

УДК 621.914.22 - 216:658.531.011.56

DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-26-35

Использование технологических шаблонов для определения прогнозной трудоемкости изготовления деталей на токарных станках с ЧПУ

С. С. Кугаевский, кандидат технических наук, доцент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

А. В. Богоявленский, кандидат технических наук, доцент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Рассмотрено применение технологических шаблонов для расчета прогнозной трудоемкости механической обработки. Рассмотрена обработка деталей типа втулки на токарных станках с ЧПУ. Процесс определения прогнозной трудоемкости конструктивно-технологических элементов детали реализован в виде прикладной САПР. При этом на вход подаются контур токарного сечения детали в виде электронной 2D-модели и таблица параметров обрабатываемых поверхностей. Применение технологических алгоритмов становится возможным благодаря предварительному автоматическому распознаванию конструктивно-технологических элементов, которое реализовано в виде модуля рассматриваемой САПР. На стадии распознавания классифицируются различные типы конструктивно-технологических элементов (торец, открытая зона, полукрытая зона, закрытая зона, резьба). Результатом распознавания является контур конструктивного элемента, состоящий из отдельных отрезков прямых и дуг окружностей и заданный в виде стандартных G-кодов. В статье описан принцип разработки новых математических моделей технологических шаблонов обработки этих конструктивных элементов. Технологические шаблоны включают автоматический подбор режущего инструмента из базы пользователя, выбор стратегии построения траектории и режимов обработки. При этом учитывается расположение контуров относительно оси детали (внутренние и внешние), а для закрытых зон учитывается их геометрический тип (выточка, канавка, канавка для выхода резьбы, торцевая выточка и др.). Такая детализация алгоритмов принятия решения необходима, так как от этого зависит выбор инструмента и траектории обработки. С целью учета свойств детали при расчете режимов обработки вводится коэффициент обрабатываемости материалов. Далее технологические шаблоны включают в себя алгоритмы, использующие описанные в виде G-кодов контуры конструктивных элементов, для формирования управляющей программы для станка с ЧПУ. Для определения трудоемкости используется стандартный модуль симуляции управляющей программы. Получены результаты адаптации моделей для действующего производства.

Ключевые слова: технологические шаблоны обработки, конструктивные элементы, поэлементная технология, прогнозирование трудоемкости.

Введение

Оперативное прогнозирование трудоемкости обработки машиностроительных деталей всегда являлось важной задачей производства, так как позволяет быстро определить себестоимость новой продукции и рассчитать требуемое количество оборудования и кадрового состава для ее изготовления [1, 2].

Традиционно прогнозную трудоемкость механообработки определяют после того, как будет разработан пооперационный технологический процесс изготовления детали. Для разработки техпроцесса требуется достаточно большой промежуток времени, и поэтому такой подход нельзя использовать для предварительной оценки стоимости нового изделия и длительности подготовки производства.

Современные тенденции технологической подготовки производства позволяют существ-

венно повысить оперативность и качество определения прогнозной трудоемкости изготовления деталей за счет цифровых методов разработки конструкции и технологии обработки с применением CAD/CAM-систем. Деталь представляется в виде совокупности конструктивно-технологических элементов (КТЭ), для каждого из которых применяется готовый технологический шаблон его изготовления [3–5].

Последовательность работы программного обеспечения при этом выглядит примерно следующим образом:

- импорт 2D- или 3D-модели детали;
- автоматическое распознавание КТЭ;
- моделирование маршрутного технологического процесса обработки и выбор варианта технологического оборудования;
- моделирование операционной технологии на основе технологических шаблонов;

- расчет режимов резания;
- получение управляющей программы;
- расчет трудоемкости обработки с помощью программы-симулятора.

Отметим, что полученный результат – управляющая программа – рассчитывается на основе типовых шаблонов обработки и может быть использована только для предварительной оценки трудоемкости. Качество и оптимальность этих результатов напрямую зависит от глубины проработки цифровых алгоритмов, использованных для операционной технологии (последовательность обработки поверхностей, выбор инструмента и режимов резания, схемы построения траектории и др.).

Цель исследования – разработка программного обеспечения, позволяющего на основании 2D-модели детали автоматически разработать типовой процесс изготовления этой детали на токарном станке с ЧПУ и рассчитать прогнозную трудоемкость программных операций.

Используемые подходы

В основе примененного подхода лежит автоматизация проектирования технологии изготовления деталей с применением CAD/CAM-систем, обладающих модулем распознавания типовых конструктивно-технологических элементов. В англоязычной технической литературе такой метод проектирования называется

feature based manufacturing (производство на основе функций). При импортировании 2D- или 3D-модели можно автоматически сформировать список КТЭ, подлежащих обработке. Подобный подход используется в программах Feature CAM фирмы Autodesk; NX CAM фирмы Siemens PLM Software; CAM - Expert фирмы ADEM (Россия) и др.

CAM-система на основании параметров КТЭ выбирает требуемый технологический шаблон обработки каждого элемента. При этом есть возможность учитывать имеющийся на данном рабочем месте набор инструментов. Такое проектирование применяется для относительно несложных деталей, но на выходе может выдавать технологический процесс «первого выбора», который можно впоследствии редактировать для получения желаемого результата [6–9].

