

Научная статья

УДК 621.91.01

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 1 (72). С. 109–115.

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 1 (72). P. 109–115.

Д.В. Юдин ✉, А.Н. Феофанов

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИПУСКА ДЛЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДБОРА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Аннотация

В данной статье представлена классификация технологических припусков и заданы свойства для их определения. Показано отсутствие на данный момент программного обеспечения для решения задачи подбора режущего инструмента, высокая зависимость от человеческого фактора и квалификации инженерных работников. Показана необходимость автоматизации данного процесса и необходимость сокращения номенклатуры РИ. Сформулированы требования к автоматизированной системе подбора режущего инструмента. Для автоматизации данной задачи, предложен подход, использующий в качестве исходных данных – удаляемый механической обработкой припуск. Предложена классификации припуска и определен набор его технологических характеристик.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, автоматизация разработки технологических процессов, обработка резанием.

Для цитирования: Юдин Д.В., Феофанов А.Н. Классификация припуска для создания автоматизированной системы подбора режущего инструмента // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 1 (72). – С. 109–115.

D.V. Yudin ✉, F.N. Feofanov

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

CLASSIFICATION OF ALLOWANCE TO CREATE AN AUTOMATED CUTTING TOOL SELECTION SYSTEM

Abstract

This article presents the classification of technological allowances and sets the properties for their determination. It is shown that at present there is no software for solving the problem of cutting tool selection, high dependence on the human factor and qualification of engineers. The necessity of automation of this process and the need to reduce the nomenclature of RI is shown. Requirements to the automated system of cutting tool selection are formulated. To automate this task, an approach using as input data the allowance removed by machining is proposed. The classification of the allowance is proposed and a set of its technological characteristics is defined.

Keywords: technological preparation of production, automation of technological process development, machining by cutting.

For citation: Yudin D.V., Feofanov F.N. Classification of allowance to create an automated cutting tool selection system. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 1 (72). P. 109–115. (In Russian)

Введение

Одним из недостатков современного машиностроительного производства является избыточное разнообразие средств технологического оснащения. Оно заключается в том, что на предприятиях при обработке близких конструктивно или технологически деталей используется различный инструмент и оснастка, а также различное технологическое оборудование и методы обработки [1].

Для сокращения средств технологического оснащения применяют такие методы технологической унификации как типовая или групповая технология [2], но у данных методов есть недостатки, которые не позволяют их эффективно реализовать, особенно в мелкосерийном производстве.

Одним из составляющих технологического обеспечения является режущий инструмент (РИ), который используется практически во всех методах механической обработки. Проблемы инструментального обеспечения особенно остро проявляются на предприятиях, имеющих множество разнообразного металлорежущего оборудования, многое из которого оснащается магазинами на десятки инструментов. Такие оборудование требуют для своей работы заказов на сотни наименований различного РИ, потребное количество которого в год может исчисляться тысячами. Статистические данные по России показывают, что доля покупного инструмента достигает 80% в системе инструментального обеспечения предприятия [3], следствием чего затраты на поддержание необходимого количества инструмента в производстве колеблются от 15 до 40% общей суммы оборотных средств машиностроительного предприятия [4].

Выбор РИ также сильно влияет на эффективность использования металлорежущего оборудования, обладающего высокой стоимостью, в связи с чем необходимо применять РИ, удовлетворяющий следующим требованиям:

- обладать стабильными режущими свойствами;
- удовлетворительно формировать и отводить стружку;
- обеспечивать заданную точность обработки;
- обладать универсальностью, чтобы его можно было применять для обработки типовых поверхностей различных деталей на разных моделях станков;
- быть быстросменным при переналадке на другую обрабатываемую деталь или замене инструмента;

- обеспечивать возможность предварительной наладки на размер вне станка.

Таким образом обеспечение оптимального выбора РИ для обработки изделий является сложной многокритериальной задачей [5], и требуются специальные научно обоснованного подхода к подбору и унификации. Несмотря на данные обстоятельства, выбор РИ происходит, как правило, на основе личного или производственного опыта, а также на основе рекламных материалов или совета продавцов инструмента.

