

УДК 621.914.22 - 216:658.531.011.56
DOI: 10.22213/2413-1172-2023-2-60-68

Определение прогнозной трудоемкости изготовления деталей на токарных станках с ЧПУ с помощью распознавания конструктивно-технологических элементов

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

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

Рассмотрена задача оперативного прогнозирования трудоемкости изготовления деталей на токарных станках с ЧПУ. В качестве метода выбрано распознавание конструктивно-технологических элементов детали по ее 2D-модели для расчета прогнозной трудоемкости механической обработки. Рассмотрена обработка деталей типа «втулка» на токарных станках с ЧПУ. Процесс распознавания конструктивно-технологических элементов реализован в виде прикладной САПР, на вход которой подаются электронная 2D-модель и таблица параметров обрабатываемых поверхностей. В состав этих параметров входят требования к точности и шероховатости поверхностей, вид нарезаемой резьбы, ее шаг, координаты точки начала и конца резьбы. На выходе формируется управляющая программа для станка с ЧПУ, оформленная в виде стандартных циклов. Автоматическое формирование управляющей программы становится возможным благодаря использованию специально разработанных для этого технологических шаблонов обработки типовых конструктивных элементов. Технологические шаблоны разработаны для всех конструктивно-технологических элементов, характерных для токарной операции (торец, открытая зона, полуоткрытая зона, закрытая зона, резьба). Для внешних и внутренних поверхностей детали технологические шаблоны различны, так как для их обработки применяются различные инструменты и стратегии построения траекторий. Особую сложность представляет формализация обработки закрытых зон. Поэтому на стадии распознавания классифицируются различные типы закрытых зон (выточка, канавка, канавка для выхода резьбы, торцевая выточка). Для каждого типа закрытых зон создан отдельный технологический шаблон их обработки. Для определения трудоемкости используется стандартный модуль симуляции управляющей программы. Получены результаты адаптации моделей для действующего производства.

Ключевые слова: распознавание конструктивных элементов, поэлементная технология, прогнозирование трудоемкости.

Введение

В условиях повсеместного преобладания мелкосерийного производства машиностроительной продукции, связанного с большой номенклатурой новых деталей, подлежащих механической обработке, остро встает вопрос оперативного прогнозирования трудоемкости обработки этих деталей [1–3].

Известны существующие методы нормирования механической обработки (непосредственное наблюдение, метод аналогий, расчетный метод). Недостатками первых двух методов является низкая точность, связанная с субъективным подходом к нормированию. Для расчетного метода требуется заранее разработанный технологический процесс изготовления детали.

Предлагаемый метод позволяет выполнить оперативную оценку трудоемкости обработки детали на основании анализа ее конструкции по 2D- или 3D-модели. В отличие от перечислен-

ных ранее методов изложенный подход позволяет определить машинное время обработки на самой ранней стадии подготовки производства, когда технологический процесс еще не разработан. При этом обеспечивается хорошая сопоставимость результатов за счет использования цифровой базы типовых методов обработки, применяемых инструментов и режимов резания.

Этому методу вполне подходит терминология «использование искусственного интеллекта» в области производства новых изделий. Как известно, электронная 3D-модель детали содержит все требуемые для расчета размерные характеристики объекта. Единственным сдерживающим фактором является то, что не все пользовательские 3D-модели содержат информацию о требуемой точности расположения и размеров поверхностей и требуемой шероховатости этих поверхностей. Разумеется, эти параметры сильно влияют на содержание техпроцесса и в итоге

на трудоемкость изготовления детали. Поэтому для повышения адекватности расчетов приходится вводить этап, на котором интерактивно вводятся параметры точности и шероховатости некоторых наиболее ответственных поверхностей конструкции детали. Это единственный этап, связанный с участием человека. Вся остальная процедура выполняется автоматически и занимает несколько минут.

Цель исследования заключается в сокращении времени определения трудоемкости механообработки и снижении влияния человеческого фактора за счет разработки 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 качестве инструмента для определения прогнозной трудоемкости профессором Шариным Ю. С. была создана теория сложности. Исследования по этой тематике многократно публиковались в журнале Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова и в других печатных изданиях. В соответствии с этим методом расчет сложности механической обработки деталей можно производить с использованием безразмерных технологических коэффициентов, учитывающих размеры, материал, состояние заготовки и технологичность конструкции. Эти коэффициенты определяются экспертом на основании чертежа детали.

Недостатком метода является некоторая обобщенность и субъективность оценки конструкции детали. Например, узкий глубокий паз имеет такой же объем, как широкий мелкий паз. При существующем подходе эти два паза имели

бы одинаковую сложность, в то время как действительная трудоемкость обработки этих двух элементов значительно различается. Развитием метода можно считать работу [4], в которой предлагается учитывать сложность детали по таблицам, включая данные о точности и шероховатости поверхностей. И все-таки метод предполагает ручной ввод данных и не обеспечивает нужные оперативность и объективность вводимой информации.