Разработка технологических шаблонов для модуля САПР определения прогнозной трудоемкости обработки деталей типа тела вращения

Предлагаемый подход к определению прогнозной трудоемкости основан на представлении обрабатываемой детали как совокупности КТЭ. Для деталей типа тела вращения КТЭ могут быть классифицированы так, как это показано на рисунке 1. Двойной прямоугольник означает наличие внутренних и наружных КТЭ.



Рис. 1. Перечень КТЭ для деталей типа тела вращения

Fig. 1. List of CTE for parts of the body of rotation type

В Уральском федеральном университете выполнен проект под названием «Разработка и внедрение инновационной промышленной технологии производства металлорежущих станков с ЧПУ с автоматизированным программно-технологическим комплексом разработки и оптимизации технологических процессов на основе методов искусственного интеллекта и машинного обучения», в результате чего разработана САПР для подготовки производства деталей типа втулки на токарных станках с ЧПУ (Свидетельство о государственной реги-

страции программы для ЭВМ № 2023613929 Российская Федерация).

На первом этапе в указанной САПР работает модуль распознавания КТЭ. Подробное описание работы этого модуля можно найти в работе [10]. В результате работы этого модуля автоматически формируются контуры КТЭ в виде G-кодов. При этом сохраняются технологические параметры (качество точности, шероховатость) от которых зависит выбор последовательности обработки и режимы резания. Для резьбовых поверхностей указы-

ваются тип и шаг резьбы, начало и конец профиля резьбы, так как эти атрибуты обычно отсутствуют в 2D-модели, и берется их чертеж детали.

На втором этапе автоматически выполняется выбор режущего инструмента из базы пользователя. Например, если для обработки КТЭ «торец» уже выбран инструмент, который может быть использован для обработки КТЭ «полуоткрытая зона наружная», а в качестве приоритета установлено использование подходящего инструмента из ранее выбранных, то программа учтет этот приоритет. Режимы резания устанавливаются с учетом коэффициента обрабатываемости материала. Данный коэффициент приводится, например, в справочнике «Токарная обработка» компании SECO (URL:

<https://ipaper.ipapercms.dk/SecoTools/seco-news/20201/turning/ru-turning-sn20201>).

На третьем этапе автоматически разрабатывается траектория обработки, и формируются управляющие программы токарных операций в формате устройства ЧПУ типа Fanuc.

На четвертом этапе полученную управляющую программу нужно загрузить в программу NC Manager для симуляции и расчета машинного времени операции.

Описание модуля выбора режущего инструмента и расчета режимов резания

Одним из основных модулей этой САПР является модуль выбора режущего инструмента и режимов резания. Функциональная блок-схема этого модуля применительно к токарной обработке представлена на рисунке 2.