В идеальных производственных условиях определение инструмента должно происходить в несколько этапов:

1. По заданным условиям обработки определяются требуемые параметры РИ;
2. По требуемым параметрам подбирается подходящий РИ.

Первый этап сопряжен с большим количеством входных параметров. Ввиду отсутствия прямых закономерностей – решение связано с более творческой работой и наличием множества вариантов решений, проверить которые ввиду большой трудоемкости, длительности и их стоимости не представляется возможным в реальных условиях.

Для решения задачи по подбору РИ и его унификации используется специализированное программное обеспечение. На данный момент разработаны различные программные комплексы, облегчающие труд инженера в процессе выбора РИ, среди которых можно выделить следующие:

1. Sandvic CoroGuide. Позволяет производить расчет режимов резания, рассчитывает шероховатость и трудоемкость обработки на основе введенных данных.

2. SECO CUT. Формирует рекомендации по режимам резания для различных методов обработки. Для этого в систему необходимо последовательно параметры РИ, а также группу обрабатываемого материала. Система рассчитывает теоретическую шероховатость поверхности, обработанной выбранным инструментом.

3. ISCAR ELECTRONIC CATALOG. Представляет собой электронную версию каталога инструмента и обеспечивает выбор инструмента для точения, нарезания резьбы, фрезерования, растачивания, развертывания, сверления и других операций.

4. OMEGA Production. Система включает в себя модули управления инженерными данными и технического документооборота, образующие встроенный PDM-модуль. В данной системе реализован алгоритм подбора РИ фирмы Sandvic Coroman

включающий стадии подбора характеристик оснастки и расчет режимов работы оборудования.

5. САПР ТП Вертикаль. Имеет собственную систему расчета режимов резания на основе [8]. Рекомендуемые нормативы режимов резания позволяют выбрать подачу, глубину резания, скорость резания в зависимости от точности и качества обрабатываемых поверхностей, заданного эксплуатационного ресурса и необходимой производительности.

Анализ возможностей данных систем позволяет сделать следующие выводы:

1. В основном ассортимент РИ представлен производителем – разработчиком данной системы;
2. Отсутствует возможность добавлять свой инструмент и обновлять базу данных и уточнять технологические параметры самостоятельно;
3. Данные системы по сути являются электронными каталогами производителей инструмента;
4. Отсутствует интеграция с CAD, CAM, CAPP и другими автоматизированными системами, что сказывается на качестве и скорости подбора инструмента;
5. Не маловажным фактором является то, что иностранные системы вместе с РИ перестали быть доступными в РФ.

В реальных условиях производственная практика показывает, что подбор РИ ведется методом ручного поиска из базы данных (БД). Иерархия в БД строится на основе таких признаков как фирма производитель или ГОСТ на режущий инструмент. Данное обстоятельство облегчает введение базы данных, но приводит к таким последствиям как:

- увеличение время на поиск РИ;
- избыточное множество РИ;
- дублирование информации;
- отсутствует возможность оперативного отслеживания изменений в БД.

На основе вышесказанного, можно констатировать, что на данный момент отсутствуют системы позволяющие производить поиск инструмента без непосредственного участия человека.

Данное обстоятельство во многом связано с отсутствием выявленных взаимосвязей между технологическими операциями и РИ, так как не определены и не формализованы параметры, на основе которых можно построить математическую модель выбора РИ [6].

В данной работе для создание автоматизированной системы подбора РИ (АСП РИ) предлагается выполнение следующих этапов:

1. Задание математической модели;
2. Определение универсальных данных и их формализация;

3. Разработка алгоритма подбора и оптимизации выбора РИ.

В качестве математической модели, используемой для автоматизации подбора инструмента предлагается использовать следующую функцию (1):

$$F(p_1, p_2 \dots p_n) = \{I_1, I_2 \dots I_n\}, \quad (1)$$

где F – функция подбора инструмента; p – параметры ТП, I – РИ.