Более полное представление о конструкции детали дает информация, содержащаяся в электронной 3D-модели детали. Для описания различных конструктивных элементов деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, разработан комплекс международных стандартов, объединенных в группу стандартов ISO 14649-10 (STEP NC). Описание конструктивно-технологических элементов (КТЭ) для токарной обработки содержится в стандарте ISO 14649-12. На базе этих стандартов уже выполнено ряд исследований, связанных с автоматической разработкой технологического процесса [5, 6]. Различные CAD/CAM-системы уже имеют отдельные модули автоматизированного проектирования технологии и УП [7–11]. Однако информации о выполнении распознавания КТЭ по 3D-модели в литературе достаточно мало [12–15].

Разработка САПР распознавания КТЭ для деталей типа тела вращения

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



Рис. 1. Перечень конструктивно-технологических элементов для деталей типа тела вращения

Fig. 1. List of features for turning parts

Такое представление о конструкции детали дает возможность полностью автоматизировать процесс выделения различных КТЭ на основе интерактивного распознавания их, анализируя геометрические особенности контура детали.

Следующим этапом для определения прогнозной трудоемкости является разработка математических моделей, представляющих собой цифровые шаблоны принятия решения о последовательности обработки, выборе типа режущего

инструмента, построения технологии и расчета режимов резания. Комплексная автоматизация процесса принятия решения дает возможность оперативно получить усредненную оценку трудоемкости механической обработки без разработки детального технологического процесса.

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 «втулка» на токарных станках с ЧПУ (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023613929 Российская Федерация). На входе она имеет 2D-модель детали, а на выходе – управляющие программы токарных операций в формате устройства ЧПУ типа Fanuc. Расчет трудоемкости обработки автоматически выполняется с помощью программы NC Manager.

Функциональная схема работы САПР представлена в виде блок-схемы алгоритма на рисунке 2.

Рассмотрим, как выполняется распознавание КТЭ на примере детали «втулка» (рис. 3).

