмов и программ для ЭВМ, полностью автоматизирующих разработку структур технологических операций для оборудования токарной группы, обеспечивая сокращение времени и повышение качества проектирования.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, автоматизация проектирования, разработка структур технологических операций, система автоматизированного проектирования технологических процессов, САПР ТП.

S. G. Mitin, P. Yu. Bochkarev

**MODELS AND METHODS OF AUTOMATION
OF PROCEDURES FOR DEVELOPMENT OF STRUCTURES
OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS IMPLEMENTED
ON THE EQUIPMENT OF THE LARGE GROUP****Abstract.**

Background. The object of research is the design of machining operations. Subject of research is the developing of the operation structure implemented on the turning equipment group. The purpose is to develop the models and methods for the formalization of the design procedures related to the generation of the possible options, the elimination of the non-rational and the choosing of the rational options of the machining operation structures.

Materials and methods. The mathematical formalism of Petri nets and graph theory was used to develop the models and techniques.

Results. Three mathematical models was created that describe the processes of development of the machining operation structures for the turning equipment group.

The techniques was developed for the elimination of the non-rational and the selection of the rational options of the machining operation structures.

Conclusions. The developed models and techniques can be used to create the algorithms and computer programs that fully automate the development of machining operation structures for turning equipment groups. It leads to the reduction in the time and improve the quality of the design.

Key words: technological preparation, design automation, design of machining operation structure, computer-aided process planning system, CAPP.

Введение

В настоящее время существует серьезная научная проблема, заключающаяся в необходимости полной автоматизации проектирования технологий для машиностроительных производств. Это обусловлено тем, что в современном машиностроении наблюдается тенденция к расширению номенклатуры изготавливаемых изделий, для которых постоянно необходима разработка новых или изменение существующих технологий изготовления. Определяющими задачами становятся сокращение длительности производственного цикла и снижение себестоимости продукции.

Наиболее трудоемкими и затратными являются мероприятия технологической подготовки производства, которые занимают до 70 % производственного цикла. Как показали исследования возможностей существующих программных продуктов, задача полной автоматизации проектирования технологических процессов (ТП) к настоящему времени не решена.

Первая система автоматизированного проектирования ТП (САПР ТП) «САМ-I» была разработана в 1976 г. [1]. С 80-х гг. XX в. благодаря развитию информационных технологий растет интерес к применению ЭВМ для автоматизации проектирования ТП. В работе [2] проведен обзор публикаций по теме САПР ТП, выделены два основных подхода к разработке САПР ТП: вариативный и генеративный, и описаны математические методы, используемые при создании САПР ТП.

При вариативном подходе используются типовые, групповые ТП или ТП-аналоги, которые служат основой для разработки единичного ТП для каждой обрабатываемой детали. В этом случае САПР ТП предоставляет удобный интерфейс и является автоматизированным справочником для редактирования базового ТП, поиска оборудования, обрабатывающего инструмента и другой технологической оснастки. Ключевые решения по разработке маршрута механообработки, структур технологических операций, выбору оборудования и оснастки принимаются технологом, что в условиях недостатка времени приводит к снижению качества проектирования и не позволяет существенно снизить затраты времени на проектирование.

При генеративном подходе ТП для обработки каждой детали создается «с нуля» без участия человека. Подобные САПР ТП разработаны таким образом, чтобы синтезировать ТП автоматически на основе заложенных логических правил и использования технологических баз данных. Генеративный подход позволяет избежать недостатков, присущих вариативному подходу, но его «узким местом» остается сложность в представлении, обработке и использовании человеческих знаний и опыта в виде, пригодном для ЭВМ.

Согласно [2] устоявшимися подходами и методами для описания проектных процедур в САПР ТП являются: технологии на основе конструктив-

ных элементов, системы на основе баз знаний, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, теория нечетких множеств и нечеткой логики, сети Петри, агентные технологии, Интернет-технологии, метод на основе стандарта по обмену производственными данными (STEP) и формирование функциональных блоков для решения отдельных задач по выбору технологических операций, их структур, обрабатывающего инструмента, планирования наладок, траекторий движения инструмента и др.