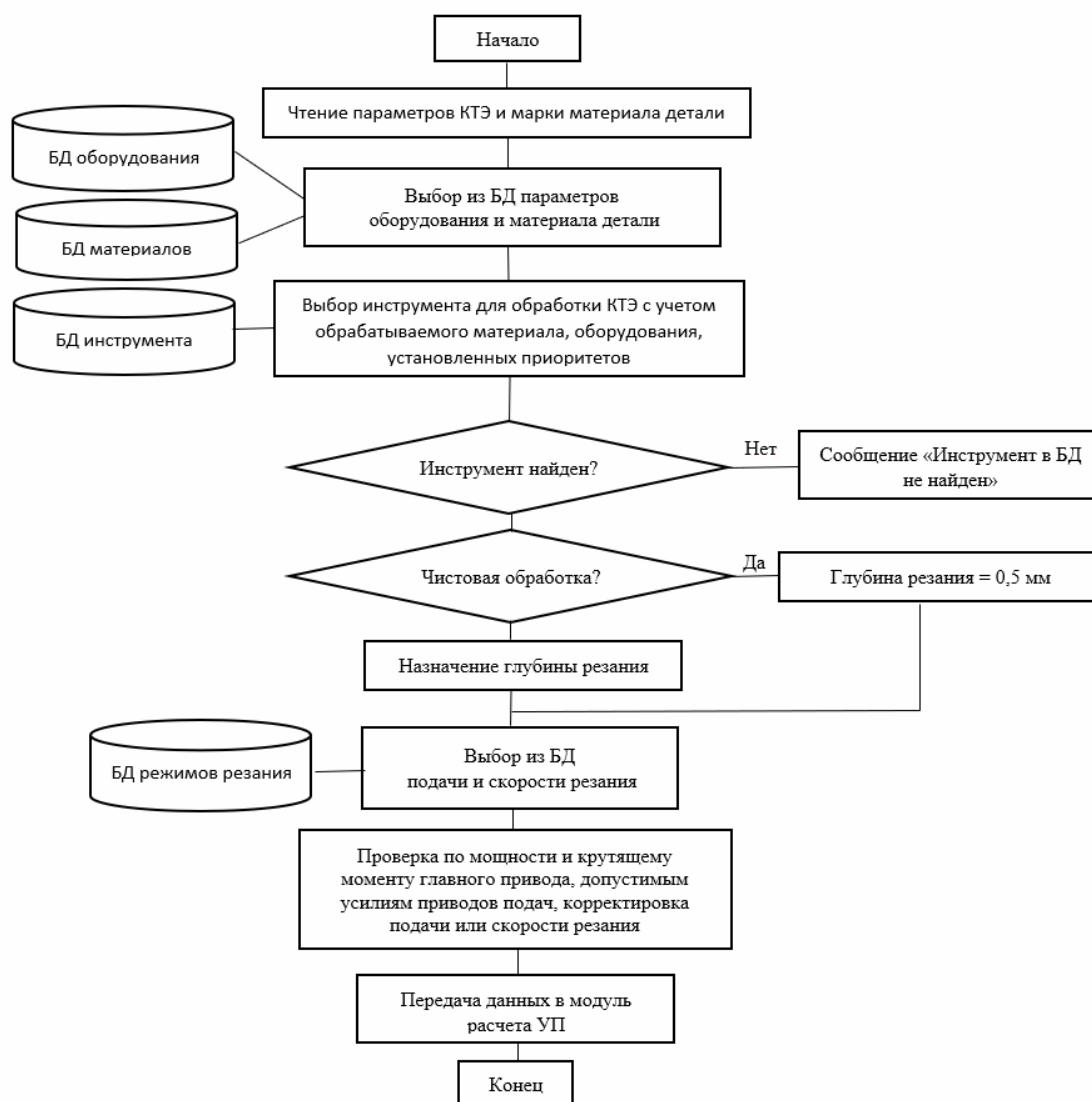


Рис. 2. Блок-схема модуля расчета режимов резания

Fig. 2. Block diagram of the module for calculating cutting modes

База данных (БД) инструментов содержит классы приоритетов режущих инструментов, ориентированных на определенный характер работ. Этот характер работ практически соответствует по названию обрабатываемым КТЭ: инструмент для подрезки КТЭ «торец», обработки КТЭ «открытая зона», обработки КТЭ «полуоткрытая зона наружная» и др. В таблицах задается приоритет выбора инструмента для обработки, например: из всех сверл, подходящих по диаметру и длине, при приоритете жесткости будет выбрано наиболее короткое.

Выбор инструментов производится по приоритету использования. Критериями выбора могут быть геометрия инструмента, марка режущего материала, фирма-изготовитель, наличие аналога инструмента в revolverной головке, жесткость инструмента, радиус режущей кромки (для чистовых операций), заданная по каталогу производительность и др. Приоритеты выбора инструмента для каждого КТЭ назначает пользователь. Программа автоматически в заданной последовательности приоритетов производит выбор в БД подходящего инструмента. Каждый из инструментов БД содержит конструктивные параметры, заполняемые на основании каталогов производителей инструмента или других источников [11].

На втором уровне производится выбор из БД параметров материала детали. Материал деталей может быть принят из широкой номенклатуры классов P , M , N (сталь, нержавеющая сталь, цветные металлы) международного классификатора ISO , а также параметры обрабатываемости [12–16].

Также каждому инструменту установлены базовые режимы резания, согласованные с рекомендациями производителей. Возможно также назначать режимы резания на основе доступных литературных источников [17–20]. При этом стойкость устанавливается $T = 15$ мин. Глубина резания a_p (мм) назначается в зависимости от размеров детали и вида обработки. Далее из таблиц автоматически выбираются соответствующие скорость резания $V_{\text{табл}}$ (м/мин) и подача $f_{\text{табл}}$ (мм/об). Различия в режимах резания для обработки деталей из разных материалов внутри классов учитываются в БД материалов с помощью безразмерного коэффициента обрабатываемости материала. Новые материалы и коэффициенты обрабатываемости материалов составляют встроенную базу данных, которую может редактировать и добавлять пользователь программы.

Чтобы при выборе режимов резания можно было учесть возможности станка, пользователь подключает БД имеющегося оборудования, где указаны мощность станка, крутящий момент на шпинделе и максимальное возможное усилие на приводе подач по осям X , Z . Также учитываются количество позиций в revolverной головке и сечение державки резца. После выбора режимов обработки производится автоматизированный расчет мощности и усилий резания с корректировкой режимов в случае необходимости.

Описание модуля разработки траектории инструмента

Так как по условиям задачи технология обработки распознанных поверхностей должна строиться преимущественно на применении двух технологических установок на станке (с двух сторон), все поверхности группируются по сторонам обработки – правая сторона (right side) и левая сторона (left side). Последовательность определяется в технологическом алгоритме на основании данных, которые пользователь ввел в таблицу, выбрав одну из торцевых поверхностей, которая будет обрабатываться в первую очередь.

С целью формализации технологического маршрута обработки детали типа втулки для обработки каждой из сторон (левой и правой) принята общая концепция последовательности переходов:

- подрезка КТЭ «торец»;
- обработка КТЭ «открытая зона»;
- обработка КТЭ «полуоткрытая зона наружная»;
- обработка КТЭ «закрытая зона наружная»;
- центрование КТЭ «отверстие» (если есть) или КТЭ «полуоткрытая зона внутренняя»;
- обработка КТЭ «полуоткрытая зона внутренняя»;
- обработка КТЭ «закрытая зона внутренняя»;
- обработка КТЭ «резьба наружная»;
- обработка КТЭ «резьба внутренняя»;
- обработка КТЭ «закрытая зона торцевая».

