



РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДИК АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ ПРОЦЕДУР ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРОЙ

С.Г. Митин, П.Ю. Бочкарев (ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»)

Рассматриваются вопросы разработки формализованных моделей и методик, обеспечивающих автоматизацию проектных процедур для проектирования технологических операций со сложной структурой в многономенклатурных механообрабатывающих системах. Приводятся модели проектных процедур по формированию вариантов технологической оснастки и разработке структур технологических операций. Описывается новый метод формирования рационального состава проектных процедур для проектирования технологических операций со сложной структурой в рамках конкретной производственной системы. В результате появляется возможность создания эффективной системы автоматизированного проектирования, резко сокращающей сроки и повышающей качество технологической подготовки производства.

Ключевые слова: проектные процедуры, автоматизированное проектирование, технологические операции, моделирование, технологическая подготовка производства.

Введение

Проектирование и механообработка являются важнейшими стадиями в жизненном цикле изделий. Связующим звеном между ними служит этап разработки технологических процессов (ТП) механообработки, который связан с решением вопросов по выбору методов обработки, технологического оборудования, оснастки, формированием последовательности операций и их структуры. Каждый из этих вопросов является комплексной задачей, эффективное решение которой в современных условиях возможно только с помощью средств автоматизации проектирования.

В отечественной и зарубежной научной литературе интерес к данной проблематике устойчиво поддерживается. Об этом свидетельствуют регулярные публикации в ведущих научных изданиях. Например, в работе [1] проводится обзор последних разработок и перспектив в области систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) за период 2000–2010 гг., в работе [2] — с 2002 по 2013 гг. Авторы выделяют два сложившихся подхода к созданию САПР ТП: вариативный и генеративный. При вариативном подходе используется принцип схожести технологических процессов для похожих деталей. Человеку необходимо классифицировать деталь, ввести информацию о ней в САПР ТП, получить из базы данных похожий вариант ТП и внести в него необходимые изменения. Главный недостаток вариативного подхода заключается в сохранении субъективизма в принятии решения и большой доли человеческого участия в проектировании ТП. При генеративном подходе ТП генерируются с минимальным участием человека по заранее определенным логическим правилам на основе

базы знаний. Слабым звеном такого подхода является сложность в определении конструктивных элементов детали и в определении соответствующих технологических процедур для их обработки. В ходе дальнейшего исследования авторы [1] выделяют несколько направлений развития методологии САПР ТП: проектирование на основе конструктивных элементов, системы на основе баз знаний, использование для проектирования нейронных сетей, генетических алгоритмов, теории нечетких множеств и нечеткой логики, сетей Петри, технологии на основе агентов, Интернет-технологии, САПР ТП, удовлетворяющие требованиям STEP (стандарту обмена данными о модели продукта, согласно которому САД системы формируют модель детали из стандартных элементов, а САПР ТП оперируют технологическими элементами).

В исследовании [3] проводится обзор методологических основ создания модульных производственных систем, что позволит увеличить гибкость технологических операций за счет возможности их построения из широкого набора модулей, необходимых для обработки различных деталей в различных производственных условиях. Такой подход является достаточно перспективным и может обеспечить сокращение производственного цикла и повышения конкурентоспособности предприятий.

На множестве предприятий продолжают использоваться САПР ТП с вариативным подходом, но среди современных исследований прослеживается увеличивающийся тренд в сторону генеративного подхода. Одной из систем, в которой используется генеративный подход, является система автоматизированного планирования технологических процессов (САПЛТП) [4]. В работах [5, 6] приведены иннова-

ционные аспекты САПЛТП и сформулированы основные принципы создания системы автоматизированного проектирования технологических операций в многономенклатурном производстве.

Для многономенклатурного мелкосерийного и серийного производства характерна высокая концентрация операций, что обуславливает необходимость проектирования технологических операций со сложной структурой, которые предусматривают возможность параллельной обработки нескольких поверхностей детали одним комбинированным или несколькими инструментами, а также одновременной обработки нескольких деталей на одном станке. Такие операции являются высокоэффективными, но требуют высокопроизводительного оборудования с широкими технологическими возможностями. Для подобных операций и оборудования на данный момент не существует эффективных программных средств автоматизации проектирования.