Вопросами автоматизации проектирования технологических операций для одношпиндельных токарных автоматов занимались авторы работы [3], в которой представлена интеллектуальная САПР ТП, содержащая подсистему логического вывода, которая используется при синтезе структуры ТП. Недостатком этой системы является ее узкая направленность на определенную подгруппу оборудования и класс обрабатываемых деталей, которые ограничены телами вращения.

Таким образом, наиболее перспективным направлением разработки современных САПР ТП видится использование генеративного подхода, которому присущи более строгие научные положения, систематизированность и возможность автоматизации на более высоком уровне по сравнению с вариативным подходом. Только создание научных принципов, новых методик, моделей и алгоритмов для автоматизации всех проектных процедур позволит существенно сократить сроки и повысить качество технологической подготовки машиностроительных производств. Такой подход взят за основу создания системы автоматизированного планирования многономенклатурных технологических процессов (САПМ ТП) [4, 5].

Моделирование проектных процедур разработки структур технологических операций в рамках САПМ ТП имеет существенные отличия для различных групп технологического оборудования, для которого проектируется технологическая операция. В работах [6–8] показаны подходы к формализации проектных процедур по формированию структур технологических операций для оборудования сверлильной и фрезерной групп, для которых характерна простая последовательность реализации технологических переходов.

В работе [9] описана модель процедуры разработки структуры технологических операций, выполняемых на токарно-фрезерных автоматах продольного точения с учетом возможности параллельной реализации технологических переходов, но не показано, возможно ли ее применение для всей токарной группы оборудования и каким образом производится выбор окончательного варианта структуры из сгенерированного множества.

Настоящая работа посвящена разработке моделей и методик, формализующих проектные процедуры, связанные с формированием рациональных структур технологических операций для оборудования токарной группы. Структура работы обусловлена методологией синтеза, согласно которой проектное решение формируется в три этапа. На первом этапе производится генерация всех возможных вариантов решений. На втором этапе с целью сокращения размерности решаемой оптимизационной задачи определяется критерий отсева, по которому из сгенерированного множества вариантов отсеиваются нерациональные. На третьем этапе из оставшегося множества вариантов выбирается рациональный для складывающихся производственных условий.

1. Разработка модели процедуры генерации вариантов структур технологических операций для оборудования токарной группы

Оборудование токарной группы обладает широкими технологическими возможностями благодаря наличию у различных представителей как одного так и нескольких инструментальных суппортов, каждый из которых может иметь несколько инструментальных позиций, или сверлильно-резьбонарезного устройства, в котором возможно размещение одного или нескольких режущих инструментов (РИ), а также возможно наличие дополнительного независимого шпинделя, обеспечивающего обработку с помощью осевых РИ. Для согласованной и эффективной работы этих устройств необходима разработка рациональной структуры технологической операции. Наибольшая эффективность достигается за счет максимального использования параллельной обработки различных поверхностей детали.

Формализовать процесс принятия такого рода решений – достаточно сложная научная задача, которая требует использования соответствующего математического аппарата. Технологическая операция является дискретной системой, поскольку состоит из взаимосвязанных компонент – технологических переходов, поэтому, проанализировав современные методы описания такого рода систем с учетом необходимости обеспечения совместной и параллельной реализации компонент, мы пришли к выводу, что наиболее подходящим видится математический аппарат сетей Петри, позволяющий моделировать параллельные и асинхронно взаимодействующие процессы, а также удобный для последующей алгоритмизации и программирования. Кроме того, сети Петри успешно применялись для моделирования процедур формирования маршрутов обработки [4], оперативного планирования [10] и других задач, связанных с описанием динамических дискретных систем [11, 12].

Ввиду того что процедура генерации возможных вариантов структур технологических операций для оборудования токарной группы является комплексной задачей, целесообразно дифференцировать ее на две подзадачи: формирование рациональных вариантов размещения РИ в инструментальных суппортах и отдельных позициях для инструмента; поиск рациональных последовательностей по реализации технологических переходов.

