

УДК 621.923

doi: 10.21685/2072-3059-2025-1-10

Распределение припуска в зоне обработки на операциях проходного бесцентрового шлифования

П. В. Малинин¹, П. Ю. Бочкарев², И. И. Артемов³

^{1,2}Камышинский технологический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета, Камышин, Россия

²Саратовский государственный университет генетики,

биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия

³Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹mpv92@yandex.ru, ²bpy@mail.ru, ³artemov@pnzgu.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Применение метода бесцентрового шлифования, несмотря на его высокую эффективность, сопряжено с определенными трудностями, обусловленными отсутствием четко сформулированной и нормативно закреплённой методологии проектирования и реализации операционных технологий. *Материалы и методы.* Исследования, проведенные на основе теоретических и практических обоснований, разработанных моделей технологической подготовки операций проходного бесцентрового шлифования, научно подтверждают необходимость тщательного анализа условий и ограничений, присущих данному методу обработки, при определении величин припусков. Проектные процедуры, связанные с определением величины припуска, требуют расширения традиционного информационного обеспечения, а также корректировки и дополнения известных методик в ходе разработки технологии. Разработанные зависимости, связывающие параметры настройки с характеристиками рабочей зоны и реальным состоянием технологической системы, позволяют провести такой анализ во всех сечениях зоны обработки. *Результаты.* Выявлены причинно-следственные связи, которые определяют, как величина припуска влияет на динамику обработки в разных частях рабочей зоны. На основе этих связей были созданы методические, алгоритмические и программные инструменты для определения припуска как части технологической подготовки операций проходного бесцентрового шлифования. *Выводы.* Интегральный подход к рассмотрению этой проблемы служит основой для создания комплексной системы проектирования, которая включает в себя все этапы разработки и управления технологическими процессами бесцентрового шлифования, а также их автоматизацию.

Ключевые слова: технологическая подготовка механообрабатывающих производств, проходное бесцентровое шлифование, припуск на механическую обработку, условие силового замыкания, наладка оборудования, режимы обработки

Для цитирования: Малинин П. В., Бочкарев П. Ю., Артемов И. И. Распределение припуска в зоне обработки на операциях проходного бесцентрового шлифования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2025. № 1. С. 117–131. doi: 10.21685/2072-3059-2025-1-10

Allocation of allowances in the processing area for operations continuous centerless grinding

P.V. Malinin¹, P.Yu. Bochkarev², I.I. Artemov³

^{1,2}Kamyshin Technological Institute, branch of
Volgograd State Technical University, Kamyshin, Russia
²Saratov State University of Genetics, Biotechnology
and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia
³Penza State University, Penza, Russia
¹mpv92@yandex.ru, ²bpy@mail.ru, ³artemov@pnzgu.ru

Abstract. *Background.* The application of the centerless grinding method, despite its high efficiency, is fraught with certain difficulties due to the lack of a clearly formulated and normatively fixed methodology for designing and implementing operational technologies. *Materials and methods.* Research conducted on the basis of theoretical and practical justifications, developed models of technological preparation of through-hole centerless grinding operations, scientifically confirm the need for a thorough analysis of the conditions and limitations inherent in this processing method when determining the values of allowances. Design procedures related to the determination of the tolerance value require the expansion of traditional information support, as well as adjustments and additions to well-known techniques during technology development. The developed dependencies linking the settings with the characteristics of the working area and the actual state of the technological system allow such an analysis to be carried out in all sections of the processing area. *Results.* Causal relationships have been identified that determine how the amount of the allowance affects the dynamics of processing in different parts of the work area. Based on these connections, methodological, algorithmic and software tools were created to determine the allowance as part of the technological preparation of through-centerless grinding operations. *Conclusions.* Causal relationships have been identified that determine how the amount of the allowance affects the dynamics of processing in different parts of the work area. Based on these connections, methodological, algorithmic and software tools were created to determine the allowance as part of the technological preparation of through-centerless grinding operations.

Keywords: technological preparation of machining industries, continuous centerless grinding, allowance for machining, power circuit condition, equipment adjustment, processing modes

For citation: Malinin P.V., Bochkarev P.Yu., Artemov I.I. Allocation of allowances in the processing area for operations continuous centerless grinding. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2025;(1):117–131. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3059-2025-1-10

Введение

Обработка открытых цилиндрических поверхностей как конструктивных элементов деталей типа тел вращения с использованием проходного бесцентрового шлифования представляет собой эффективный и высокоточный процесс [1–3]. Однако применение этого метода в различных отраслях промышленности затруднено из-за отсутствия четко определенной и нормативно регламентируемой методологии проектирования и реализации операционных технологических процессов.

Эксплуатация существующих и создание новых современных производств, основанных на применении бесцентрового продольного шлифования, обладающих расширенными функциональными возможностями, не представляется возможным без устранения существующих ограничений, связанных с вопросами настройки оборудования и управления производственными процессами. Необходимость разработки научно обоснованного подхода и серьезного усовершенствования методических принципов технологической

подготовки [4–6] с акцентом на минимизацию субъективного фактора при выполнении проектных и наладочных работ является насущной потребностью. В связи с этим необходим детальный анализ всех особенностей различных вариантов обработки методом проходного бесцентрового шлифования, которые различаются по условиям реализации и выполнения формализованного описания взаимосвязанных функциональных действий в течение выполнения процесса обработки.

Выполненная структурная классификация методов продольного бесцентрового шлифования [7, 8], включающая группирование процедур отдельных этапов технологического обеспечения на основе критерия однородности проектных процедур, позволила сформировать требования к необходимому информационному обеспечению и создать структурную внутригрупповую унификацию технологической подготовки операций. Результаты кластерного анализа способов обработки, полученные в ходе исследования, а также анализ существующих теоретических работ и сложившейся практики их применения в производственных процессах, подтвержденный проведенными авторами исследованиями [9, 10], указывают на необходимость разработки комплексных решений, которые могут стать основой для автоматизации всего цикла создания и реализации технологических операций проходного бесцентрового шлифования.