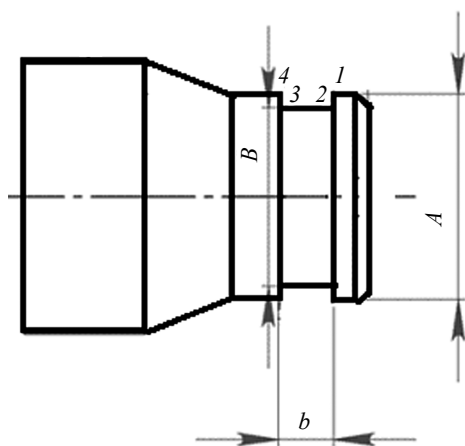
Каждый из переходов описан технологическими шаблонами в алгоритмическом виде. С учетом того что некоторые КТЭ содержат параметры точности, в список технологических шаблонов добавлены шаблоны чистовой обработки. Кроме того, для переходов обработки закрытых зон применяются различные шаблоны (выточка, канавка № 1, канавка № 2, канавка для выхода резьбы, торцевая выточка и др.). Поясним на примере различие шаблонов обра-

ботки закрытых зон «выточка наружная» и «канавка № 1».

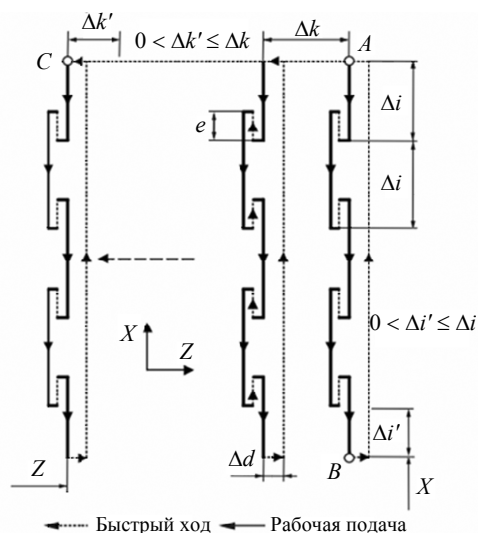
Особенностью КТЭ «выточка наружная» является наличие радиальных отрезков 1-2 и 3-4 в начале и конце профиля элемента (рис. 3, *a*). Для обработки этого КТЭ используется канавочный резец и поперечная схема врезания в материал (рис. 3, *b*), характерная для цикла G75 (Fanuc).

В отличие от этого КТЭ канавки № 1 имеет наклонный начальный участок профиля (рис. 4, *a*)

с углом наклона на участке 1-2-3 менее 30 град к продольной оси, что дает возможность применять для обработки этого элемента проходной резец с пластинкой типа *D* с углом заострения 55 град, которая может врезаться в материал под углом ≤ 30 град и работать по более эффективной продольной схеме. На рис. 4, *b* представлена типовая траектория обработки такого КТЭ с применением цикла G71 (Fanuc).



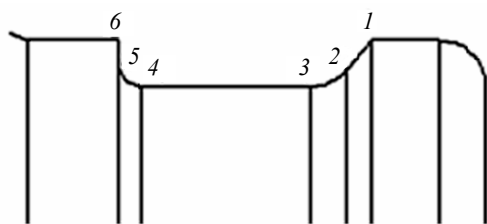
a



b

Рис. 3. Профиль КТЭ «выточка наружная» (*a*) и схема его обработки (*b*)

Fig. 3. Feature profile “External groove” (*a*) and scheme for its processing (*b*)



a



b

Рис. 4. Профиль КТЭ «канавка № 1» (*a*) и схема его обработки (*b*)

Fig. 4. Feature profile “Groove No. 1” (*a*) and scheme for its processing (*b*)

Всего разработано 16 шаблонов для обработки деталей типа втулки.

Результатом работы модуля являются готовые фрагменты управляющих программ, состоящие из G-кодов в формате УЧПУ типа Fanuc. Разработанная САПР объединяет эти фрагменты в управляющие программы для каждого из двух переходов. После этого требуется

загрузить полученные УП в программу-симулятор для проверки траектории и расчета машинного времени обработки.