Исходное описание отдельной компоненты системы представляется в виде элемента множества кортежей технологических переходов $C = \{C_i\}$, где $i = 1 \dots n$, n – количество кортежей. В САПМ ТП под кортежем понимается группа взаимосвязанных элементов данных, относящихся к отдельному технологическому переходу (тип обрабатываемой поверхности, ее размеры, требуемая точность, материал и т.д.), поступивших с предыдущих этапов проектирования ТП [4]. При этом для каждого кортежа C_i уже сформированы возможные варианты РИ. В качестве описания компонентов системы введено обозначение $C_i(R_j)$, смысл которого состоит в том, что R_j – вариант РИ (где $j = 1 \dots m$, m – количество РИ, сгенерированных на предыдущих этапах проектирования) используется на технологическом переходе C_i .

На рис. 1 представлена разработанная математическая модель для описания проектной процедуры, направленной на поиск рациональных вариантов размещения РИ в инструментальных суппортах и отдельных позициях для инструмента. Данная модель отличается от классических сетей Петри, поскольку маркировка узлов отражает текущее состояние отдельных компо-

нентов системы, а для сетевых переходов на отдельных уровнях разработаны различные логические правила открытия/закрытия.

Первый уровень сети направлен на решение задачи поиска возможных вариантов размещения РИ в инструментальных суппортах. На данном уровне маркировка узлов из множества $P_1 = \{P_1^1, P_1^2, \dots\}$ соответствует описанию одной из компонент системы (здесь и далее с помощью нижнего индекса обозначаем шаг решения задачи, с помощью верхнего индекса – элемент множества на данном шаге). Множество сетевых переходов обозначим как $T_1 = \{T_1^1, T_1^2, \dots\}$. Множество мест P'_1 имеет маркировку в соответствии с имеющимся множеством суппортов $A = \{A_1, A_2, \dots, A_u\}$, где u – количество суппортов. Состояние сетевого перехода из T_1 обусловлено наличием или отсутствием возможности установки РИ в одном из суппортов и вызывает изменение маркировки в множестве мест $P_2 = \{P_2^1, P_2^2, \dots\}$. Здесь и далее поскольку для различных вариантов сочетаний может существовать множество подходящих вариантов, будем использовать термин «комплекты» для обозначения множества выходных позиций сетевых переходов (на рисунках обозначены несколькими стрелками от каждого сетевого перехода).

На втором уровне сети процедура открытия сетевых переходов из множества $T_2 = \{T_2^1, T_2^2, T_2^3, \dots\}$ обусловлена возможностью установки варианта РИ из множества P_2 в соответствующих инструментальных позициях, заданных множеством $S = \{S_1, S_2, \dots, S_v\}$, где v – количество инструментальных позиций в суппорте.

По результатам моделирования на первых двух шагах формируется множество решений по распределению и привязке РИ к конкретным инструментальным позициям, доступным на соответствующем оборудовании.