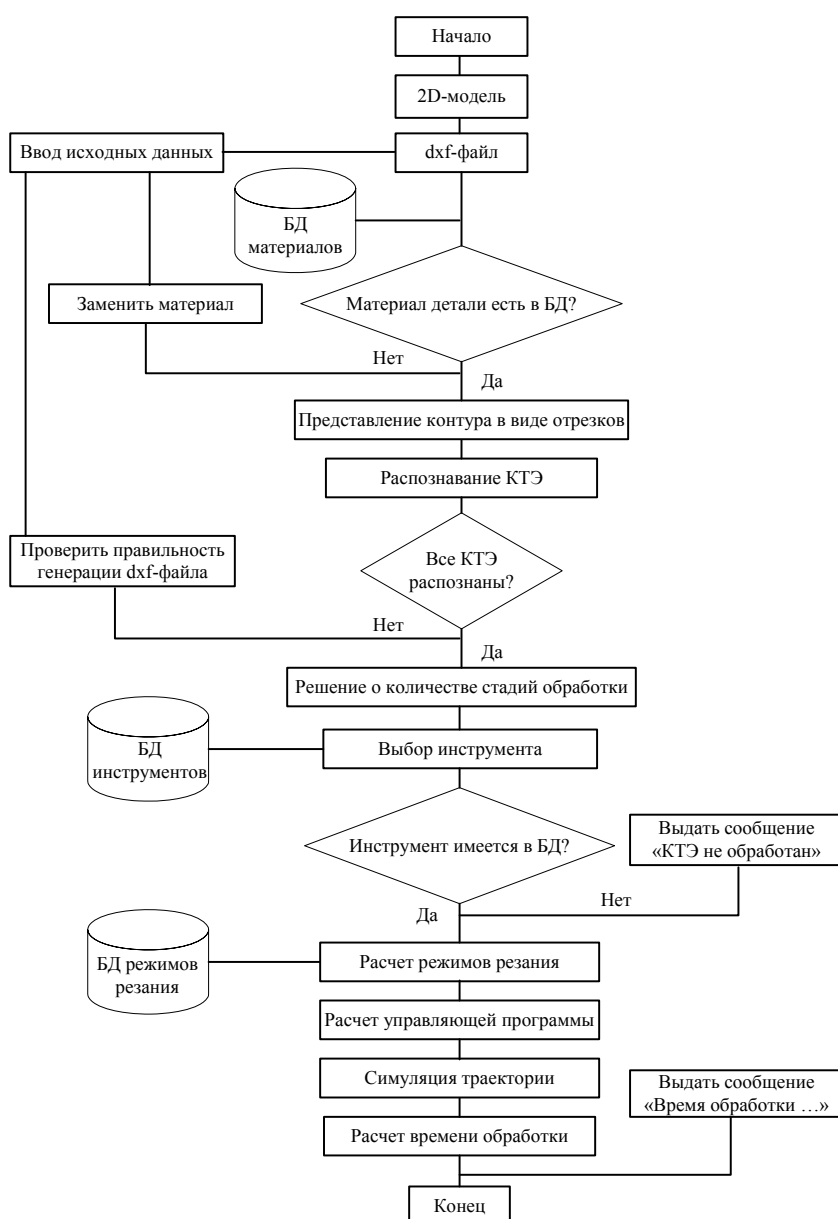


Рис. 2. Блок-схема алгоритма распознавания конструктивно-технологических элементов

Fig. 2. Block diagram of the feature recognition algorithm

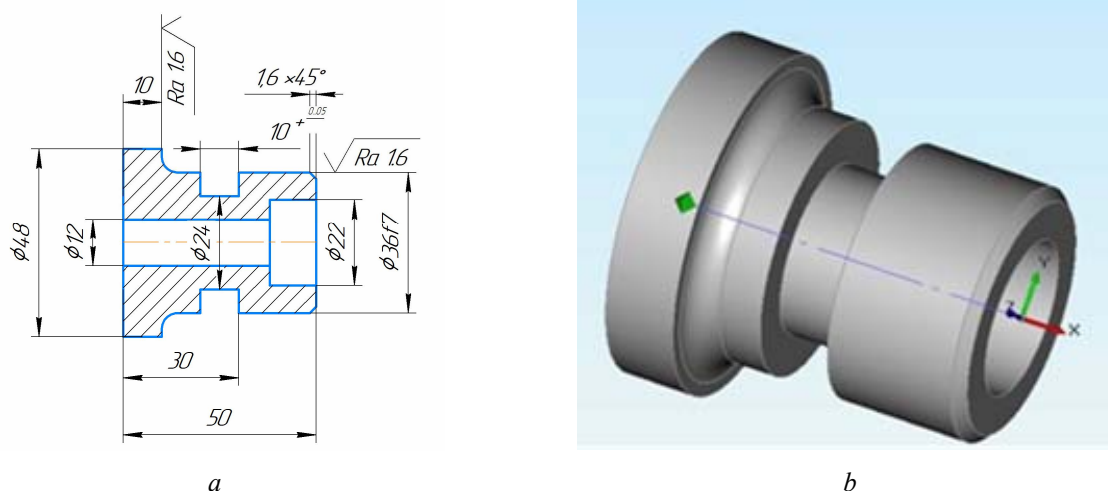


Рис. 3. Чертеж (а) и 3D-модель (b) детали «втулка»

Fig. 3. Drawing (a) and 3D model (b) of the “sleeve” part

На первом этапе для расчета трудоемкости обработки детали в систему загружают 2D-модель детали в формате dxf. По этой модели автоматизированным образом вычисляется контур осевого сечения детали, состоящий из отрезков прямых и дуг окружностей, который поступает на вход процессора.

Контур осевого сечения представляет собой последовательность связанных элементов (прямых, дуг окружностей) в виде стандартных G-кодов, где координата начальной точки указывается с кодом G00, а следующие координаты описаны функциями G1, G2, G3 (рис. 4.). Вторым этапом

выполняется заведение технических данных о конструкции детали. Этот этап – единственный, на котором требуется вмешательство пользователя. Это обусловлено тем, что в 2D-модели детали не содержится данных о материале детали, требованиях к точности и шероховатости поверхностей, необходимости термообработки. Для работы на этом этапе создан удобный интерфейс, в котором предусмотрено три окна для ввода данных (сводка общих данных, общие параметры, локальные параметры поверхностей). Четвертое окно отражает результаты ввода. Иллюстрация интерфейса системы показана на рисунке 5.