Для функционирования математической модели параметры должны быть универсальны для всех видов обработки резанием, при этом их количество должно быть ограничено, и они должны быть извлечены непосредственно из ТП. Минимальная часть ТП, для которого определяется РИ является технологический переход, так как согласно ГОСТ 3.1109-82 «ЕСТД. Термины и определения основных понятий»: технологический переход – это законченная часть технологической операции, выполняемой одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке. Каждый технологический переход при обработке резанием характеризуется промежуточным припуском, т.е. припуском, удаляемым при выполнении одного перехода. Следовательно, классификация припусков, позволит построить на ее основе функциональную зависимость (1).

К свойствам припуска относятся: форма, размеры, твердость, шероховатость [7]. Данные параметры, кроме геометрической формы (ГФ), имеют цифровое представление, т.е. формализованы. Для формализации ГФ необходимо проанализировать ее частные случаи в зависимости от типа РИ и кинематической схемы резания. Результаты анализа наиболее часто применяемых РИ приведены в *табл. 1*.

На основе *табл. 1* можно сделать вывод что припуск по ГФ подразделяется на две группы: цилиндрической формы (ЦФ) и призматической формы (ПФ).

Необходимо проанализировать наличие дополнительных факторов, которые могут влиять или ограничивать выбор РИ. Для этого были рассмотрены следующие частные случаи:

1. Припуск может иметь как свободный доступ при обработке или быть ограниченным телом детали. Определим данный параметр как количество сопрягаемых поверхностей между припуском и деталью. На *рис. 1 и 2* показаны случаи, при котором припуск имеет в первом варианте сопряжение с одной, во втором – с тремя поверхностями детали.

Таблица 1

Анализ ГФ припуска в зависимости от РИ

№	РИ	Главное движение резания	Главное движение подачи	Форма припуска
1	Резец	Вращательное	Прямолинейное	Цилиндрическая
2	Фреза	Вращательное	Прямолинейное	Призматическая
3	Сверло	Вращательное	Прямолинейное	Цилиндрическая
4	Шлифовальный круг	Вращательное	Прямолинейное (плоское шлифование)	Призматическая
5		Вращательное	Вращательное + прямолинейное (круглое шлифование)	Цилиндрическая

При выборе токарного резца, данный параметр будет существенно влиять на геометрию режущей части.

2. На выбор РИ накладывает ограничение такой параметр припуска как: не параллельность плоскости припуска относительно оси вращения детали или базовой поверхности. Примеры для припусков ПФ и ЦФ представлены на рис. 3, 4. Угол α влияет на геометрию режущей и вспомогательных поверхностей РИ в зависимости от метода обработки.

3. Дополнительным фактором, влияющим на РИ, являются ограничение на подход инструмента не-

посредственно к зоне обработки, т.е. размер выступающей части детали или оснастки над припуском. Данный параметр влияет на требование к общей длине инструмента. Пример данного параметра «L» показан на рис. 5.

На основе приведенных частных случаев разработана сводная табл. 2. В нее также добавлены общие параметры как материал детали и метод обработки. Приведенные параметры будут использованы при построение классификации припусков с целью ее использования при для разработки АСП РИ.

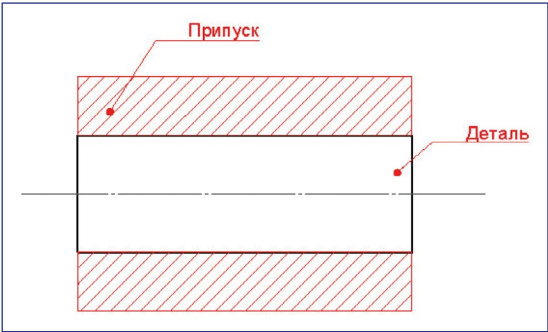


Рис. 1. Припуск и деталь имеют одну сопрягаемую плоскость

Источник: составлено авторами на основании анализа частных случаев припусков, удаляемых при обработке резанием