В рамках создания САПЛТП сформированы модели, методики и алгоритмы, формализующие проектные процедуры для операций, выполняемых на оборудовании фрезерной, сверлильной и токарной групп [7, 8, 9, 10 и др.], но для технологических операций со сложной структурой требуется их переработка, поскольку при проектировании одной операции может потребоваться использование проектных процедур для различных групп оборудования, и необходимо обеспечить их согласование. Кроме того, традиционные способы организации проектирования технологических операций для различных групп оборудования порождают неуправляемую избыточность информации, в результате чего появляются дополнительные затраты на хранение, многократные однотипные или дублирующие друг друга проектные процедуры, увеличивается вероятность противоречивой информации.

Настоящая работа состоит из четырех разделов. В первом разделе приводится способ формализации проектных процедур генерации технологической оснастки. Во втором разделе показана возможность моделирования проектных процедур генерации вариантов структур технологических операций с помощью сетей Петри. В третьем разделе описывается метод формирования рациональной структуры САПР технологических операций в соответствии с условиями конкретной производственной системы, обеспечивающей

высокую гибкость САПЛТП. В четвертом разделе приводится информация о практической реализации представленных моделей и методик. В заключение приведены основные выводы и даны рекомендации по использованию полученных результатов.

Моделирование проектных процедур генерации технологической оснастки

Анализируя вопросы разработки ТП, следует отметить, что одним из наиболее сложных этапов проектирования операции является выбор технологической оснастки, так как он предполагает широкую многовариантность решений и во многом определяет структуру операции и эффективность ее реализации.

В первую очередь для решения задачи генерации возможных вариантов технологической оснастки необходимо формализовать структуру данных, которые имеются на начальном этапе проектирования. На предыдущих этапах проектирования формируется взаимосвязь между множеством технологических операций $O = \{O_1, O_2, \dots, O_k, \dots, O_o\}$ и множеством переходов $C = \{(C_{1,1}, C_{1,2}), (C_{2,1}), \dots, (C_{k,1}, C_{k,2}, C_{k,3}), \dots, (C_{o,1}, C_{o,2})\}$, которые необходимо реализовать на каждой операции, выраженная в виде кортежей технологических переходов.

Каждый переход характеризуется множеством параметров:

$$C_{kj} = \langle C_{kj}^a, C_{kj}^b, C_{kj}^c, C_{kj}^d, C_{kj}^e, C_{kj}^m \rangle,$$