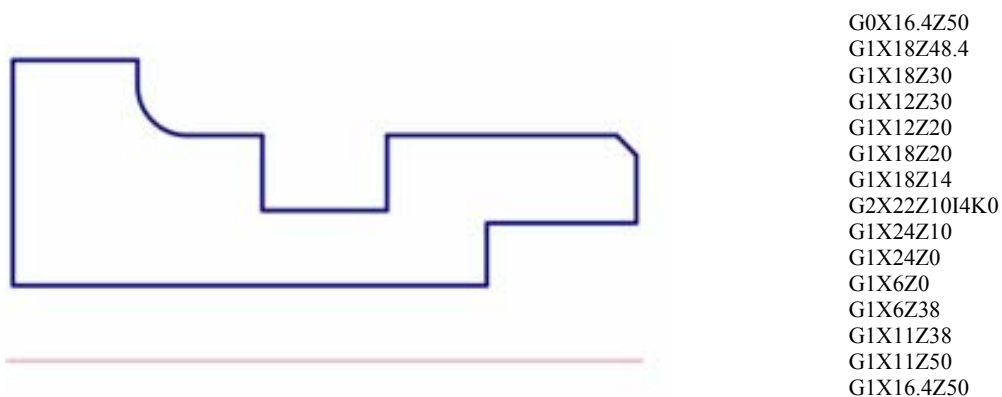


Рис. 4. Графическое отображение контура в DXF-файле и описание контура в виде G-кодов

Fig. 4. Graphical display of the contour in the DXF file and description of the contour in the form of G-codes

Окно «Сводка» содержит данные о наименовании исходного dxf-файла, число элементов контура (прямые и дуги), габариты детали по 2D-модели.

Окно «Параметры» содержит данные о наименовании детали с указанием материала и твердости. Также здесь должны быть введены

габаритные размеры заготовки для расчета требуемых рабочих ходов инструмента.

В окне «Локальные параметры поверхностей» (рис. 6) можно ввести данные о требованиях к точности и шероховатости поверхностей детали. На основании этих данных технологические алгоритмы формируют чистовые пере-

ходы (в случае необходимости), назначают необходимые инструменты и режимы резания. Интерфейс позволяет в интерактивном режиме

кликать локальные элементы контура (отрезки прямых и дуг), для которых следует ввести требования к точности и шероховатости.