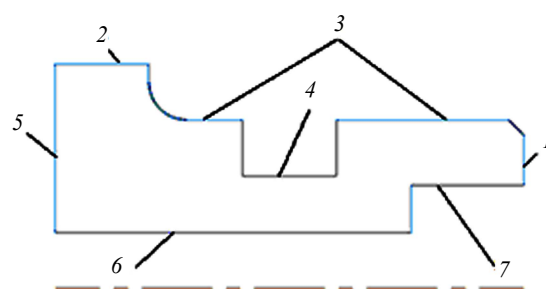
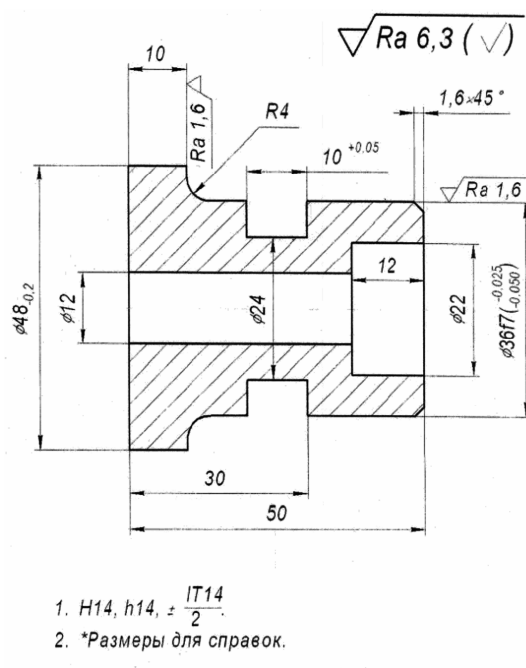
Анализ результатов

В статье «Определение прогнозной трудоемкости изготовления деталей на токарных станках с ЧПУ с помощью распознавания конструктивно-технологических элементов» (Ку-

гаевский С. С., Уколов С. С.) в качестве примера рассмотрен процесс распознавания детали типа втулки (рис. 5, а).

После автоматического распознавания получен перечень КТЭ и набор G-кодов профиля каждого из этих КТЭ, в том числе: торец правый (1) открытая зона внешняя (2), полуоткрытая внешняя (3), выточка внешняя (4), торец левый (5), открытая внутренняя – отверстие (6), полуоткрытая внутренняя (7).

На интерактивном этапе моделирования технолог проверяет правильность распознавания и указывает конструктивные требования для некоторых КТЭ. В частности поверхность Ø36 (КТЭ № 3) имеет повышенную точность обработки, и для нее должен быть назначен дополнительный проход чистовым инструментом. После этого модуль выбора инструментов автоматически формирует состав инструментов и рекомендуемые режимы резания (табл. 1).



а

б

Рис. 5. Чертеж (а) и контур осевого сечения (б) детали типа втулки

Fig. 5. Drawing (a) and the contour of the axial section (b) of the “bushing” part

Таблица 1. Состав инструментов и рекомендуемые режимы резания

Table 1. Composition of tools and recommended cutting modes

КТЭ	Тип инструмента	№ инстр. в базе	Шифр державки, пластинки	Глубина, мм	Подача, мм/об	Скорость, м/мин
Торец	Проходной Ø95	5	SCLCR1212M09 CCMT09T302-F1 CP500	1,2	0,25	175
Открытая зона внешняя	Подрезной Ø90	1	SCGCR1212F09 CCMT09T302-F1 CP500	1,2	0,25	175
Полуоткрытая внешняя черновая	Проходной Ø95	5	SCLCR1212M09 CCMT09T302-F1 CP500	0,9	0,25	175
Полуоткрытая внешняя чистовая	Проходной Ø95	5	SCLCR1212M09 CCMT09T302-F1 CP500	0,5	0,1	117
Выточка внешняя	Канавочный	18	CFIR1212M04 LCGF160402-0400-GG CP500	4	0,17	130
Открытая внутренняя (отверстие)	Сверло Ø12	2291	SD245A-12.0-56-12R1	6	0,3	195
Полуоткрытая внутренняя черновая	Расточной	23	E08K-SCFCR06-R CCGT060204R-UX CP500	2	0,2	126

Также автоматически создается последовательность обработки. Система автоматически перераспределяет набор инструментов с учетом заполнения гнезд инструментальной револьверной головки. Если номера инструментов в базе данных совпадают, значит это один инструмент. Полученный набор инструментов для ввода в УП показан в таблицах 2, 3.

После этого на основании технологических алгоритмов также автоматически формируется

управляющая программа в *G*-кодах. Фрагмент программы для первого перехода приведен ниже.

Результаты моделирования в виде готовой УП загружаются в программу-верификатор NC Manager (рис. 6).

Программа-модификатор автоматически рассчитывает машинное время обработки. Например, 2-й установ может быть обработан за 1 мин 46 с (рис. 7).

Таблица 2. Карта наладки для операции № 1

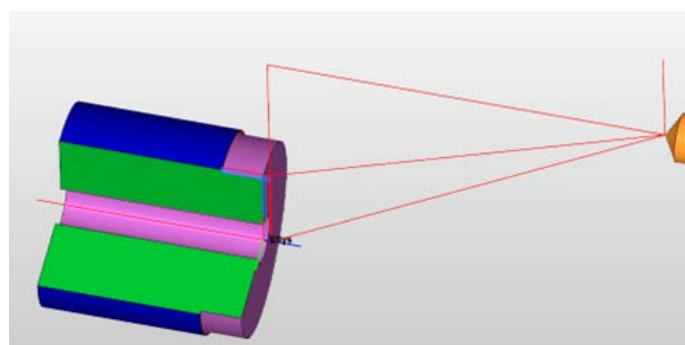
Table 2. Setup map for operation No. 1

№ кадра начала блока	Наименование перехода для вывода в комментарий УП	№ инструмента в базе (в УП не выводится)	№ гнезда инструмента для вывода в УП	Шифр державки, пластинки для вывода в комментарий УП
901	Подрезать торец	5	T0202	SCLCR1212M09 CCMT09T302-F1 CP500
902	Точить внешнюю открытую зону	1	T0404	SCGCR1212F09 CCMT09T302-F1 CP500
903	Сверлить отверстие	2291	T0606	SD245A-12.0-56-12R1