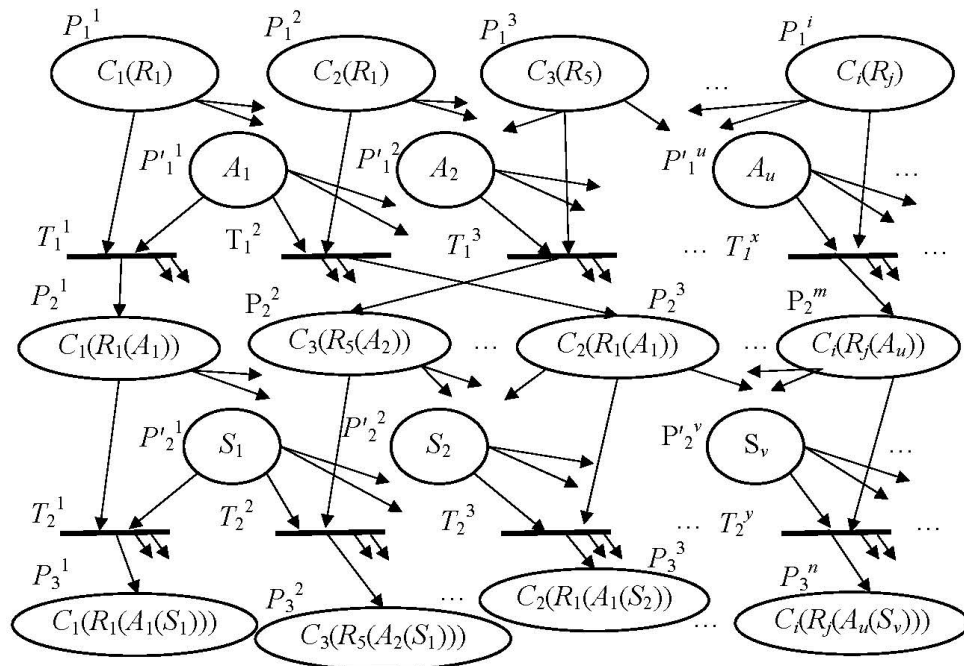


Рис. 1. Модель процедуры рационального размещения РИ по позициям оборудования

Следующий уровень сети Петри отражает процедуру объединения элементов из различных комплектов выходных мест, полученных на предыдущих уровнях, в множества возможных последовательностей, образующих варианты структур технологических операций. С этой целью на основе множества мест P_3 , разработанной структуры сети (рис. 2) и сформированной логики открытия сетевых переходов T_3, \dots, T_{n+2} генерируются варианты инструментальных наладок, в которых не используются одинаковые инструментальные позиции.

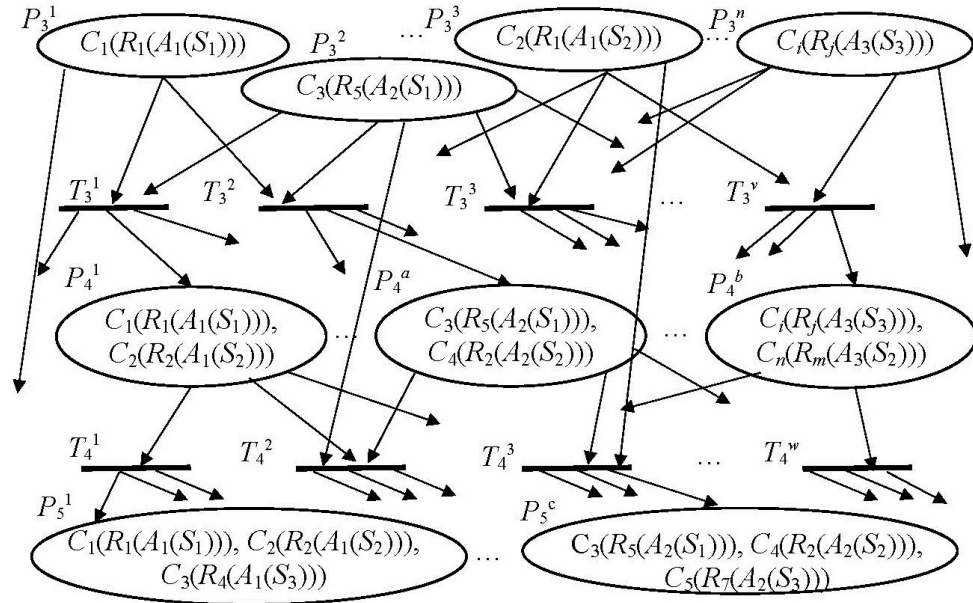


Рис. 2. Модель объединения комплектов сети Петри в варианты операции

Количество шагов зависит от исходной маркировки, т.е. от количества технологических переходов в операции. На каждом следующем шаге происходит последовательное добавление технологического перехода в проектируемую операцию. На шаге T_3 происходит объединение возможных пар технологических переходов, на шаге T_4 – троек технологических переходов и т.д. Таким образом, после завершающего шага формируются возможные варианты, которые содержат маркировку, включающую в себя все компоненты системы «технологический переход – РИ – инструментальный суппорт – инструментальная позиция».