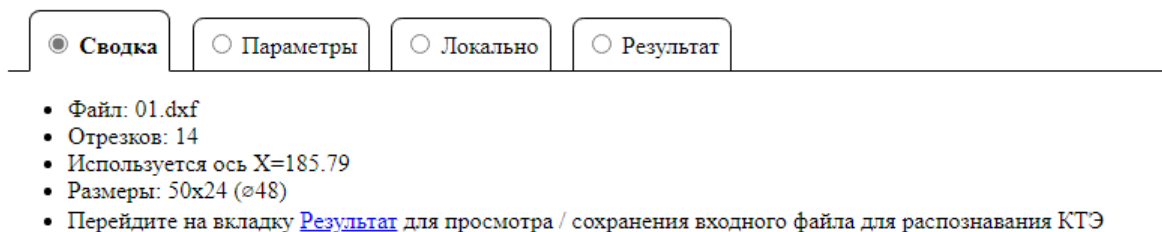


Рис. 5. Изображение окон ввода информации для распознавания

Fig. 5. Image of windows for entering information for recognition

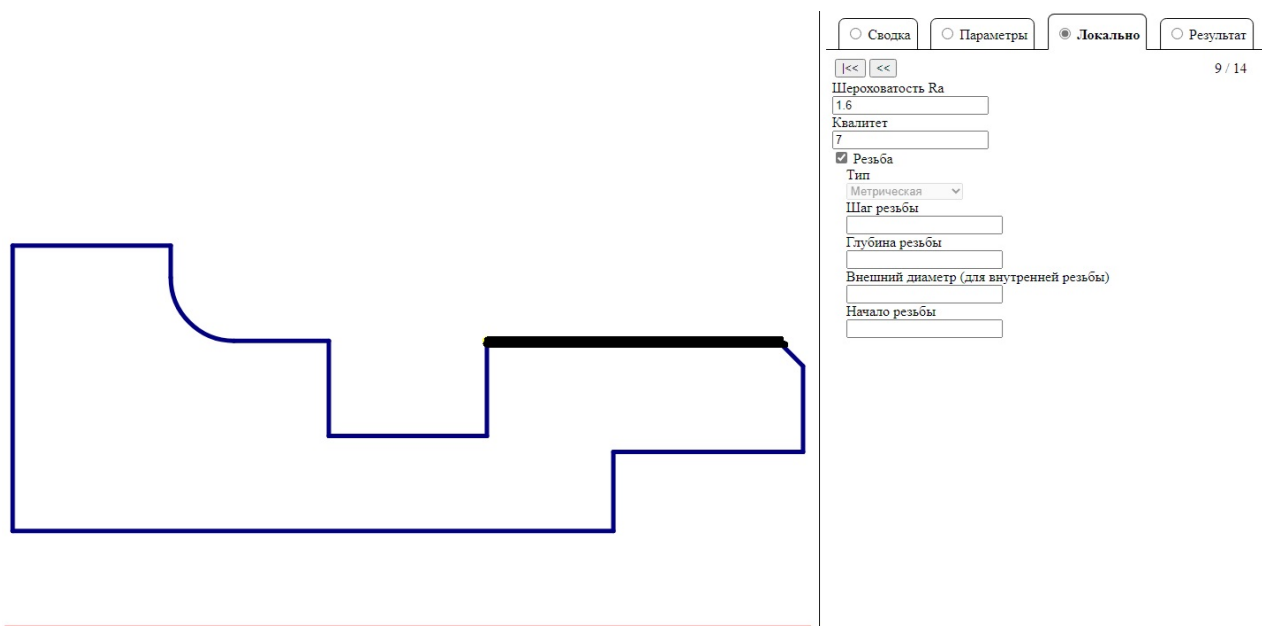


Рис. 6. Окно «Локальные параметры поверхностей»

Fig. 6. Window "Local parameters of surfaces"

В этом же окне возможно ввести параметры резьбы, если она предусмотрена на данной поверхности. Как известно, dxf-файл не содержит данных о резьбовой поверхности.

В окне «Результаты» можно проверить правильность введенных данных для каждого элемента контура. Для этого предусмотрена таблица параметров, в графах которой содержится эта информация. В частности, кроме указания точности и шероховатости поверхности предусмотрены параметры типа и шага резьбы, осевых координат начала и конца резьбы и др. Таким образом, строки параметров связываются со строками элементов контура детали.

Описанная процедура ввода технических параметров является отличительной особенностью этого программного обеспечения. Известны другие программы, где выполняется автома-

тическое построение траектории инструмента и расчет управляющих программ [16, 17]. Недостатком всех этих программ следует считать то, что полученные результаты не могут быть использованы для реальной обработки, так как они не учитывают технологической сложности обрабатываемых КТЭ, следовательно, дают большие погрешности при оценке трудоемкости обработки детали.

После этого информация передается на 3-й этап, на котором производится автоматическое распознавание КТЭ данной детали и определяется последовательность их обработки. Результатом работы модуля распознавания является текстовый файл, содержащий элементы контуров обрабатываемых КТЭ с последовательностью их обработки. Эти данные передаются в модуль принятия технологических решений,

где выполняется автоматический выбор режущего инструмента, стратегии обработки и режимов резания. Результатом работы этого модуля является управляющая программа обработки детали с двух установов на токарном станке с ЧПУ типа Fanuc.

В модуле симуляции выполняется верификация УП и одновременно выполняется расчет трудоемкости обработки. Для этого используется известная программа-верификатор NC Manager (Россия). Результаты работы симулятора для данной детали показаны на рисунке 7.

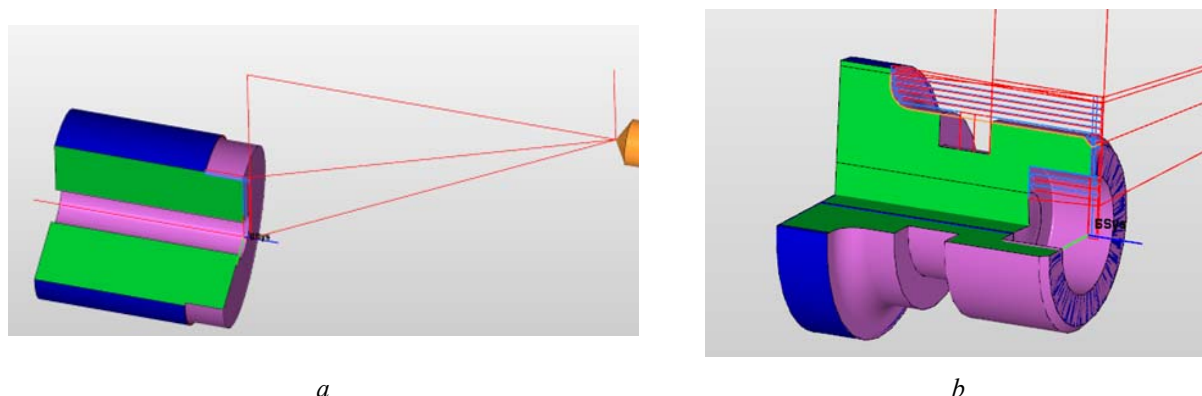


Рис. 7. Симуляция траектории инструментов управляющих программ для первого (а) и второго (б) установов

Fig.7. Simulation of the tools trajectory of the of the NC programs for the first (a) and second (b) setups

Анализ результатов и их обсуждение

С целью отработки программного обеспечения проведено более 30 экспериментов распознавания КТЭ деталей типа «втулка» различных конструкций. Эти эксперименты показали полную адекватность полученных результатов реальным показателям обработки и, соответственно, дают возможность с большой точностью прогнозировать трудоемкость токарных операций, минуя необходимость разработки технологического процесса и расчета управляющих программ традиционным способом.