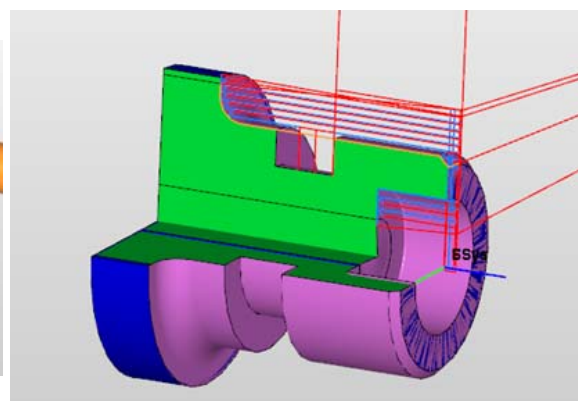
Таблица 3. Карта наладки для операции № 2

Table 3. Setup map for operation No. 2

№ кадра начала блока	Наименование перехода для вывода в комментарий УП	№ инструмент в базе (в УП не выводится)	№ гнезда инструмента для вывода в УП	Шифр державки, пластинки для вывода в комментарий УП
901	Подрезать торец	5	T0202	SCLCR1212M09 CCMT09T302-F1 CP500
902	Точить полуоткрытую зону начерно	5	T0202	SCLCR1212M09 CCMT09T302-F1 CP500
903	Точить полуоткрытую зону начисто	5	T0202	SCLCR1212M09 CCMT09T302-F1 CP500
904	Точить выточку	18	T0404	CFIR1212M04 LCGF160402-0400-GG CP500
905	Расточить полуоткрытую зону начисто	23	T0606	E08K-SCFCR06-R CCGT060204R-UX CP500



a



b

Рис. 6. Симуляция траектории инструментов управляющих программ для первого (a) и второго (b) установов

Fig. 6. Simulation of the tools trajectory of the of the NC programs for the first (a) and second (b) setups

■ Статистика программ

Имя	Время	Время рабочих ходов	Время холостых ходов	Время простоя	Длина рабочих ходов	Длина холостых ходов
Все программы	0:00:00	0:01:46	0:00:10	0:00:00	445.543	2248.613
Статистика по программам						
Имя	Время	Время рабочих ходов	Время холостых ходов	Время простоя	Длина рабочих ходов	Длина холостых ходов
01-2.nc	0:00:00	0:01:46	0:00:10	0:00:00	445.543	2248.613
IntNC_PRO.nc	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0.000	0.000
Статистика по инструментам						
Имя	Время	Время рабочих ходов	Время холостых ходов	Время простоя	Длина рабочих ходов	Длина холостых ходов
N2 SCLCR1212M09	0:01:33	0:01:24	0:00:05	0:00:03	373.714	1116.909
N4 Tool	0:00:16	0:00:13	0:00:01	0:00:01	21.000	375.000
N6 Tool	0:00:11	0:00:08	0:00:01	0:00:01	50.828	326.704

Рис. 7. Статистика времени обработки детали на 2-м установе

Fig. 7. Statistics of the processing time of the part on the 2nd installation

Выводы

1. Созданное программное обеспечение позволяет в автоматическом режиме оперативно разработать управляющие программы для типовых токарных деталей и определить прогнозную трудоемкость этих операций. Научная новизна представленного решения заключается в том, что разработанное программное обеспечение является автономным, не требует встраивания в существующие CAD/CAM-программы и доступно пользователю для пополнения и редактирования.

2. Разработанные в результате исследований новые математические модели защищены Свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023613929 РФ.

3. Дальнейшим продолжением исследований можно считать расширение конструктивного диапазона деталей, включая детали типа диска, оси, ступенчатого вала и др.

Библиографические ссылки

1. Михалев О. Н., Янюшкин А. С. Автоматизация технологических процессов на основе нейронной сети // Автоматизация. Современные технологии. 2022. Т. 76, № 4. С. 147–152. DOI: 10.36652/0869-4931-2022-76-4-147-152
2. Юрченко В. В., Кибико А. С. Анализ и пути совершенствования систем автоматизации нормирования производственного процесса // Universum: технические науки. 2018. № 3(48). С. 5–7.
3. Yang Shi, Yicha Zhang, Kaishu Xia, Ramy Harik (2020) A Critical Review of Feature Recognition Techniques. Computer-Aided Design and Applications, 17(5), 861-899. DOI: 10.14733/cadaps.2020.861-899

4. Ippei Takaishi, Satoshi Kanai, Hiroaki Date and Hideyoshi Takashima (2020) Free-Form Feature Classification for Finite Element Meshing-based on Shape Descriptors and Machine Learning. Computer-Aided Design and Applications, 17(5), 1049-1066. DOI: 10.14733/cadaps.2020.1049-1066

5. Zhang Z., Jaiswal P., Rai R. (2018) Feature Net: Machining feature recognition based on 3D Convolution Neural Network, Computer-Aided Design, 101, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2018.03.006>

6. Кузнецов С. С. Сколько стоит механообработка // САПР и графика. 2020. № 5(283). С. 20–21.