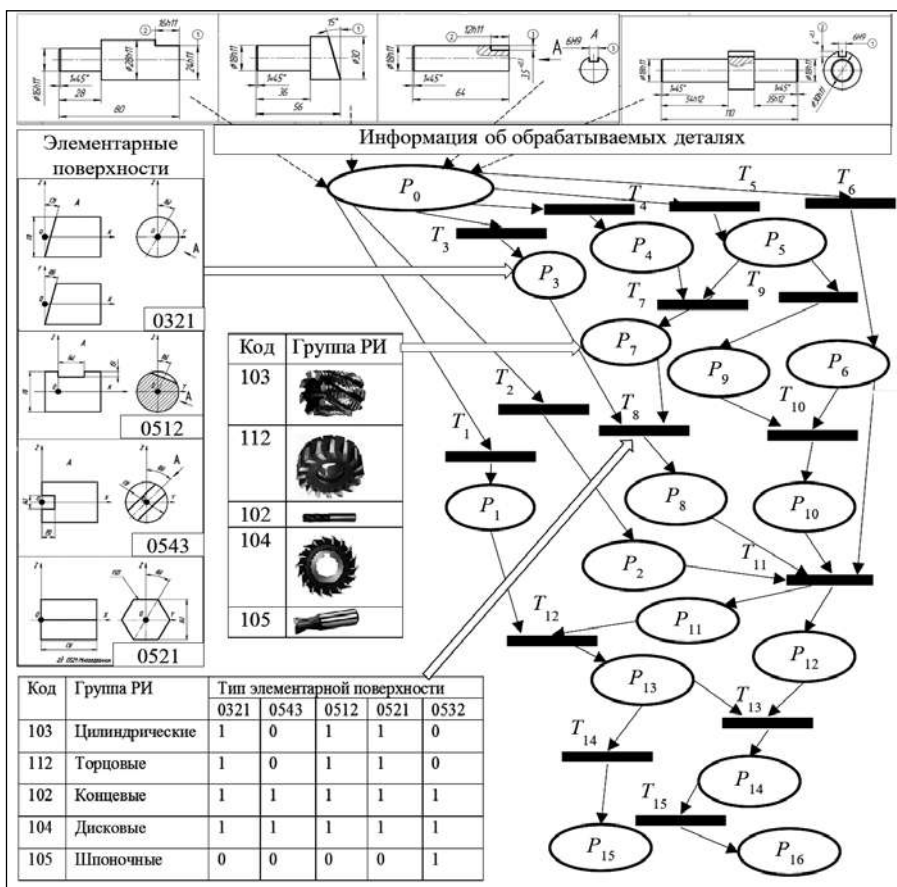


Рис. 1

где j — номер перехода в k -м кортеже; C_{kj}^a — параметры оборудования (группа, модель, присоединительные размеры, размеры рабочей области и др.); C_{kj}^e — параметры установочно-зажимного приспособления; C_{kj}^s — тип обрабатываемой элементарной поверхности (ЭП); C_{kj}^d — размерные характеристики обрабатываемой поверхности; C_{kj}^q — требования к точности и качеству обрабатываемой поверхности; C_{kj}^m — характеристики материала обрабатываемой поверхности.

Генерация возможных вариантов режущего инструмента (РИ) представляет собой перебор множества вариантов РИ и установление возможности применения каждого типоразмера РИ на каждом технологическом переходе. Ввиду большого многообразия типоразмеров РИ, генерация возможных вариантов РИ должна происходить поэтапно. На ранних этапах необходимо установить параметры, которые позволят отсекаать из всего множества РИ как можно большее количество различных типоразмеров РИ, что сократит число вариантов перебора РИ и, следовательно, время генерации возможных вариантов РИ.

С целью сокращения времени проектирования и максимального использования возможностей современной вычислительной техники, связанных с распараллеливанием процессов вычисления, учитывая особенности структуры базы данных по возможностям технологической оснастки, предлагается модель, построенная с помощью теории сетей Петри, в которой предусмотрено параллельное выполнение этапов генерации технологической оснастки на примере оборудования фрезерной группы (рис. 1).

Символьная интерпретация сети имеет вид

$$Sm = \{P, T, F, W, M\},$$

где $P = \{P_0, P_1, \dots, P_{16}\}$ — множество мест, где каждый $P_p = \{P_p^1, P_p^2, \dots\}$, $p=1\dots 16$;

$T = \{T_1, T_2, \dots, T_{15}\}$ — множество сетевых переходов, где каждый $T_t = \{T_t^1, T_t^2, \dots\}$, $t=1\dots 15$;

F — входная функция; W — выходная функция; M — маркировка сети.

Применительно к рассматриваемой задаче множество мест спроектированной сети Петри P определяют параметры соответствия на каждом этапе выполнения процедуры генерации возможных вариантов технологической оснастки. Множество сетевых переходов T отражают процедуры поиска соответствий входных событий и учитывают ограничения, связанные с конструктивными и технологическими особенностями инструментов и обрабатываемых поверхностей. Посредством срабатывания сетевых переходов маркировка сети изменяется в сторону получения вариантов технологической оснастки, удовлетворяющих всем ограничениям.

Входная функция F отображает переход T_j в множество входных комплектов позиций $F(T_j)$. Выходная функция W отображает переход P_i в множество выходных комплектов позиций $W(P_i)$.

Маркировка сети M заключается в том, что каж-

дому событию сети присваивается метка, соответствующая тому или иному параметру обработки или варианту инструмента. Для удобства отображения и восприятия сети множества событий, отражающих один аспект соответствия, объединены в один узел. Множества событий выражают: P_0 — кортежи технологических переходов C , поступивших на вход рассматриваемой процедуры, P_1 — размеры обрабатываемых ЭП, P_2 — требования к точности обрабатываемых ЭП, P_3 — типы обрабатываемых ЭП, P_4 — список обрабатываемых материалов на всех технологических переходах, P_5 — группы оборудования, P_6 — типы присоединений инструмента к станку, P_7 — типы РИ, P_8 — подгруппы РИ, P_9 — группы вспомогательного инструмента (ВИ), P_{10} — типы присоединения ВИ к РИ, P_{11} — подгруппы РИ, P_{12} — подгруппы ВИ, P_{13} — типоразмеры РИ, P_{14} — типоразмеры ВИ, P_{15} — типоразмеры РИ, имеющиеся на складе, P_{16} — типоразмеры ВИ, имеющиеся на складе.