Следующий этап направлен на решение задачи определения последовательности реализации технологических переходов. Многовариантность данной задачи обусловлена наличием различных способов реализации последовательностей технологических переходов для каждой инструментальной наладки в пространственном и временном аспектах. В первую очередь необходимо сформировать последовательности реализации технологических переходов на основе следующих положений:

– комплекты РИ, полученные в результате объединения технологических переходов на шагах T_3, \dots, T_{n+2} , направленные на обработку одной и той

же элементарной поверхности, должны соответствовать порядку выполнения технологических переходов;

– необходимость учета пространственных ограничений, заданных при конструировании детали (например, «внутренняя цилиндрическая поверхность – внутренняя резьба», «наружная цилиндрическая поверхность – шпоночный паз» и др.);

– анализ специфических технологических переходов, например центровка, отрезка, которые располагаются в начале или в конце обработки;

– исследование технологических возможностей оборудования на предмет параллельной реализации обработки различных поверхностей.

Для описания процесса поиска вариантов, удовлетворяющих указанным положениям, разработана модель на основе сетей Петри (рис. 3). Результаты работы сетевой модели из рис. 2 являются исходными данными для формирования моделей на рис. 3. Каждая полученная последовательность термов формирует соответствующую сеть, в которой определяется возможность или отсутствие возможности параллельной реализации технологических переходов.

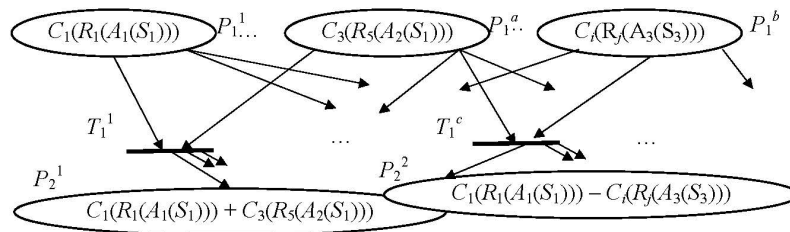


Рис. 3. Модель установления порядка выполнения технологических переходов

Исследование сети Петри позволяет сформировать все возможные последовательности технологических переходов с учетом указанных выше ограничений как для пар комплектов РИ, так и для ранее сформированных групп РИ путем рассмотрения каждого сочетания комплектов РИ из двух групп. Указанная логика заложена в процедурах открытия сетевых переходов, а полученные решения отражаются в изменении маркировки сети.

Итогом проектирования структуры технологической операции является конечное множество мест сети Петри, которые получают маркировку, отражающую возможные варианты последовательностей выполнения технологических переходов в операции (условное обозначение « \rightarrow » указывает на необходимость последовательной реализации технологических переходов, « $+$ » – необходимость параллельной реализации технологических переходов).

Для поиска возможности параллельной реализации технологических переходов в множестве T_1 сформулированы следующие условия:

– возможность параллельной обработки имеется только для смежных по последовательности технологических переходов;

– необходимость размещения задействованных РИ в различных суппортах;

– комплекты, имеющие отношение к обработке одной и той же поверхности, недопустимы;

– необходимость учета пространственных ограничений обрабатываемых поверхностей;

– близость и непротиворечивость перемещений рабочих органов оборудования при осуществлении механообработки на соответствующих технологических переходах.

Обозначим множество допустимых вариантов порядков обработки на i -м технологическом переходе как $O_i = \{O_{i,1}, O_{i,2}, \dots, O_{i,n}\}$, множество допустимых вариантов порядков обработки на j -м технологическом переходе как $O_j = \{O_{j,1}, O_{j,2}, \dots, O_{j,m}\}$. Тогда возможность параллельной обработки возникает при выполнении условия $O(i, j) = O_i \cap O_j \neq \emptyset$, это означает, что для разных обрабатываемых поверхностей, заданных в рамках реализации i -го и j -го технологических переходов, существуют одинаковые варианты порядков обработки, что дает возможность при неизменных режимах резания вести параллельную обработку данных поверхностей.

Вместе с тем проводится дополнительная проверка вариантов последовательностей обработки из множества $O(i, j)$ на предмет удовлетворения ограничений по суммарному усилию резания и суммарной мощности, которые не могут превышать технологические возможности оборудования.