7. Зинченко Д. Прямое редактирование импортированных моделей и проектирование ЧПУ-обработки в системе ADEM // САПР и Графика. 2019. № 1. С. 22–25.

8. Лебедев А. Металлообработка на станках с ЧПУ: как начать выпускать продукцию мирового уровня // САПР и графика. 2019. № 4. С. 64–67.

9. Рычков Д. А., Смирнова Д. А. Система автоматизированной разработки технологических процессов с элементами оптимизации // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 4(56). С. 30–35. DOI: 10.18324/2077-5415-2022-4-30-35

10. Кузнецов С. С., Уколов С. С. Определение прогнозной трудоемкости изготовления деталей на токарных станках с ЧПУ с помощью распознавания конструктивно-технологических элементов // Вестник ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 2. С. 60–68. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-2-60-68

11. Лобанов Д. В., Купцов М. В. Этапы создания автоматизированного комплекса для систематизации и выбора режущего инструмента // Вестник современных технологий. 2020. № 2(18). С. 14–18.

12. Повышение эффективности точения титановых сплавов / С. А. Тимофеев, А. В. Савилов, А. С. Пятых, П. С. Брызгунова // Вестник современных технологий. 2022. № 2(26). С. 4–9.

13. Адаптация метода управления режимами резания к промышленным условиям / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев, В. Г. Фадеев, С. С. Семеняка // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2021. № 1(248). С. 38–41. DOI: 10.35211/1990-5297-2021-1-248-38-41

14. Петряева И. А. Многокритериальная оптимизация режимов резания в условиях переменности действующих ограничений // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. 2021. № 4(75). С. 81–86.

15. Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю. Теоретические и эмпирические предпосылки определения режимов оптимального резания металлов и сплавов унифицированными резцами // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. 2019. № 3(66). С. 61–68.

16. Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю. Критерии обрабатываемости труднообрабатываемых материалов, оптимизация инструмента и режимов резания в прецизионном групповом производстве // Станкоинструмент. 2021. № 4. С. 62–72.

17. Калинин А. Л., Попов А. П. Специфика эксплуатационных параметров режущих инструментов при обработке машиностроительных деталей // Наукосфера. 2023. № 10-2. С. 138–142.

18. Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю. Исследование режущих свойств отечественных твердых сплавов для унифицированного инструмента и выбор пары материалов при точении жаропрочных сплавов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. 2022. № 2(77). С. 74–85.

19. Жмурич В. В., Хрячкова В. В. Управление технологическим процессом обработки нержавеющей стали и промышленная апробация методики назначения режимов резания // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 11. С. 580–587. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-11-580-587

20. Завьялов А. В., Замураев О. Е., Орлов Ю. А. Методика повышения производительности растачивания отверстий на станках с ЧПУ // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 4. С. 56–58.

References

1. Mikhalev O.N., Yanyushkin A.S. (2022) [Automation of technological processes based on a neural network]. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii*, vol. 76, no. 4, pp. 147-152 (in Russ.). DOI: 10.36652/0869-4931-2022-76-4-147-152

2. Yurchenko V.V., Kibeko A.S. (2018) [Analysis and ways to improve automation systems for standardizing the production process]. *Universum: tekhnicheskoe nauki*, no. 3(48), pp. 5-7 (in Russ.).

3. Yang Shi, Yicha Zhang, Kaishu Xia, Ramy Harik (2020) A Critical Review of Feature Recognition Techniques. *Computer-Aided Design and Applications*, 17(5), 861-899. DOI: 10.14733/cadaps.2020.861-899

4. Ipei Takaishi, Satoshi Kanai, Hiroaki Date and Hideyoshi Takashima (2020) Free-Form Feature Classification for Finite Element Meshing-based on Shape

Descriptors and Machine Learning. *Computer-Aided Design and Applications*, 17(5), 1049-1066. DOI: 10.14733/cadaps.2020.1049-1066

5. Zhang Z., Jaiswal P., Rai R. (2018) Feature Net: Machining feature recognition based on 3D Convolution Neural Network, *Computer-Aided Design*, 101, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2018.03.006>

6. Kugaevskii S.S. (2020) [How much does machining cost?]. *SAPR i grafika*, no. 5(283), pp. 20-21 (in Russ.).

7. Zinchenko D. (2019) [Direct editing of imported models and design of CNC machining in the ADEM system]. *SAPR i Grafika*, no. 1, pp. 22-25 (in Russ.).

8. Lebedev A. (2019) [Metalworking on CNC machines: how to start producing world-class products]. *SAPR i grafika*, no. 4, pp. 64-67 (in Russ.).