Функция маркировки сети задается в табличном виде, где для каждого места из множества P задаются метки, характеризующие параметры технологических переходов в соответствии с множеством C . Например, узел P_3 отражает множество мест, характеризующих обрабатываемые ЭП, узел P_7 — множество групп РИ, имеющихся в базе данных по возможностям технологической оснастки. В сетевом переходе T_8 производится сравнение пар, полученных в результате декартова произведения множеств P_3 и P_7 , с таблицей соответствия, в которой заранее определены допустимые пары. В множество P_8 таким образом попадают типы РИ, которые соответствуют обрабатываемым ЭП.

В результате по мере продвижения по сети из исходного множества вариантов P_0 выделяются подмножества P_{15} и P_{16} , в которых содержатся варианты РИ и ВИ, соответствующие всем условиям обработки.

Анализируя разработанную структуру сети Sm , можно отметить, что процедуры проверки соответствия на многих сетевых переходах могут выполняться параллельно и независимо друг от друга, что обеспечивает значительное сокращение времени проектирования.

Таким образом, разработан универсальный метод описания процедуры генерации возможных вариантов технологической оснастки на основе сетей Петри, который можно применить для различных групп оборудования, учитывая специфику каждой группы путем изменения структуры сети и условий выполнения сетевых переходов.

Моделирование проектных процедур формирования структур технологических операций

Рассмотрим моделирование проектной процедуры формирования структуры технологической операции на примере проектирования операций, реализуемых на оборудовании токарной группы, ввиду высокой сложности задачи формализации, так как конструктив-

ные особенности токарного оборудования предусматривают наличие одного или нескольких инструментальных суппортов, имеющих по одной или несколько позиций для размещения инструментов, и сверлильно-резьбонарезного устройства, в котором возможно размещение также одного или нескольких инструментов, а также возможное наличие дополнительного независимого шпинделя, способного выполнять обработку с применением осевых РИ. Работа всех этих устройств может происходить одновременно, что ставит задачу организации рационального использования параллельной обработки отдельных поверхностей детали при проектировании технологических операций.

Если рассматривать технологическую операцию как систему, состоящую из взаимосвязанных компонент — технологических переходов, каждый из которых содержит информацию об обрабатываемой ЭП, варианте РИ, отобранном на предыдущих этапах проектирования, то при описании системы необходимо учесть не только наличие взаимодействий, но и возможность совместной и параллельной реализации компонент. Наиболее подходящим для такого рода описания видится математический аппарат сетей Петри.

Исходное описание отдельной компоненты системы представлено в виде элемента множества технологических переходов C_i , которое поступает в виде кортежей с предыдущих этапов проектирования ТП. В ходе выполнения проектных процедур выбора вариантов технологической оснастки для каждого технологического перехода сформированы варианты РИ. Таким образом, описание отдельной компоненты системы имеет вид $C_i(R_j)$. Это означает, что на технологическом переходе C_i применяется вариант РИ R_j .

Методику формирования вариантов структур технологических операций, выполняемых на оборудовании токарной группы, целесообразно разделить по шагам, поскольку на данном этапе решаются задачи по рациональному размещению РИ по инструментальным суппортам и позициям и по формирова-

нию рациональной последовательности реализации технологических переходов.

Рассмотрим разработанную сеть Петри (рис. 2), которая образует математическую модель проектной процедуры по рациональному размещению РИ по инструментальным суппортам и позициям.

Символьная интерпретация сети Петри для моделирования процедуры генерации возможных вариантов структур технологических операций, выполняемых на оборудовании токарной группы, выражается следующим образом:

$$Sp = \{P, T, F, W, M\},$$

$$\begin{aligned} F(P_1^1) &= \{\}, F(P_1^2) = \{\}, \dots \\ W(P_1^1) &= \{T_1^1, T_1^2, \dots, T_1^x\}, W(P_1^2) = \{T_1^1, T_1^2, \dots, T_1^x\}, \dots \\ M(P_1^1) &= C_1(R_1), M(P_1^2) = C_2(R_1), \dots, M(P_1^i) = C_i(R_j), \dots \\ F(P_2^1) &= \{T_1^1\}, F(P_2^2) = \{T_1^3\}, \dots \\ W(P_2^1) &= \{T_2^1, T_2^2, \dots, T_2^y\}, W(P_2^2) = \{T_2^1, T_2^2, \dots, T_2^y\}, \dots \\ M(P_2^1) &= C_1(R_1(A_1)), M(P_2^2) = C_3(R_5(A_2)), \dots, M(P_2^m) = \\ &= C_i(R_j(A_u)), \dots \\ &\dots, \dots, \dots, \dots \\ \#(T_1, W(P_1)) &= u, \#(T_2, W(P_2)) = v, \\ \#(T_1^1, F(P_2^1)) &= 1, \#(T_1^2, F(P_2^3)) = 1, \dots \end{aligned}$$