В результате выполненных проверок на выходе процедуры генерируется множество вариантов структур технологических операций, учитывающих возможность параллельной реализации технологических переходов. Последующие этапы проектирования структур операций направлены на выбор вариантов по критериям экономической эффективности. На данном этапе планирования ТП предложено использовать показатели, отражающие затраты времени на обработку по тому или иному варианту технологической операции.

2. Разработка методики отсева нерациональных вариантов структур технологических операций

Наибольшая эффективность технологической операции на оборудовании токарной группы достигается за счет параллельной обработки, поэтому для отсева нерациональных вариантов структур технологических операций целесообразно применить показатель параллельности реализации технологических переходов в операции K_s , расчет которого для каждого варианта последовательности технологических переходов в кортеже осуществляется следующим образом:

$$K_{s(i,j)} = b_{s(j)} / b_i,$$

где i – идентификатор кортежа технологических переходов; j – идентификатор варианта последовательности технологических переходов в кортеже; b_s – количество связей между технологическими переходами, допускающими параллельную обработку; b_i – суммарное количество связей между технологическими переходами в i -м кортеже. В данном контексте связи между технологическими переходами – это условные обозначения «+» или «-» в сформированных ранее последовательностях технологических переходов.

Чтобы представить взаимодействия между элементами сложных динамических систем, возникающие при решении данной задачи, разумно использовать теорию графов для построения графической модели. Для этого сфор-

мируем из сгенерированных ранее вариантов последовательностей технологических переходов ориентированный граф (рис. 4).

Граф возможных последовательностей обработки $G = (C, B, S, F)$, где C – множество вершин, представляющих технологические переходы в кортеже; B – множество дуг, определяющих последовательность выполнения связанных технологических переходов (например дуга (C_1, C_3) обозначает, что технологический переход C_1 должен быть выполнен перед технологическим переходом C_3); S – множество, определяющее «раскраску» соответствующих дуг, формируется на основе сгенерированных вариантов последовательностей технологических переходов (условное обозначение пунктирной линией указывает на возможность параллельного выполнения, а сплошной линией – необходимость последовательного выполнения технологических переходов); F – функция, задающая раскраску графа на основе логических правил, заложенных в базе технологических знаний САПМ ТП. По выполнению для каждого i -го кортежа процедуры генерации возможных вариантов структур технологических операций имеется множество $P_i = \{P_{i,1}, P_{i,2}, \dots, P_{i,j}, \dots\}$ вариантов порядка выполнения технологических переходов. Каждый вариант записывается в виде $P_{ij} = (C_x - C_y + C_z \dots)$, где $x = 1 \dots n$, $y = 1 \dots n$, $z = 1 \dots n$, «+» означает возможность параллельной реализации технологических переходов C_y и C_z , а «-» показывает необходимость последовательного выполнения сначала технологического перехода C_x , а затем группы технологических переходов $C_y + C_z$.

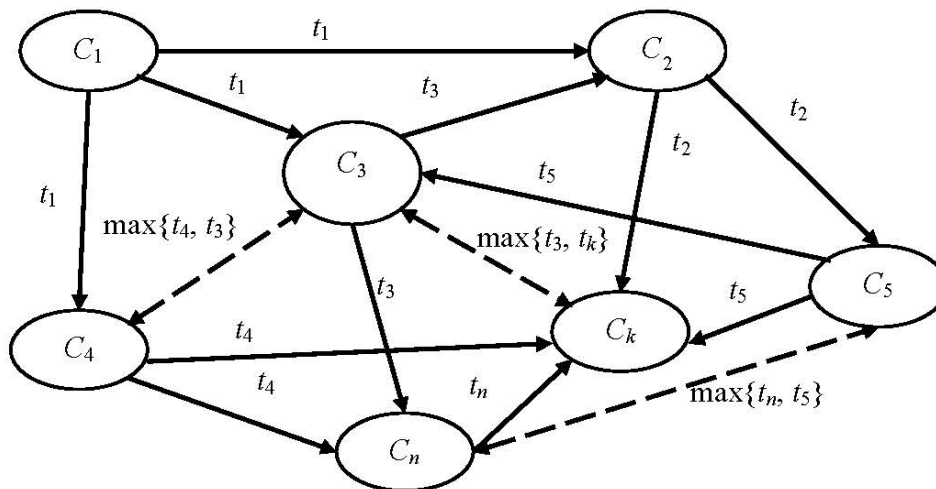


Рис. 4. Пример формирования графа для моделирования процедур отсева нерациональных вариантов и выбора рациональных вариантов структур технологических операций