Материалы и методы

Ключевым аспектом проведения подобных исследований становится детальный анализ и описание сложных взаимодействий между элементами технологической системы и обрабатываемой деталью на всех этапах процесса обработки в рабочей зоне. При определении технологических режимов необходимо учитывать не только пространственные связи в местах обработки и контактов, но и силовые взаимодействия между этими элементами. Одним из определяющих факторов, влияющих на учет этих взаимосвязей, является величина припуска, назначаемого на технологический переход, а также его распределение в процессе обработки в различных областях сечений рабочей зоны.

Механизм распределения величины снимаемого в рамках одного перехода припуска в зоне обработки для операций бесцентрового шлифования имеет принципиальное отличие от других методов обработки. Динамично изменяющиеся размер обрабатываемой поверхности и места ее контакта с элементами технологической оснастки являются следствием изменения относительного позиционирования детали в координатной системе станка. Данный фактор, кроме чисто геометрического обоснования непостоянства величины припуска, является предпосылкой изменения возникающих в процессе обработки сил. Происходит постоянное перестроение силовой схемы контактов как по их направлению, так и величинам, что выступает причиной изменения интенсивности взаимодействия абразивного круга с обрабатываемой поверхностью. Приведенные обоснования подтверждают сложный характер разделения общего припуска технологического перехода по зонам обработки при выполнении операций бесцентрового шлифования.

Подкреплением теоретических выводов являются исследования практического плана, базирующихся на результатах изучения опыта наладчиков оборудования. Подтверждена неравномерность износа абразивных кругов по длине обработки в условиях серийного производства, что является следстви-

ем неравномерности распределения припуска в различных сечениях рабочей зоны обработки.

Разработка модели для определения распределения припуска в зоне обработки требует наличия дополнительной информации по сравнению с традиционными методами. Эти данные формируются на основе методик, описанных авторами в работах [11, 12]. На примере изготовления деталей на станках модели Sasl 200*500 в условиях производства АО «ЕПК Саратов» (подшипника 6-170314Ш1.01 ГОСТ 520–2011), представлены графики результатов расчетов, которые подтверждают динамический характер изменения составляющих параметров и возможность их учета.

Влияние реальных размерных характеристик шлифовального и ведущего кругов, действительного размера заготовки обрабатываемой поверхности на установление расчетных наладочных параметров представлены на рис. 1, 2.

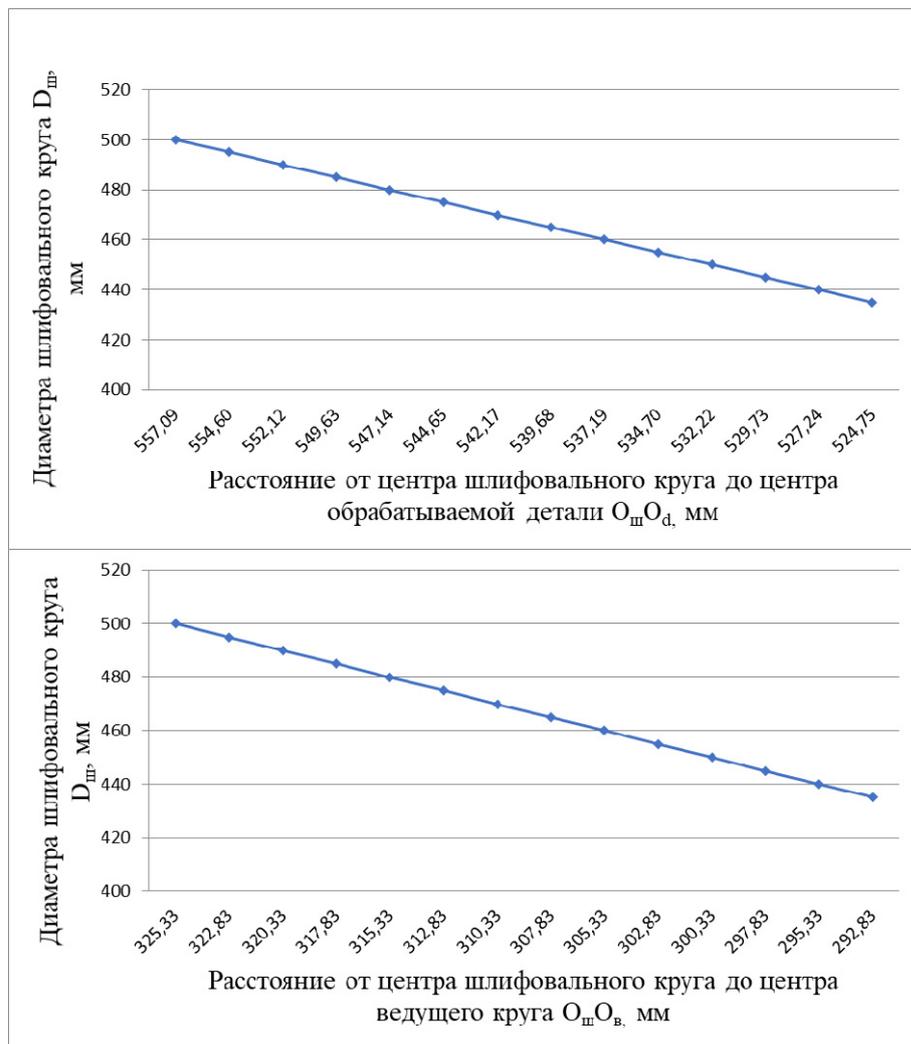


Рис. 1. Влияние изменения реального диаметра шлифовального круга $D_{ш}$ в допустимом диапазоне значений на величины расстояний: от центра шлифовального круга до центров обрабатываемой детали $O_{ш}O_d$ и ведущего круга $O_{ш}O_b$