Отметим, что в перспективе можно будет отказаться от интерактивного этапа ввода информации, на котором определяются параметры точности и шероховатости поверхностей. Уже в настоящее время САД-системы содержат инструменты создания в 3D-модели необходимых данных для ее производства в формате PMI (рис. 8). В том числе в них содержится информация о точности расположения поверхностей, размеры с допусками, обозначения резьб, шероховатости поверхностей [18–20].

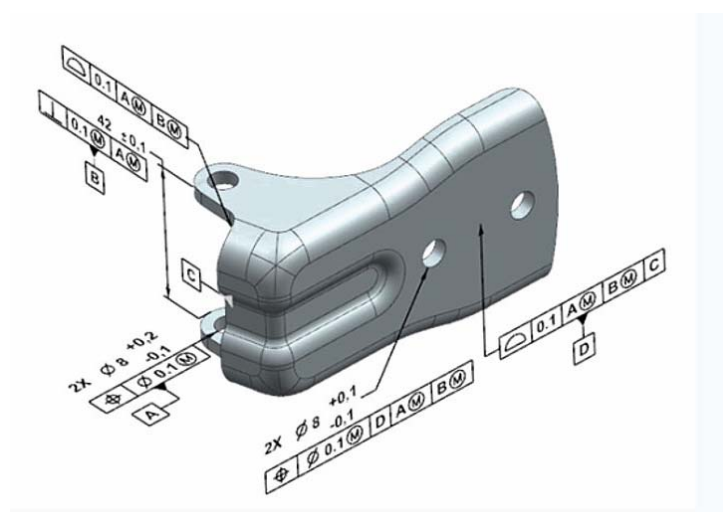


Рис. 8. Пример визуализации 3D-модели, содержащей информацию о свойствах поверхностей и расположении конструктивных элементов [19]

Fig. 8. An example of visualization of a 3D model containing information about the properties of surfaces and the location of structural elements [19]

Выводы

В статье представлены результаты исследования, сделанные на базе распознавание КТЭ обрабатываемых деталей типа «тело вращения». Созданное программное обеспечение позволяет оперативно разработать управляющие программы для типовых токарных деталей и определить прогнозную трудоемкость этих операций.

1. Научная значимость заключается в разработке новых математических моделей распознавания КТЭ по 2D-модели детали, содержащих контур поверхности КТЭ и основные геометрические параметры

2. Для распознанных КТЭ разработаны математические модели технологических шаблонов, позволяющие автоматически сформировать УП обработки этих КТЭ.

3. Для расчета прогнозной трудоемкости применена программа-верификатор, в которой на основании готовых траекторий и режимов обработки определяется машинное время на операцию.

4. Дальнейшим продолжением исследований можно считать расширение конструктивного диапазона деталей, включая детали типа «диск», «ось», «ступенчатый вал» и др.

5. Точность определения прогнозной трудоемкости во многом зависит от полноты применяемой базы режущего инструмента и режимов резания, которая на текущий момент содержит более ста позиций инструмента для обработки типовых материалов S , T , N групп по классификации ISO.

Библиографические ссылки

1. Юрченко В. В., Кибек А. С. Анализ и пути совершенствования систем автоматизации нормирования производственного процесса // *Universum: технические науки*. 2018. № 3(48). С. 5–7. EDN YTDZHO.

2. 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. EDN DIEMHO.

3. Маркова М. И., Дронова О. Б. Прогнозирование трудоемкости изготовления продукции машиностроения // *Ползуновский альманах*. 2016. № 4. С. 127–130. EDN XIKWSD.

4. Красильникова В. А., Кугультинов С. Д. Разработка принципа определения сложности детали по распознаванию конструктивных элементов // *Автоматизированное проектирование в машиностроении*. 2019. № 7. С. 170–174. DOI: 10.26160/2309-8864-2019-7-170-174. EDN YIPWTE.

5. Janusz Pobozniaka, Sergiusz Sobieski (2017) Extension of STEP-NC data structure to represent manufac-

turing process structure in CAPP system: 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM 2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy.

6. Zhao G., Zhang X., Zavalnyi O (2019) Extended roughing operations to ISO 14649-11 for milling T-spline surfaces. *Int J Adv Manuf Technol* 2019, 102, 4319–4335. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03468-w>

7. Красильникова В. А., Кугультинов С. Д. Проектирование технологического процесса механической обработки деталей сложной пространственной формы на станках с ЧПУ // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2019. № 13. С. 55–59. DOI: 10.26160/2474-5901-2019-13-55-59. EDN YWHEEP.