Таким образом, задача отсева нерациональных вариантов структур технологических операций решается путем нахождения маршрутов в графе, в состав которых входят ребра, отражающие возможность параллельной обработки. Для таких маршрутов значение показателя параллельности реализации технологических переходов будет больше нуля. Однако в случае формирования по результатам отсева пустого множества на последующие этапы передается множество полученных в процедуре генерации возможных вариантов структур технологических операций.

3. Методика выбора рациональных вариантов структур технологических операций

По итогам процедуры отсева формируется множество предпочтительных вариантов последовательностей технологических переходов в операции. Однако для выбора окончательных вариантов для каждого кортежа технологических переходов необходимо учитывать требования технико-экономической эффективности. С этой целью предложено использовать основное время технологической операции в качестве критерия оценки эффективности механообработки.

Для моделирования процедуры выбора рациональных вариантов структур технологических операций воспользуемся сформированным ранее графом G (рис. 4), внося в него количественное выражение взаимосвязей между вершинами, которое и будет отражать основное время обработки на технологическом переходе, обозначенном в вершине с исходящей дугой. В случае, когда вершины соединены дугой, показывающей возможность параллельной реализации технологических переходов, выбирается лимитирующее (максимальное) основное время реализуемых параллельно технологических переходов.

Таким образом, решение задачи выбора рациональных вариантов структур технологических операций сводится к поиску кратчайшего маршрута в графе G , в котором под «расстояниями» между вершинами подразумевается основное время реализации соответствующих технологических переходов.

Заключение

Предложенные модели и методики позволяют формализовать проектные процедуры для формирования рациональных структур технологических операций для оборудования токарной группы и обуславливают необходимость разработки программно-алгоритмического обеспечения для автоматизации данного этапа проектирования, что обеспечит существенное сокращение времени разработки технологических операций, повышение качества проектных решений, снижение себестоимости изготовления деталей.

Библиографический список

1. **Сай, F.** An IT view on perspectives of computer aided process planning research / F. Cay, C. Chassapis // Computers in Industry. – 1997. – № 34 (3). – P. 307–337.
2. **Yusri, Yu.** Survey on computer-aided process planning / Yu. Yusri, L. Kamran // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2014. – № 75. – P. 77–89.
3. **Вашкевич, Н. П.** САПР ТП токарной обработки: структура и функциональные возможности / Н. П. Вашкевич, В. Н. Дубинин, С. Л. Зверев // Вычислительная техника в автоматизированных системах контроля и управления : межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 25. – Пенза : ПГУ, 1998. – С. 60–67.
4. **Бочкарев, П. Ю.** Системное представление планирования технологических процессов механообработки / П. Ю. Бочкарев // Технология машиностроения. – 2002. – № 1. – С. 10–14.
5. **Митин, С. Г.** Принципы создания системы автоматизированного проектирования технологических операций в условиях многономенклатурного производства / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – № 2 (32-2). – С. 117–122.