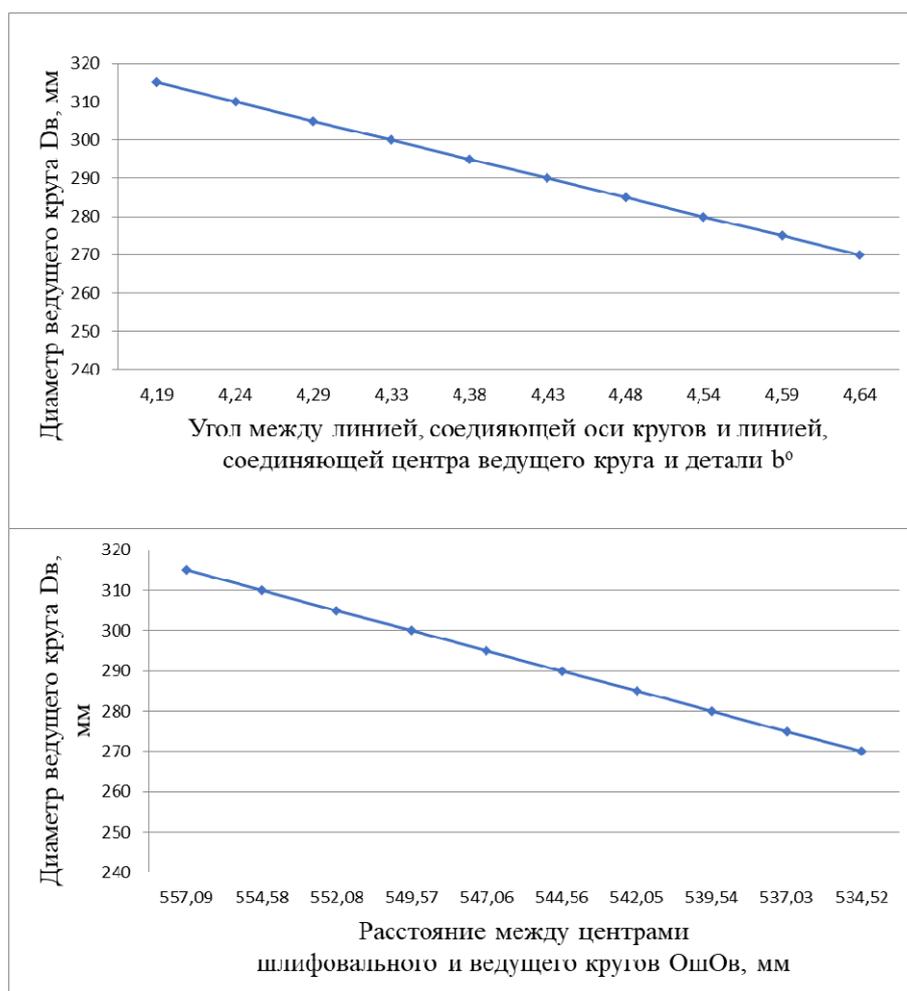


Рис. 2. Влияние изменения реального диаметра ведущего круга D_v в допустимом диапазоне значений на величины угла между линиями, соединяющими оси кругов, и центров ведущего круга и обрабатываемой детали b° ; расстояния от центра шлифовального круга до центра ведущего круга $O_{ш}O_v$

Полученные результаты демонстрируют, что уже на этапе настройки оборудования, когда оси шлифовального и ведущего кругов расположены на одной горизонтальной линии, реальные размеры кругов в установленных технологических пределах оказывают значительное влияние на ориентацию детали в пространстве и расположение мест контакта обрабатываемой поверхности с элементами технологической системы. Эти факторы напрямую связаны с выполнением требования силового замыкания и, соответственно, назначением величины припуска.

Другой группой факторов, которые необходимо учитывать при назначении величины припуска, являются изменения взаимосвязанных параметров реализации технологической операции проходного шлифования в различных сечениях рабочей зоны, обусловленных наклоном ведущего круга в вертикальном сечении и размерными характеристиками самой рабочей зоны. Результаты выполненного анализа изменения расстояний между центрами

шлифовального и ведущего кругов $O_{ш}O_{вi}$, центром обрабатываемой детали и точкой пересечения с опорной плоскостью установочного ножа в вертикальной плоскости $O_{дi}Q_i$, в сечениях, отстоящих от сечения, в котором производилась наладка станка в горизонтальной плоскости (L_i), представлены на рис. 3.