8. Щёкин А. В. Автоматизация получения параметров детали для задач конструкторско-технологической параметризации // *Инженерные технологии и системы*. 2019. Т. 29, № 3. С. 345–365. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201903.345-365>

9. Ахмадиев А. И., Шайхутдинов Ш. А., Курпичников А. П. Распознавание строки перехода операционной карты и эскиза для генерации управляющей программы механической обработки // *Вестник Технологического университета*. 2019. Т. 22, № 3. С. 104–109. EDN PMANAW.

10. Щёкин А. В. Конструкторско-технологическая параметризация в составе комплексной АСУП. *Информационные технологии = Информационные технологии*. 2019. № 25(7). С. 34–54. DOI: <https://doi.org/10.17587/it.25.387-396>

11. Сафонов М. В. Распознавание геометрической информации в процессах технологического проектирования // *Автоматизированное проектирование в машиностроении*. 2017. № 5. С. 126–129. EDN ZUJSJD.

12. Разработка математической модели детали на основе моделей графических систем / С. Ю. Калякулин, В. В. Кузьмин, Э. В. Митин [и др.] // *Инженерные технологии и системы*. 2019. Т. 29, № 1. С. 67–76. DOI: 10.15507/2658-4123.029.201901.067-076. EDN VPFMTA.

13. Зиннатуллин Ильдар Абузарович, Горяинов Дмитрий Сергеевич. Метод автоматизированного распознавания конструкторско-технологических элементов детали // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2016. № 4-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-avtomatizirovannogo-raspoznaniya-konstruktorsko-tehnologicheskikh-elementov-detali> (дата обращения: 05.11.2021).

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

15. Ojal N., Giera B., Devlugt K.T. (2022) A universal method to compare parts from STEP files. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2022, vol. 33, no. 7, pp. 2167-2178. DOI: 10.1007/s10845-022-01984-3. EDN GMXXHG.

16. Зинченко Д. Прямое редактирование импортированных моделей и проектирование ЧПУ-обработки

в системе АДЕМ // САПР и Графика. 2019. № 1. С. 22–25.

17. Зинченко Д. Особенности и преимущества системы АДЕМ в области создания управляющих программ для станков с ЧПУ// САПР и графика. 2017. № 7. С. 31–41. <https://sapr.ru/article/25470>

18. Patrick Andre (2022) Product Manufacturing Information (PMI) in 3D models: a basis for collaborative engineering in Product Creation Process (PCP), URL: <https://scs-europe.net/services/ess2002/PDF/manuf-6.pdf> (дата обращения: 21.04.2023).

19. Лебедев А. Металлообработка на станках с ЧПУ: как начать выпускать продукцию мирового уровня // САПР и графика. 2019. № 4. С. 64–67. <https://sapr.ru/article/25846>

20. Всё что необходимо знать о форматах файлов САПР// САПР и графика. 2023. № 5. С. 10–15. <https://sapr.ru/article/26551>

References

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

2. Mihalev O.N., Janjushkin A.S. (2022) [Automation of Technological processes based on a neural network]. *Avtomatizacija. Sovremennye tehnologii*, 2022, vol. 76, no. 4, pp. 147–152. DOI: 10.36652/0869-4931-2022-76-4-147-152. EDN DIEMHO (in Russ.).

3. Markova M.I. Dronova O.B. (2016) [Forecasting the labor intensity of manufacturing engineering products]. *Polzunovskij al'manah*, 2016, no. 4, pp. 127–130. EDN XIKWSD (in Russ.).

4. Krasil'nikova V.A., Kugul'tinov S.D. (2019) [Development of a principle for determining the complexity of a part by recognizing structural elements]. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii*, 2019, no. 7, pp. 170-174. DOI: 10.26160/2309-8864-2019-7-170-174. EDN YIPWTE (in Russ.).

5. Janusz Pobozniaka, Sergiusz Sobieski (2017) Extension of STEP-NC data structure to represent manufacturing process structure in CAPP system: 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM 2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy.

6. Zhao G., Zhang X., Zavalnyi O (2019) Extended roughing operations to ISO 14649-11 for milling T-spline surfaces. *Int J Adv Manuf Technol* 2019, 102, 4319–4335. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03468-w>

7. Krasil'nikova V.A., Kugul'tinov S.D. (2019) [Design of the technological process of machining parts of complex spatial shape on CNC machines]. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2019, no. 13, pp. 55–59. DOI: 10.26160/2474-5901-2019-13-55-59. EDN YWHEEP.

8. Shchekin A.V. (2019) [Automation of obtaining part parameters for tasks of design and technological parameterization]. *Inzhenernye tehnologii i sistemy*, 2019, vol. 29, no. 3, pp. 345-365. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201903.345-365> (in Russ.).