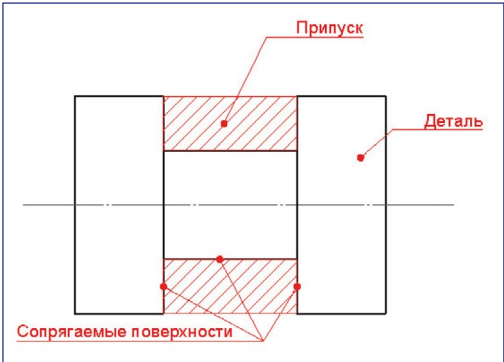


Рис. 2. Припуск и деталь имеют сопряжение по трем поверхностям

Источник: составлено авторами на основании анализа частных случаев припусков, удаляемых при обработке резанием

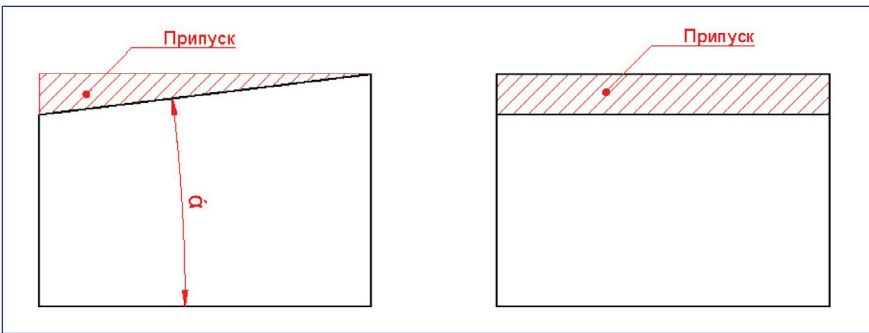


Рис. 3. Угол между плоскостью припуска и базовой плоскостью

Источник: составлено авторами на основании анализа частных случаев припусков, удаляемых при обработке резанием

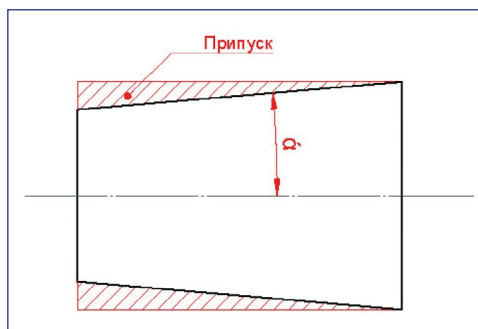


Рис. 4. Угол между плоскостью припуска и осью вращения детали

Источник: составлено авторами на основании анализа частных случаев припусков, удаляемых при обработке резанием

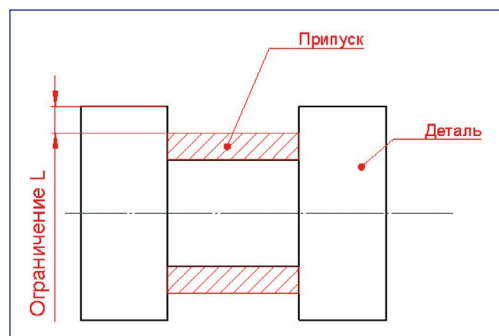


Рис. 5. Ограничение на подход инструмента L

Источник: составлено авторами на основании анализа частных случаев припусков, удаляемых при обработке резанием

Таблица 2

Параметры классификации припусков при механической обработке

№	Параметр	Значение
1	Геометрическая форма	ЦФ / ГФ
2	Размеры	Габаритные размеры, мм
3	Твердость	НВ / HRA
4	Шероховатость	Ra
5	Количество сопрягаемых поверхностей	От 1 до 5
6	Угловое отклонение	Угол α
7	Ограничение на подход инструмента	L, мм
8	Материал	Классификация в соответствии с ISO
9	Метод обработки	Токарный / фрезерный и т.п.

Источник: составлено авторами на основании приведенных частных случаев припуска

В данной классификации приведены параметры, которые будут использованы для вычисления функции (1), в результате вычисления которой могут быть получены следующие варианты:

1. Отсутствует РИ с требуемыми технологическими характеристиками. Необходимо либо расширять БД соответствующим РИ, либо корректировать ТП и удаляемый припуск на конкретном переходе.