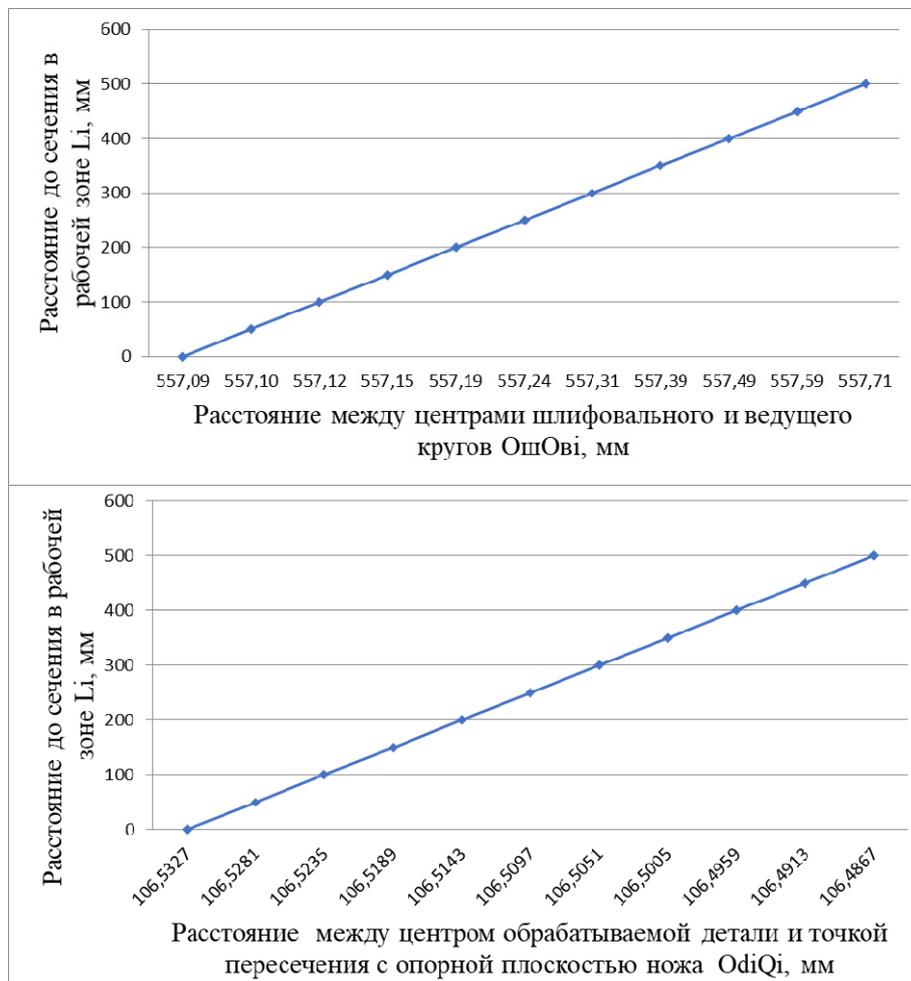


Рис. 3. Изменение в сечениях рабочей зоны (i) расстояний между: центрами шлифовального и ведущего кругов $O_{ш}O_{вi}$; центром обрабатываемой детали и точкой пересечения с опорной плоскостью установочного ножа в вертикальной плоскости $O_{дi}Q_i$

Координаты мест контактов обрабатываемой поверхности с элементами технологической оснастки определялись с использованием моделей [13], позволяющих учитывать реальные размеры кругов, рабочей зоны и заготовки (А – со шлифовальным кругом, В – с ведущим кругом, Р – с опорной установочной поверхностью) рис. 4–6.

Характерной чертой метода проходного бесцентрового шлифования, которую необходимо учитывать при разработке проектных процедур, связанных с определением припусков, является непостоянное положение центра оси обрабатываемой поверхности в различных сечениях рабочей зоны отно-

сительно фиксированных координат элементов станка. На положение центра оси влияют как жесткость самой технологической системы, так и особенности схемы метода обработки. На рис. 7 представлены изменения в сечениях рабочей зоны (i) координат центра обрабатываемой поверхности.

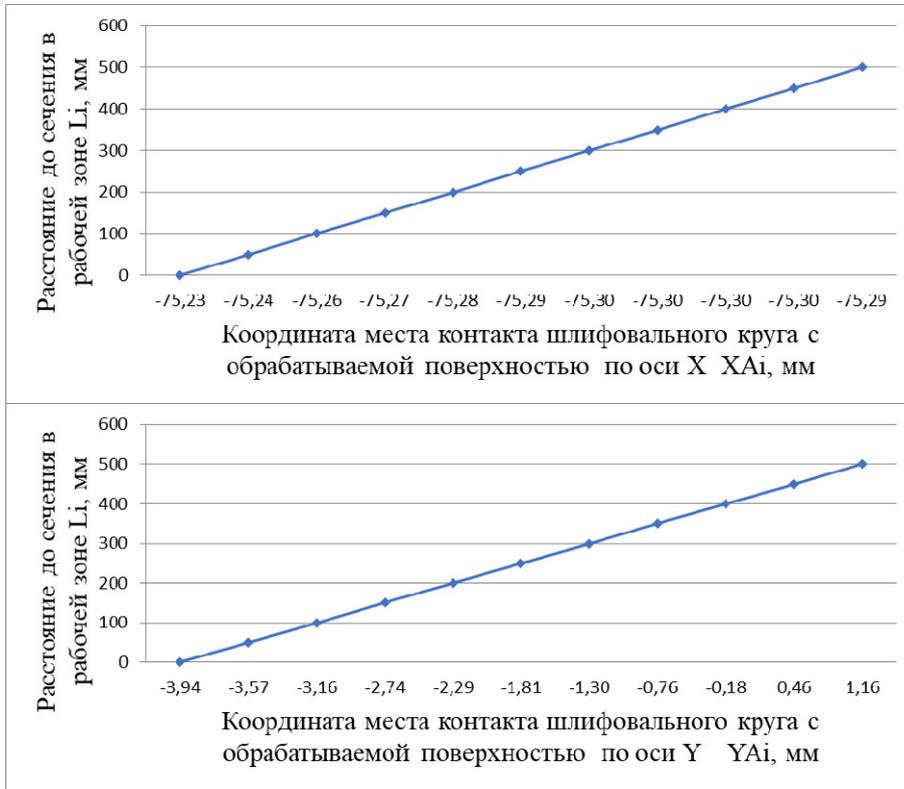


Рис. 4. Изменение в сечениях рабочей зоны (i) координат мест контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью

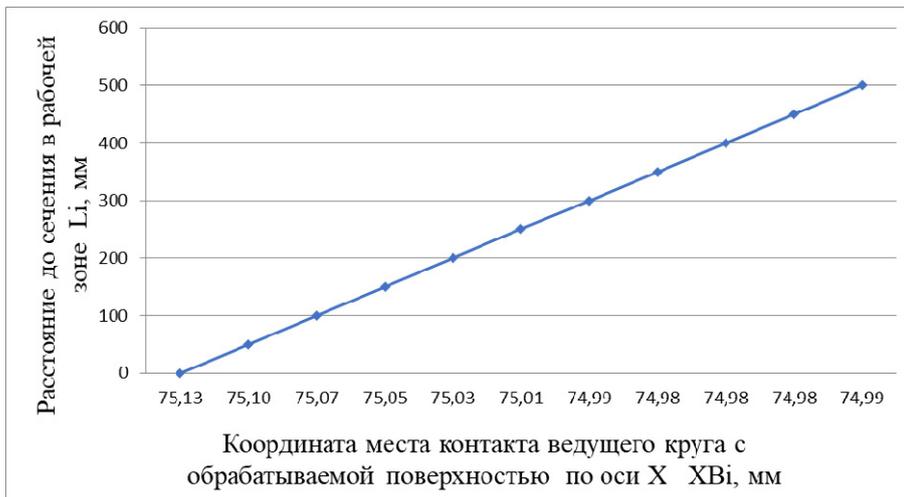


Рис. 5. Изменение в сечениях рабочей зоны (i) координат мест контакта ведущего круга с обрабатываемой поверхностью (начало)