где $P = \{P_1, P_1^1, P_2, P_2^1, P_3\}$ — множество мест, отражающих состояние системы на соответствующем этапе генерации структуры технологической операции; $T = \{T_1, T_2\}$ — множество сетевых переходов; F — входная функция; W — выходная функция; M — маркировка сети.

Каждому месту из множества $P_1 = \{P_1^1, P_1^2, \dots\}$ присваивается метка, соответствующая описанию одной из компонент системы (здесь и далее нижний индекс означает номер шага решения задачи, верхний индекс — номер элемента множества на данном шаге). Срабатывание множества сетевых переходов $T_1 = \{T_1^1, T_1^2, \dots\}$ зависит от возможности установки РИ в одном из суппортов, заданных множеством мест P_1^i , маркировка которых определяется в соответствии с имеющимся множеством суппортов $A = \{A_1, A_2, \dots, A_u\}$, где u — количество суппортов, и вызывает изменение маркировки в множестве мест $P_2 = \{P_2^1, P_2^2, \dots\}$. Поскольку

для различных вариантов сочетаний может существовать множество подходящих вариантов, будем использовать термин «комплекты» для обозначения множества выходных позиций сетевых переходов (на рис. 2 обозначены несколькими стрелками от каждого сетевого перехода).

Срабатывание множества сетевых переходов $T_2 = \{T_2^1, T_2^2, T_2^3, \dots\}$ зависит от возможности установки инструмента, обозначенного в элементах множества P_2 , в конкретной позиции, что определяется условиями множества $S = \{S_1, S_2, \dots, S_v\}$, где v — количество позиций для инструментов в суппорте.

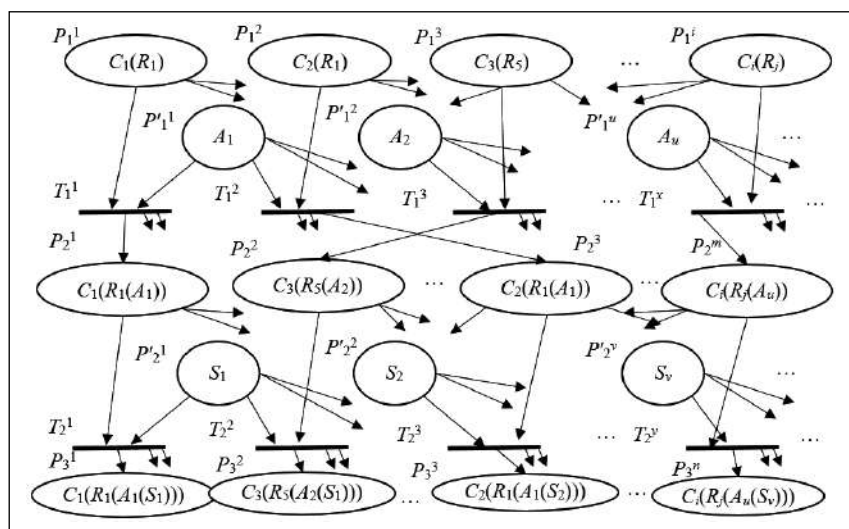


Рис. 2

В результате моделирования на первом шаге процедуры генерации структуры технологической операции определяются все допустимые решения по размещению инструментов и, как следствие, варианты привязки каждой компоненты системы к инструментальным позициям оборудования. Маркировка мест в множестве P_3 принимает вид:

$$M(P_3^1) = C_1(R_1(A_1(S_1))), M(P_3^2) = C_3(R_5(A_2(S_1))), \\ M(P_3^3) = C_2(R_1(A_1(S_2))), \dots, M(P_3^n) = C_i(R_j(A_3(S_3))), \dots$$

На следующем шаге производится последовательное объединение комплектов сети Петри в варианты структуры технологической операции. Для этого определяются потенциальные возможности создания инструментальных наладок на основе информации, имеющейся в множестве P_3 . С помощью спроектированной структуры сети и правил открытия сетевых переходов T_3, T_4 формируются варианты объединения комплектов, не использующих одинаковые позиции для РИ.