9. Rychkov D.A., Smirnova D.A. (2022) [System for automated development of technological processes with optimization elements]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, no. 4(56), pp. 30-35 (in Russ.). DOI: 10.18324/2077-5415-2022-4-30-35

10. Kugaevskii S.S., Ukolov S.S. (2023) [Determination of the predicted labor intensity of manufacturing parts on CNC lathes using recognition of structural and technological elements]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 26, no. 2, pp. 60-68 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-2-60-68

11. Lobanov D.V., Kuptsov M.V. (2020) [Stages of creating an automated complex for systematization and selection of cutting tools]. *Vestnik sovremennykh tekhnologii*, no. 2(18), pp. 14-18 (in Russ.).

12. Timofeev S.A., Savilov A.V., Pyatyh A.S., Bryzgunova P.S. (2022) [Improving the efficiency of turning titanium alloys]. *Vestnik sovremennykh tekhnologii*, no. 2(26), pp. 4-9 (in Russ.).

13. Frolov E.M., Rogachev A.V., Fadeev V.G., Semenyaka S.S. (2021) [Adaptatsiya metoda upravleniya rezhimami rezaniya k promyshlennym usloviyam]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, no. 1(248), pp. 38-41 (in Russ.). DOI: 10.35211/1990-5297-2021-1-248-38-41

14. Petryaeva I.A. (2021) [Multicriteria optimization of cutting modes under conditions of variability of existing restrictions]. *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniya*, no. 4(75), pp. 81-86 (in Russ.).

15. Rakunov Yu.P., Abramov V.V., Rakunov A.Yu. (2019) [Theoretical and empirical prerequisites for determining optimal cutting modes for metals and alloys using standardized cutters]. *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniya*, no. 3(66), pp. 61-68 (in Russ.).

16. Rakunov Yu.P., Abramov V.V., Rakunov A.Yu. (2021) [Machinability criteria for hard-to-cut materials, optimization of tools and cutting conditions in precision batch production]. *Stankoinstrument*, no. 4, pp. 62-72 (in Russ.).

17. Kalinin A.L., Popov A.P. (2023) [Specifika ekspluatatsionnykh parametrov rezhushchih instrumentov pri obrabotke mashinostroitel'nykh detalej]. *Naukosfera*, no. 10-2, pp. 138-142 (in Russ.).

18. Rakunov Yu.P., Abramov V.V., Rakunov A.Yu. (2022) [Study of the cutting properties of domestic hard

alloys for a unified tool and the choice of a pair of materials when turning heat-resistant alloys]. *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniya*, no. 2(77), pp. 74-85 (in Russ.).

19. Zhmurin V.V., Hryachkova V.V. (2021) [Control of the technological process of processing stainless steels and industrial testing of methods for assigning cutting

modes]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, no. 11, pp. 580-587 (in Russ.). DOI: 10.24412/2071-6168-2021-11-580-587

20. Zav'yalov A.V., Zamuraev O.E., Orlov Yu.A. (2019) [Methodology for increasing the productivity of boring holes on CNC machines]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*, no. 4, pp. 56-58 (in Russ.).

Using Technological Templates to Determine the Predicted Labor Intensity of Manufacturing Parts on CNC Lathes

S.S. Kugaevskii, PhD in Engineering, Associate Professor, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

A.V. Bogoyavlensky, PhD in Engineering, Associate Professor, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

The article considers the use of technological templates for calculating the predictive labor intensity of machining. The processing of parts of the "sleeve" type on CNC lathes is considered. The process of determining the predictive labor intensity of structural and technological elements (features) of a part is implemented as an applied CAD module. At the same time, the contour of previously recognized features in the form of an electronic 2D model and a table of processed surface parameters are fed to the module input. The use of technological algorithms becomes possible due to the preliminary automatic feature recognition, which is implemented as a module of the considered CAD. At the recognition stage, various types of features are classified (flat end, open area, semi-open area, closed area, and thread). The result of recognition is the contour of individual features, consisting of individual segments of straight lines and arcs of circles and specified in the form of standard G-codes. The article describes the principle of developing new mathematical models of technological templates for feature data processing. Technological templates include automatic selection of cutting tools from the user base, selection of a toolpath strategy and selection of processing modes. This takes into account the location of the contours relative to the axis of the part (internal and external), and for closed areas, their geometric type is taken into account (undercut, groove, groove for thread exit, end undercut, and etc.). Such decision-making algorithm detailing is necessary because the choice of tool and toolpath depends on it. In order to take into account the part properties, the coefficient of labor intensity of materials is introduced. Further, technological templates include algorithms that use feature contours described in the form of G-codes to generate a control program (NC) for a CNC machine. To determine the labor intensity, a standard NC-simulation module is used. The results of model adaptation for the current production type are obtained.

Keywords: technological templates, feature based manufacturing, labor intensity forecasting.

Получено 05.12.2023

Образец цитирования

Кугаевский С. С., Богоявленский А. В. Использование технологических шаблонов для определения прогнозной трудоемкости изготовления деталей на токарных станках с ЧПУ // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2024. Т. 27, № 1. С. 26–35. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-26-35

For Citation

Kugaevskii S.S., Bogoyavlensky A.V. (2024) [Using Technological Templates to Determine the Predicted Labor Intensity of Manufacturing Parts on CNC Lathes]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2024, vol. 27, no. 1, pp. 26-35 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-26-35