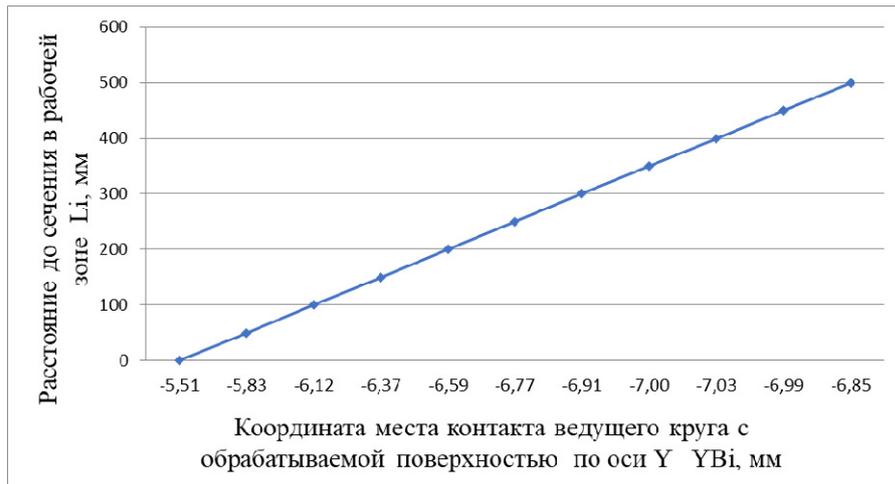


Рис. 5. Окончание

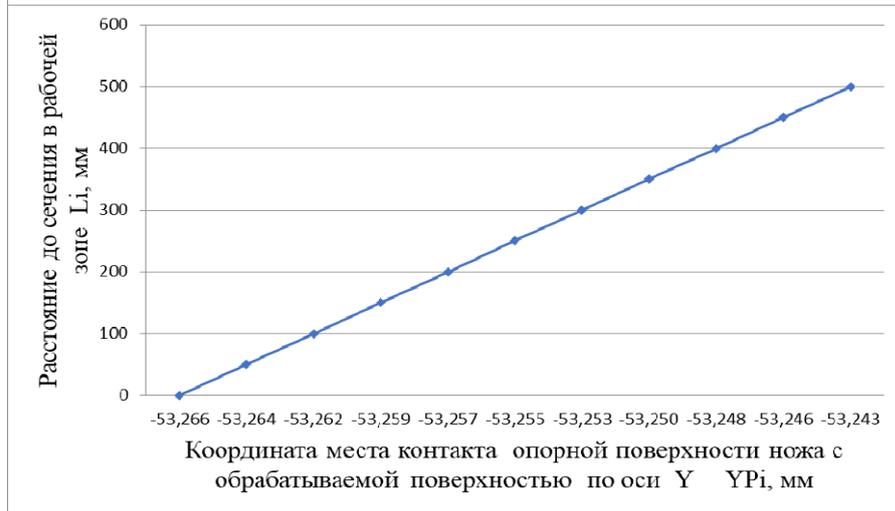
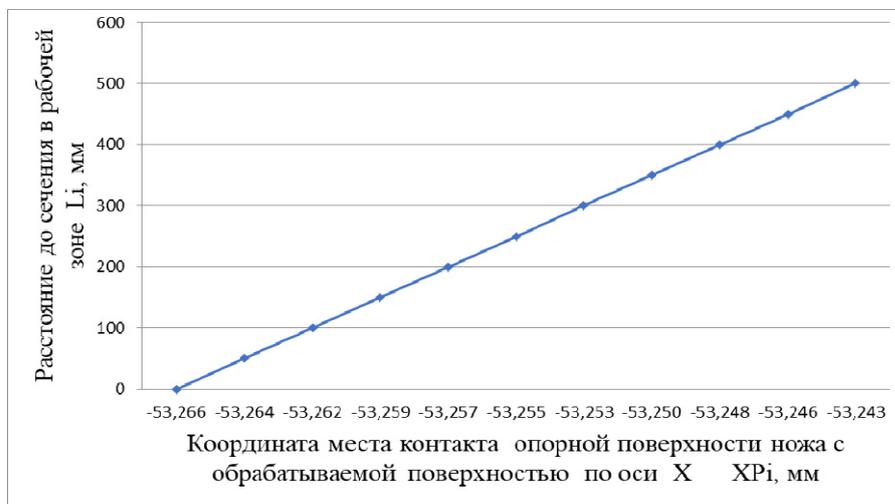


Рис. 6. Изменение в сечениях рабочей зоны (i) координат мест контакта обрабатываемой поверхности с опорной плоскостью установочного ножа