9. Ahmadiev A.I., Shajhutdinov Sh.A., Kirpichnikov A.P. (2019) [Transition string recognition of operating chart and sketch for generation of machining control program]. *Vestnik Tehnologicheskogo universiteta*, 2019, vol. 22, no. 3, pp. 104-109. EDN PMANAW (in Russ.).

10. Shhekin A.V. (2019) [Design and technological parameterization as part of an integrated automated control system]. *Informacionnye tehnologii = Informacionnye tehnologii*, 2019, 25(7):34-54. DOI: <https://doi.org/10.17587/it.25.387-396> (in Russ.).

11. Safonov M.V. (2017) [Recognition of geometric information in the processes of technological design]. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii*, 2017, no. 5, pp. 126-129. EDN ZUJSJD (in Russ.).

12. Kalyakulin S.Yu., Kuz'min V.V., Mitin E.V. (2019) [Development of a mathematical model of a part based on models of graphic systems]. *Inzhenernye tehnologii i sistemy*, 2019, vol. 29, no. 1, pp. 67-76. DOI 10.15507/2658-4123.029.201901.067-076. EDN VPFMTA (in Russ.).

13. Zinnatullin Il'dar Abuzarovich, Goryainov Dmitrii Sergeevich (2016) [Method for automated recognition of design and technological elements of a part]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2016, no. 4-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-avtomatizirovannogo-raspoznavaniya-konstruktorsko-tehnologicheskikh-elementov-detali> (accessed 05.11.2021) (in Russ.).

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

15. Ojal N., Giera B., Devlugt K.T. (2022) A universal method to compare parts from STEP files. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2022, vol. 33, no. 7, pp. 2167-2178. DOI 10.1007/s10845-022-01984-3. – EDN GMXXHG.

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

17. Zinchenko D. (2017) [Features and benefits of the АДЕМ system in the field of creating control programs for CNC machines]. *SAPR i grafika*, 2017, no. 7, pp. 31-41. <https://sapr.ru/article/25470> (in Russ.).

18. Patrick Andre (2022) Product Manufacturing Information (PMI) in 3D models: a basis for collaborative engineering in Product Creation Process (PCP), URL: <https://scs-europe.net/services/ess2002/PDF/manuf-6.pdf> (дата обращения: 21.04.2023).

19. Lebedev A. (2019) [Metalworking on CNC machines: how to start producing world-class products]. *SAPR i grafika*, 2019, no. 4, pp. 64-67 <https://sapr.ru/article/25846> (in Russ.).

20. *Vsjo chto neobhodimo znat' o formatah fajlov SAPR* [Everything you need to know about CAD file formats]. *SAPR i grafika*, 2023, no. 5, pp.10-15. <https://sapr.ru/article/26551> (in Russ.).

Determination of the Predictive Labor Intensity of Manufacturing Parts on CNC Lathes Using the Feature Recognition

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

S.S. Ukolov, PhD in Engineering, Ural Federal University named after the first President B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

The problem of labor intensity operational forecasting of manufacturing parts on CNC lathes is considered. As a method, the recognition of structural and technological elements (features) of a part according to its 2D model was chosen to calculate the predictive labor intensity of machining. The processing of parts of the “sleeve” type on CNC lathes is considered. The feature recognition process is implemented in the form of an applied CAD/CAM system, which is fed with an electronic 2D model and a table of parameters of the manufactured surfaces. These parameters include accuracy and surface roughness requirements, the type of thread being cut, its pitch, the coordinates of the start and end points of the thread. At the output, a running program (NC) is formed for a CNC machine, designed in the form of standard cycles. Automatic assembly of NC becomes possible due to the use of technological templates for processing typical structural elements specially developed for this purpose. Technological templates are developed for all features typical for turning operation (end, open zone, semi-open zone, closed zone, and thread). For external and internal surfaces of the part technological templates are different, because various tools and strategies for constructing trajectories are used to process them. Formalization of closed area processing is of particular difficulty. Therefore various types of closed zones (undercut, groove, groove for thread exit, and face undercut) are classified at the stage of recognition. A separate technological template for their processing has been created for each type of closed areas. To determine the complexity, a standard simulation module NC is used. The results of model adaptation to current production are obtained.

Keywords: feature recognition, feature based technology, labor intensity forecasting.

Получено 18.06.2023

Образец цитирования

Кугаевский 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.

For Citation

Kugaevskii S.S., Ukolov S.S. (2023) [Determination of the Predictive Labor Intensity of Manufacturing Parts on CNC Lathes Using the Feature Recognition]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2023, vol. 26, no. 2, pp. 60-68 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-2-60-68.