2. Определен только один инструмент, подходящий для данного перехода, который будет использоваться при обработке детали.

3. Определены несколько инструментов, подходящих для данного перехода. Это связано с тем, что практически любой припуск, не обладающий уникальными характеристиками возможно удалять различным РИ. Для наиболее подходящего варианта в конкретных производственных условиях не-

обходимо применение этапа оптимизации. Для его реализации предлагается следующая функция (2):

$$S(F(p_1, p_2 \dots p_n); K) = I, \quad (2)$$

где $S()$ – функция оптимизации; K – параметры оптимизации.

Набор параметров оптимизации включает:

- ограничения на использование РИ;
- критерий оптимизации (минимизация времени или стоимости обработки).

На рис. 6 представлен алгоритм функционирования АСП РИ.

Представленный алгоритм позволит подобрать в автоматизированном режиме наиболее подходящий в заданных условиях инструмент. При этом из данного алгоритма следует, что для его функ-

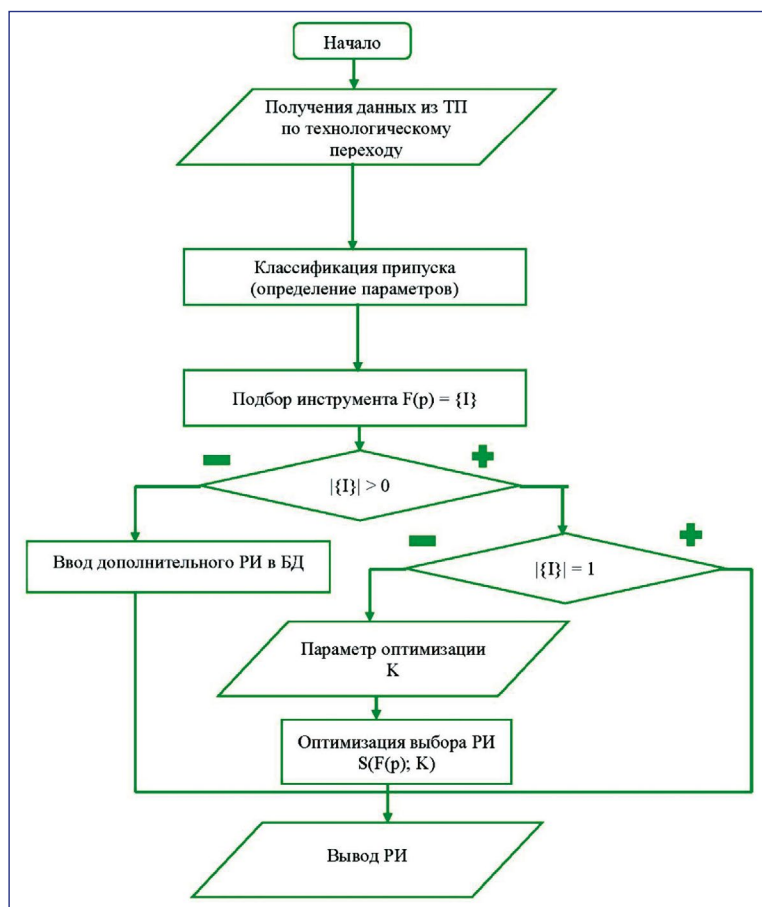


Рис. 6. Алгоритм АСП РИ

Источник: составлено авторами на основании анализа различных вариантов решения функции автоматического подбора режущего инструмента

ционирования необходимо, чтобы АСП РИ взаимодействовала с БД РИ для поиска инструмента, с производственной системой (MES) для получения параметров оптимизации и с системой разработки ТП (CAPP) для получения исходных данных.