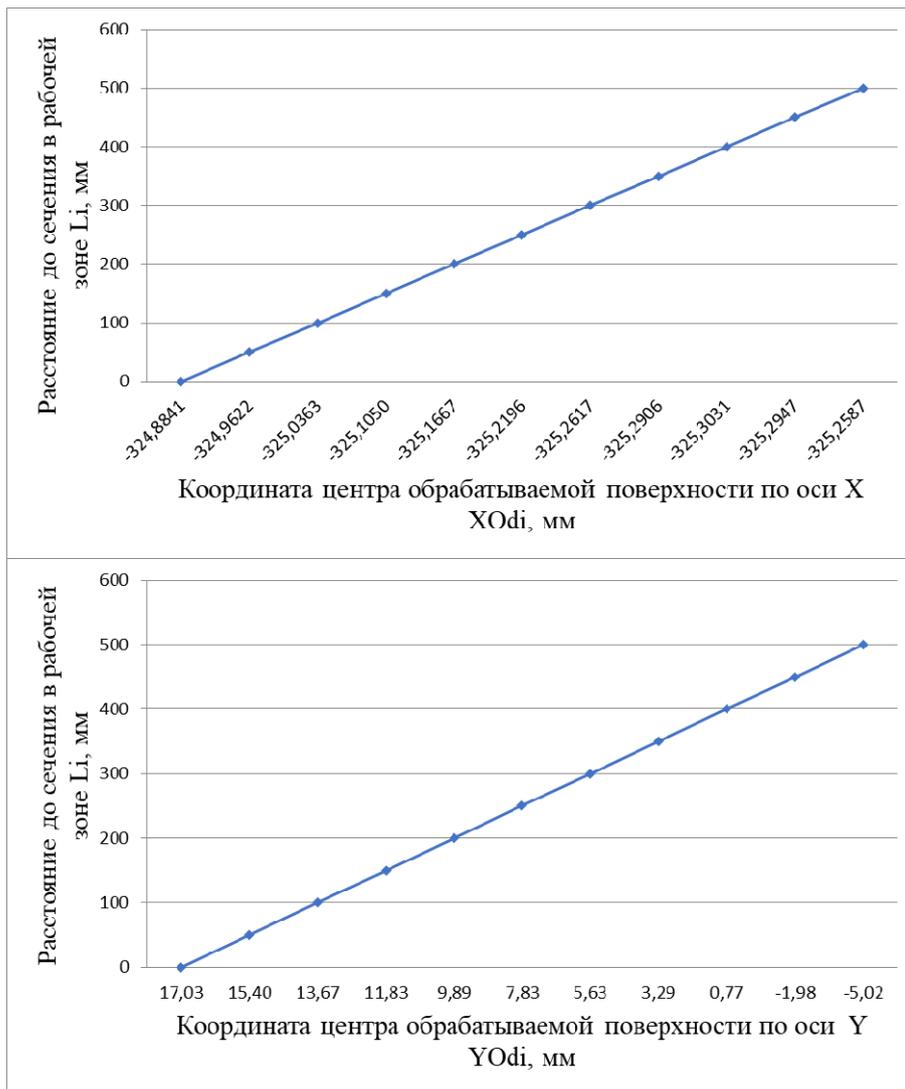


Рис. 7. Изменение в сечениях рабочей зоны (i) координат центра обрабатываемой поверхности

Таким образом, при продольном бесцентровом шлифовании припуск, как один из параметров, определяющих режимы резания, оказывает специфическое влияние, что требует разработки дополнительных проектных процедур при технологической подготовке операций.

Наклон ведущего круга в вертикальной плоскости является причиной образования мест контакта обрабатываемой поверхности с ведущим кругом в рабочей зоне обработки в форме однополостного гиперboloида. При расположении горловины гиперboloида в сечении рабочей зоны в плоскости, проходящей через центры кругов параллельно оси детали, одновременно являющейся плоскостью, в которой выполняется наладка технологической операции, координаты и параметры кривой контактов определялись на базе известных зависимостей [14, 15]:

$$\frac{y^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1,$$

где y – координата вдоль горизонтальной оси зоны обработки; x – координата вдоль вертикальной оси зоны обработки; $a = \frac{D_B}{2 \sin \alpha}$; $b = \frac{D_B}{2}$; D_B – реальный диаметр ведущего круга (мм); α° – угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости.

В i -м сечении зоны обработки $\Delta_{i D_B} = \frac{D_B}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D_B^2 - L_i^2 (\operatorname{tg} \alpha)^2}$, L_i – расстояние от сечения наладки до i -го сечения рабочей зоны (мм).

Наиболее объективным параметром, отражающим взаимосвязь между размером обрабатываемой поверхности и размерными характеристиками элементов технологического оборудования во всем пространстве рабочей зоны, является расстояние между центрами шлифовального и ведущего кругов. Установление зависимости между этим параметром и величиной припуска в сечениях зоны обработки выполнено в следующем виде:

$$M_i^2 = M^2 + \left(\frac{L_i}{\cos \alpha} \sin \alpha \right)^2; L_i \operatorname{tg} \alpha = \sqrt{M_i^2 - M^2}; L_i = \frac{\sqrt{M_i^2 - M^2}}{\operatorname{tg} \alpha},$$

где M_i – расстояние между центрами шлифовального и ведущего кругов в i -м сечении рабочей зоны (мм); M – расстояние между центрами шлифовального и ведущего кругов в сечении наладки (мм);

$$\frac{\partial t_i}{\partial L_i} = \frac{d_3 - d_d}{L};$$

$$\int_0^{t_i} dt = \int_0^{L_i} \frac{d_3 - d_i}{L} dl; \int_{t_{i-1}}^{t_i} dt = \int_{L_{i-1}}^{L_i} \frac{d_{i-1} - d_i}{L} dl,$$

здесь L – общая длина рабочей зоны обработки (высота шлифовального круга) (мм); d_3 – диаметр заготовки обрабатываемой поверхности (перед выполнением перехода) (мм); d_d – диаметр обработанной поверхности (после выполнения перехода) (мм); t_i – величина припуска в i -м сечении рабочей зоны (мм).

Полученные выражения позволяют наряду с установлением величины припуска в конкретном сечении рассчитать объем припуска, удаленного при обработке детали от начала процесса шлифования до этого сечения или между сечениями в рабочей зоне, что обеспечивает получение исходных данных для расчета действующих в местах контакта сил и выбора режимов обработки.

Назначение величины припуска и ее распределение в зоне обработки на протяжении всего выполнения технологического перехода не могут ограничиваться только приведенными выше условиями [16]. В отличие от других методов механической обработки цилиндрических поверхностей, кроме основополагающего принципа учета технологической наследственности, при

проходном бесцентровом шлифовании необходимо учитывать ряд других важных факторов: возможность перемещения детали даже в рамках одного оборота при снятии припуска с определенной части поверхности; непостоянство глубины резания; влияние припуска на выполнение требования силового замыкания [17]. Таким образом, изменение величины припуска разнонаправлено влияет на перечисленные обстоятельства и расчет припуска необходимо вести комплексно с учетом всех факторов.

На рис. 8 представлена общая блок-схема расчета составляющих припуска в рабочей зоне обработки, учитывающая все перечисленные особенности технологической подготовки операции проходного бесцентрового шлифования. Применяя итерационный подход, можно проанализировать сгенерированные сочетания наладочных параметров с учетом реальных размеров шлифовального и ведущего кругов, а также вариантов назначения величины припуска.

Методическое содержание последовательности выполнения расчета составляющих припуска в рабочей зоне обработки предоставляет возможность, регулируя назначением количества сечений, учитывать такую размерную характеристику обрабатываемой поверхности, как ее длина, и ее влияние на относительную ориентацию детали на протяжении всего процесса обработки.