Мощности множеств T_3, T_4 зависят от исходной маркировки сети, которая определяет число комплектов сети, и соответствуют числу технологических переходов в рассматриваемой технологической операции. Движение по сети сверху вниз позволяет дополнить множества вариантов размещения РИ по позициям оборудования новыми комплектами.

На следующем этапе разработки структуры технологической операции необходимо определить последовательности выполнения технологических переходов. Решение этой задачи носит многовариантный характер, поскольку даже для одной инструментальной наладки последовательность реализации и временные интервалы реализации между технологическими переходами могут отличаться. В первую очередь необходимо получить варианты реализации технологических

переходов с точки зрения последовательности их выполнения на основе следующих положений:

- комплекты, которые описывают обработку одной и той же ЭП, должны быть расположены по порядку реализации технологических переходов;
- необходимо учитывать пространственные ограничения, которые обусловлены типами обрабатываемых ЭП (например, «отверстие — внутренняя резьба», «наружная цилиндрическая поверхность — шпоночный паз»), заданные при конструировании детали;
- анализ характерных особенностей по расположению отдельных технологических переходов в структуре технологической операции (например, отрезка, центровка);
- анализ возможности параллельной обработки различных ЭП.

Процесс осуществления указанных проверок моделируется с помощью сети Петри. При исследовании сети можно рассмотреть все возможные сочетания, учитывая ограничения не только между двумя комплектами, но и между группами уже сформированных последовательностей комплектов на основе индивидуального исследования взаимодействия каждого сочетания комплектов из двух групп. Результатом таких процедур является реакция сетевых переходов и изменения в маркировке множества мест.

Итогом проектирования является конечное множество мест сети. При этом комплекты получают условные обозначения, определяющие вариант реализации технологической операции с точки зрения порядка выполнения технологических переходов:

«—» — с последовательным выполнением технологических переходов: $C_1(R_1(A_1(S_1))) - C_i(R_j(A_3(S_3)))$;

«+» — с параллельным выполнением технологических переходов: $C_1(R_1(A_1(S_1))) + C_3(R_5(A_2(S_1)))$.

Проверка возможности использования параллельной обработки проводится по следующим условиям:

- параллельная обработка может быть применена только для соседних по последовательности комплектов системы;
- РИ должны быть расположены на различных суппортах;
- не могут быть выбраны комплексы, относящиеся к одной и той же обрабатываемой ЭП;
- необходимо учитывать ограничения по пространственному расположению обрабатываемых ЭП;
- перемещения рабочих органов станка при реализации технологических переходов, анализируемых для объединения в параллельную обработку, должны быть близки и не противоречащими друг другу.

Дополнительно проводится анализ вариантов режимов обработки по удовлетворению ограничениям, отражающим одновременную реализацию технологических переходов. Среди них:

Таблица. Время разработки технологических операций с применением системы проектирования технологических операций со сложной структурой

№	Наименование детали	Число технологических операций	Среднее время разработки технологической операции, ч		Экономия времени, ч
			базовое	с применением разработанной автоматизированной системы	
1	Кулачок	2	7,7	3,8	3,9
2	Кулачок	1	3,85	2,2	1,65
3	Шток	2	7,7	3,8	3,9
4	Втулка	2	7,7	3,8	3,9
5	Крышка	1	3,85	2,2	1,65
6	Крышка	1	3,85	2,2	1,65
7	Крышка	2	7,7	3,8	3,9
8	Прижим	2	7,7	3,8	3,9
9	Штырь	2	14,28	2,5	11,78
10	Гайка	1	7,14	1,5	5,64
11	Вал	1	7,14	2,1	5,04
12	Ползун	1	7,14	1,6	5,54
13	Вал	2	14,28	3,8	10,48
14	Заглушка	1	7,14	1,5	5,64
15	Ось	1	7,14	1,5	5,64
16	Ось	1	3,85	2,2	1,65

способности системы проектирования технологических операций со сложной структурой.