Выводы

В данной работе показана возможность использование классификации технологических припусков как основы автоматизированной системы подбора режущего инструмента. Данная система позволит без участия человека на основе данных из ТП производить подбор РИ, а учет параметров оптимизации позволит делать выбор исходя из текущих производственных условий. Реализация данного подхода потребует дальнейшего методического обеспечения, в части определение взаимосвязи между группами технологическими параметрами припусков и применяемым инструментом, формирование структуры БД РИ и моделирование взаимосвязей между автоматизированными системами, используемыми при подготовке производства.

Библиографический список

1. Базров Б.М. Системный подход применения видов технологии // Научные технологии машиностроения. – 2022. – № 7 (133). – С. 27–32.
2. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. Т. 1. Организация группового производства. – Л.: Машиностроение, 1983. – 407 с.
3. Крылов Е.Г., Козловцева Н.В., Литвинцева В.В., Дун Ю.Ю. Качество функционирования режущего инструмента. Способы и средства обеспечения // Перспективы развития информационных технологий. – 2014. – № 17.
4. Фатхутдинов Р.А. Организация производства: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 544 с.
5. The problems of rational selection of tool management systems on CNC machines / E.G. Krylov, N.V. Kozlovtsseva, A.B. Mishkevich & V.V. Litvinzeva // Technical Sciences: Modern Issues and Development Prospects: International Conference, December 10, 2013.
6. Юдин Д.В., Феофанов А.Н. Формализация припуска, припуска, удаляемого при обработке реза-

нием, для решения задачи автоматизации разработки технологического процесса // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2024. – № 3. (25). – С. 27-33.

7. ГОСТ 3.1109-82 «ЕСТД. Термины и определения основных понятий»: дата введения 1983-01-01. – Москва: Стандартиформ, 2012. – 15 с.

8. Лонтев А.Д., Гуцин И.Ф., Батуев В.А. и др. Общемашиностроительные нормативы режимов резания / В 2 т. Т. 2. – М.: Машиностроение, 1991. – 640 с.

References

1. Bazrov B.M. A systematic approach to the application of types of technology. *High-tech technologies of mechanical engineering*. 2022. № 7 (133). P. 27–32.

2. Mitrofanov S.P. Group technology of machine-building production. Vol. 1. Organization of group production. L.: Mashinostroenie, 1983– 407 p.

3. Krylov E.G., Kozlovtsseva N.V., Litvintseva V.V., Dong Yu.Y. The quality of the cutting tool functioning.

Ways and means of ensuring. *Prospects for the development of information technology*. 2014. No. 17.

4. Fatkhutdinov R.A. Organization of production: textbook. Moscow: INFRA-M, 2007. 544 p.

5. The problems of rational selection of tool management systems on CNC machines / E.G. Krylov, N.V. Kozlovtsseva, A.B. Mishkevich & V.V. Litvinzeva // Technical Sciences: Modern Issues and Development Prospects: International Conference, December 10, 2013.

6. Yudin D.V., Feofanov A.N. Formalization of an allowance, an allowance removed during cutting, to solve the problem of automating the development of a technological process. *Automation and modeling in design and management*. 2024. № 3. (25). P. 27–33.

7. GOST 3.1109-82 “ESTD. Terms and definitions of basic concepts”: date of introduction 1983-01-01. – Moscow: Standartinform, 2012. – 15 p.

8. Lontev A.D., Guschin I.F., Batuev V.A. and others. General machine-building standards of cutting modes. In 2 volumes. Vol. 2. M.: Mashinostroenie, 1991. 640 p.

Информация об авторах

Юдин Денис Владимирович – аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
udindv@mail.ru

Феофанов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инженерной графики, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
feofanov.fan1@yandex.ru

Information about the authors

Yudin Denis Vladimirovich – postgraduate student at the sub-department of “Automated Information Processing and Management Systems”, MSUT “STANKIN”
udindv@mail.ru

Feofanov Aleksandr Nikolaevich – D.Sc. of Engineering, Full Professor, Professor at the sub-department of “Engineering Graphics”, MSUT “STANKIN”
feofanov.fan1@yandex.ru

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации и заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors made equivalent contributions to the publication and declare no conflict of interest.