Результаты

Проведенные исследования, основанные на представленных теоретических и практических обоснованиях, а также ранее разработанных моделях технологической подготовки операций проходного бесцентрового шлифования, убедительно демонстрируют необходимость анализа условий и ограничений, специфичных для данного метода обработки, при назначении величин припусков. Разработанные зависимости, связывающие наладочные параметры с размерами рабочей зоны и реальным состоянием технологической системы, позволяют проводить такой анализ во всех сечениях зоны обработки.

Заключение

Реализация процедуры проектирования, связанной с определением величины припуска, как одного из ключевых параметров режимов обработки при выполнении операций проходного бесцентрового шлифования, требует тщательного анализа и учета множества факторов. Необходимо обеспечить заданные качественные характеристики обрабатываемой поверхности, опираясь на принципы управления технологической наследственностью. Кроме того, следует принимать во внимание влияние компоновочных решений станочного оборудования на степень жесткости системы. Для успешного выполнения этих задач требуется расширение информационного обеспечения, а также корректировка и дополнение в принятии отдельных решений в процессе разработки технологии.

Сформулированы причинно-следственные связи, определяющие влияние величины припуска на динамический характер обработки на различных участках рабочей зоны при выполнении данного вида обработки. На основе этих связей разработаны методическое, алгоритмическое и программное обеспечение для определения припуска как этапа технологической подготовки операции.

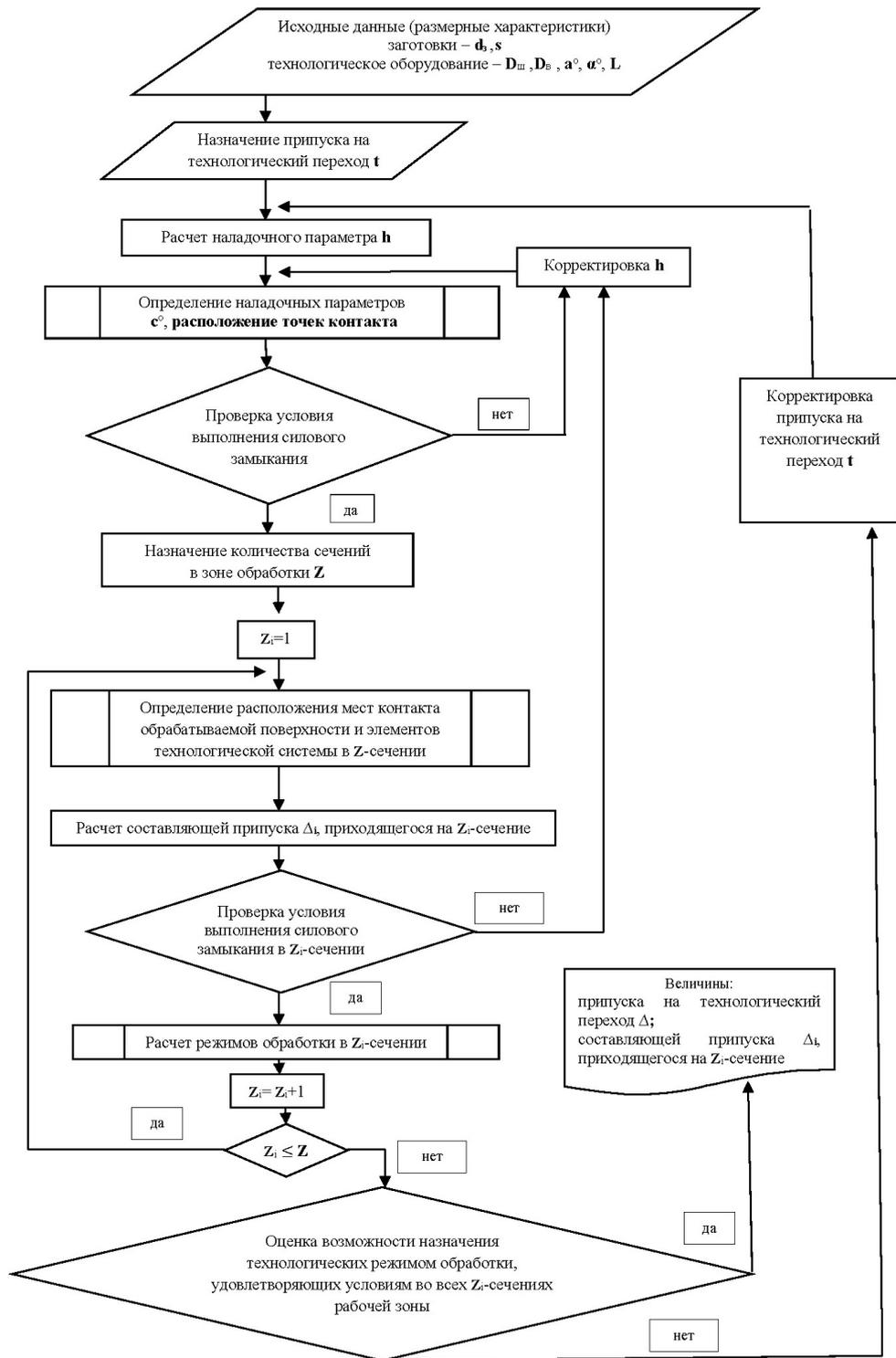


Рис. 8. Блок-схема расчета составляющих припуска в рабочей зоне обработки

Итерационный подход к созданию модели позволил генерировать варианты наладочных параметров с учетом реального состояния оборудования и

средств технологического оснащения, а также взаимного пространственного расположения обрабатываемой детали и компонентов системы в течение всего процесса обработки. Комплексный принцип рассмотрения данной проблемы создает условия для формирования полноценной системы проектирования, описывающей все аспекты процесса разработки и управления технологическими процессами проходного бесцентрового шлифования и их автоматизации.