В рамках действующей производственной системы АО «Саратовский агрегатный завод» было проведено информационное наполнение базы данных по технологическим возможностям оборудования (рис. 3). Для сформированного набора деталей, обрабатываемых в производственной системе, была занесена необходимая информация в базу данных системы проектирования. После запуска проектных процедур были сформированы варианты технологических операций, по которым проведена механическая обработка опытных образцов.

Оценка качества полученных деталей позволила сделать вывод об адекватности разработанных моделей и работоспособности системы проектирования технологических операций со сложной структурой, а также показала, что ее использование позволило снизить процент брака в среднем на 5–6% за счет исключения субъективных составляющих при проектировании технологических операций, сократить время механообработки на 7–8% за счет выбора рациональных вариантов проектных решений.

Для оценки экономии времени на проектирование в таблице представлено поддетальное сравнение времени разработки технологических операций, рассчитанного по нормам проектирования и зафиксированного в результате использования разработанной автоматизированной системы проектирования технологических операций.

Общая экономия времени на разработку технологических операций составляет 75,86 ч. Относительная экономия времени — 2,8 раза.

Заключение

В статье представлены способы моделирования проектных процедур, связанных с решением творческих задач по выбору вариантов технологической оснастки и формированию структур технологических операций. Впервые удалось формализовать наиболее трудоемкие и существенные процедуры проектирования технологических операций.

Разработан метод классификации проектных процедур проектирования технологических операций на основе аппарата кластерного анализа, позволяющий определять состав и последовательность проектных процедур проектирования операций со сложной структурой с целью рационального построения системы проектирования технологических операций для конкретной производственной системы.

Полученные результаты могут быть использованы для создания автоматизированной системы, обеспечивающей сокращение сроков и повышение качества

технологической подготовки многономенклатурных производств за счет полной автоматизации проектных процедур разработки технологических операций. Использование разработанных методик в составе САПЛТП позволило повысить качество изготавливаемых изделий и снизить процент брака в среднем на 5–6% за счет исключения субъективных составляющих при проектировании технологических операций. Наряду с этим повысилась производительность самих операций за счет оптимизации режимов обработки в среднем на 7–8% и, следовательно, понизилась себестоимость изготовления единицы продукции. Время проектирования технологических операций сократилось в 2,8 раза.

Список литературы

1. Xu Xun., Lihui Wang, Stephen T. Newman. Computer-aided process planning – A critical review of recent developments and future trends // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2011. Vol. 24. N 1. pp. 1-31.
2. Yusri Yu., Kamran L. Survey on computer-aided process planning // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. N 75. pp. 77-89.
3. Wang L., Adamson G., Holm M., Moore P. A review of function blocks for process planning and control of manufacturing equipment // Journal of Manufacturing Systems. 2012. N 31(3). pp. 269-279.
4. Бочкарёв П.Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки // Технология машиностроения. 2002. №1. С.10-14.
5. Митин С.Г., Бочкарев П.Ю. Инновационные аспекты автоматизации проектирования операций механической обработки в многономенклатурном производстве // Инновационная деятельность. 2013. № 4 (27). С. 36-41.
6. Митин С.Г., Бочкарев П.Ю. Принципы создания системы автоматизированного проектирования технологических операций в условиях многономенклатурного производства // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2015. № 2 (32-2). С. 117-122.
7. Митин С.Г., Бочкарев П.Ю. Формирование рационального комплекта режущего инструмента с применением аппарата динамического программирования // СТИН. 2012. №6. С.20-24.
8. Митин С.Г., Бочкарев П.Ю. Генерация возможных вариантов структур технологических операций с применением аппарата теории графов // Технология машиностроения. 2012. №4. С.69-73.
9. Шалунов В.В., Комаревцев Д.В., Семенухин И.М. Автоматизированное проектирование технологических операций, выполняемых на токарно-фрезерных автоматах продольного точения с ЧПУ // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 3. № 2 (58). С. 146-150.
10. Разманова Т.И., Митин С.Г. Разработка модели и основные этапы создания системы проектирования технологических процессов для оборудования сверлильной группы // Главный механик. 2015. № 4. С. 38-42.

Митин Сергей Геннадьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника»,
Бочкарёв Пётр Юрьевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Техническая механика и детали машин»
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».
Контактный телефон (8452) 99-86-35.
E-mail: bpy@mail.ru ser_gen@inbox.ru