6. **Митин, С. Г.** Генерация возможных вариантов структур технологических операций с применением аппарата теории графов / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев // *Технология машиностроения*. – 2012. – № 4. – С. 69–73.
7. **Митин, С. Г.** Подсистема проектирования рациональной структуры технологических операций для оборудования фрезерной группы / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. – 2009. – № 3 (41). – С. 141–144.
8. **Разманова, Т. И.** Автоматизация проектирования структуры технологической операции для оборудования сверлильной группы / Т. И. Разманова, С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев // *Известия вузов. Машиностроение*. – 2012. – № 11. – С. 74–78.
9. **Шалунов, В. В.** Автоматизированное проектирование технологических операций, выполняемых на токарно-фрезерных автоматах продольного точения с ЧПУ / В. В. Шалунов, Д. В. Комаревцев, И. М. Семенихин // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. – 2011. – Т. 3, № 2 (58). – С. 146–150.
10. **Wu, R. R.** Optimal operation planning using fuzzy Petri nets with resource constraints / R. R. Wu, L. Ma, L. Mathew, G. H. Duan // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. – 2002. – № 15 (1). – P. 28–36.
11. **Kasirovalad, Z.** An intelligent modular modelling approach for quality control of CNC machines product using adaptive fuzzy Petri nets / Z. Kasirovalad, M. J. Motlagh, M. Shadmani // 8th Control, automation, robotics and vision conference, ICARCV. – IEEE. – 2004. – Vol. 2. – P. 1342–1347.
12. **Canales, J. C.** Fuzzy knowledge learning via adaptive fuzzy petri net with triangular function model / J. C. Canales, X. Li, W. Yu // The sixth world congress on intelligent control and automation, WCICA. – IEEE. – 2006. – Vol. 1. – P. 4249–4253.

References

1. Cay F., Chassapis C. *Computers in Industry*. 1997, no. 34 (3), pp. 307–337.
2. Yusri Yu., Kamran L. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014, no. 75, pp. 77–89.
3. Vashkevich N. P., Dubinin V. N., Zverev S. L. *Vychislitel'naya tekhnika v avtomatizirovannykh sistemakh kontrolya i upravleniya: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Computer engineering in automated control and management systems: proceedings of universities]. Issue 25. Penza: PGU, 1998, pp. 60–67.
4. Bochkaev P. Yu. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Technology of machine building]. 2002, no. 1, pp. 10–14.
5. Mitin S. G., Bochkaev P. Yu. *Vektor nauki Tol'yattinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Togliatti State University]. 2015, no. 2 (32-2), pp. 117–122.
6. Mitin S. G., Bochkaev P. Yu. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Technology of machine building]. 2012, no. 4, pp. 69–73.
7. Mitin S. G., Bochkaev P. Yu. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov State Technical University]. 2009, no. 3 (41), pp. 141–144.
8. Razmanova T. I., Mitin S. G., Bochkaev P. Yu. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie* [Proceedings of universities. Machine building]. 2012, no. 11, pp. 74–78.
9. Shalunov V. V., Komarevtsev D. V., Semenukhin I. M. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov State Technical University]. 2011, vol. 3, no. 2 (58), pp. 146–150.
10. Wu R. R., Ma L., Mathew L., Duan G. H. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2002, no. 15 (1), pp. 28–36.
11. Kasirovalad Z., Motlagh M. J., Shadmani M. *8th Control, automation, robotics and vision conference, ICARCV*. IEEE. 2004, vol. 2, pp. 1342–1347.

12. Canales J. C., Li X., Yu W. *The sixth world congress on intelligent control and automation, WCICA*. IEEE. 2006, vol. 1, pp. 4249–4253.
-

Митин Сергей Геннадьевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра автоматизации, управления,
мехатроники, Саратовский
государственный технический
университет имени Гагарина Ю. А.
(Россия, г. Саратов,
ул. Политехническая, 77)

E-mail: ser_gen@inbox.ru

Mitin Sergey Gennad'evich

Candidate of engineering sciences,
associate professor, sub-department
of automation, management, mechatronics,
Saratov State Technical University
(77 Politekhnicheskaya street,
Saratov, Russia)

Бочкарев Петр Юрьевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра технической механики и деталей
машин, Саратовский государственный
технический университет имени
Гагарина Ю. А. (Россия, г. Саратов,
ул. Политехническая, 77)

E-mail: bpy@mail.ru

Bochkarev Petr Yur'evich

Doctor of engineering sciences, professor,
sub-department of technical mechanics
and machine parts, Saratov State
Technical University
(77 Politekhnicheskaya street,
Saratov, Russia)

УДК 621.7:658.12

Митин, С. Г.

Модели и методики автоматизации процедур разработки структур технологических операций, реализуемых на оборудовании токарной группы / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2018. – № 2 (46). – С. 119–130. – DOI 10.21685/2072-3059-2018-2-11.