Список литературы

1. Справочник технолога / под общ. ред. А. Г. Сулова. М. : Инновационное машиностроение, 2019. 800 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1986. Т. 2. 496 с.
3. Безъязычный В. Ф. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов. М. : Машиностроение, 2013. 568 с.
4. Прохоров А. Ф., Константинов К. Н., Волков Л. П. Наладка и эксплуатация бесцентровых шлифовальных станков. М. : Машиностроение, 1976. 192 с.
5. Филькин В. П., Колтунов И. Б. Прогрессивные методы бесцентрового шлифования. М. : Машиностроение, 1971. 204 с.
6. Муцянюк В. И., Братчиков А. Я. Бесцентровое шлифование. Л. : Машиностроение, 1986. 96 с.
7. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю. Структуризация способов бесцентрового шлифования с использованием кластерного анализа // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2022. № 8. С. 36–39.
8. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю. Группирование по технологическим признакам операций продольного бесцентрового шлифования // Воронежский научно-технический вестник. 2024. Т. 1 (470). С. 61–69.
9. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю., Ульянова Л. Д., Шалунов В. В. Совершенствование технологической подготовки операций бесцентрового шлифования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2022. № 4. С. 147–160.
10. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю., Артемов И. И., Гончаров М. О. Определения наладочных параметров операций проходного бесцентрового шлифования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 3. С. 144–153.
11. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю., Артемов И. И., Гончаров М. О. Взаимосвязанность сил при проходном бесцентровом шлифовании // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 4. С. 149–159.
12. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю. Снижение трудоемкости наладки операций проходного бесцентрового шлифования // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2024. № 8 (291). С. 21–30.
13. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю., Артемов И. И., Гончаров М. О. Обоснование параметров наладки операций проходного бесцентрового шлифования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2024. № 3. С. 142–156.
14. Слонимский В. И. Теория и практика бесцентрового шлифования. Л. : Машгиз, 1952. 283 с.
15. Ашкиназий Я. М. Бесцентровые шлифовальные станки. Конструкции, обработка и правка. М. : Машиностроение, 2003. 352 с.
16. Митин С. Г., Бочкарев П. Ю. Разработка моделей и методик автоматизации проектных процедур для проектирования технологических операций со сложной структурой // Автоматизация в промышленности. 2018. № 2. С. 45–51.

17. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю., Артемов И. И. Оценка условия силового замыкания при наладке операций проходного бесцентрового шлифования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2024. № 4. С. 109–117.

References

1. Suslov A.G. (ed.). *Spravochnik tekhnologa = Technologist's Handbook*. Moscow: Innovatsionnoe mashi-nostroenie, 2019:800. (In Russ.)
2. Kosilova A.G., Meshcheryakov R.K. (eds.). *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya: v 2 t. 4-e izd., pererab. i dop. = Handbook of a mechanical engineer: in 2 volumes. The 4th edition, revised and supplemented*. Moscow: Mashinostroenie, 1986;2:496. (In Russ.)
3. Bez'yazychnyy V.F. *Osnovy tekhnologii mashinostroeniya: uchebnik dlya vuzov = Fundamentals of mechanical engineering technology: textbook for universities*. Moscow: Mashinostroenie, 2013:568. (In Russ.)
4. Prokhorov A.F., Konstantinov K.N., Volkov L.P. *Naladka i ekspluatatsiya bes-tsentrovyykh shlifoval'nykh stankov = Adjustment and operation of centerless grinding machines*. Moscow: Mashinostroenie, 1976:192. (In Russ.)
5. Fil'kin V.P., Koltunov I.B. *Progressivnyye metody bescentrovogo shlifovaniya = Progressive methods of centerless grinding*. Moscow : Mashinostroenie, 1971:204. (In Russ.)
6. Mutsyanko V.I., Bratchikov A.Ya. *Bestsentrovoye shlifovanie = Centerless grinding*. Leningrad: Mashinostroenie, 1986:96. (In Russ.)
7. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu. Structuring of centerless grinding methods using cluster analysis. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Volgograd Technical University*. 2022;(8):36–39. (In Russ.)
8. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu. Grouping of longitudinal centerless grinding operations according to technological characteristics. *Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskiiy vestnik = Voronezh scientific and technical bulletin*. 2024;1(470):61–69. (In Russ.)
9. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu., Ul'yanova L.D., Shalunov V.V. Improving the technological preparation of the centerless grinding operation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskiiye nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2022;(4):147–160. (In Russ.)
10. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu., Artemov I.I., Goncharov M.O. Definition of setup parameters for centerless through-feed grinding operation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskiiye nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2023;(3):144–153. (In Russ.)
11. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu., Artemov I.I., Goncharov M.O. Interrelation of forces in continuous centerless grinding. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskiiye nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2023;(4):149–159. (In Russ.)
12. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu. Reducing the labor intensity of setting up centerless grinding operations. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Volgograd Technical University*. 2024;(8):21–30. (In Russ.)
13. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu., Artemov I.I., Goncharov M.O. Justification of the parameters for setting up centerless grinding operations. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskiiye nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2024;(3):142–156. (In Russ.)
14. Slonimskiy V.I. *Teoriya i praktika bescentrovogo shlifovaniya = Theory and practice of centerless grinding*. Leningrad: Mashgiz, 1952:283. (In Russ.)
15. Ashkinazyi Ya.M. *Bestsentrovyye shlifoval'nyye stanki. Konstruktsii, obrabotka i pravka = Centerless grinding machines. Design, processing and dressing*. Moscow: Mashinostroenie, 2003:352. (In Russ.)

16. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. Development of models and methods for automating design procedures for designing technological operations with a complex structure. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti = Automation in industry*. 2018;(2):45–51. (In Russ.)
17. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu., Artemov I.I. Evaluation of the condition of force closure during setup of the operation of continuous centerless grinding. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2024;(4):109–117. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Павел Витальевич Малинин

аспирант, Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета (Россия, г. Камышин, ул. Ленина, 6А)

E-mail: mpv92@yandex.ru

Pavel V. Malinin

Postgraduate student, Kamyshin Technological Institute, branch of Volgograd State Technical University (6A Lenina street, Kamyshin, Russia)

Петр Юрьевич Бочкарев

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения и прикладной механики, Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета (Россия, г. Камышин, ул. Ленина, 6А); профессор кафедры технического обеспечения АПК, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Россия, г. Саратов, ул. Советская, 60)

E-mail: bpu@mail.ru

Petr Yu. Bochkarev

Doctor of engineering sciences, professor, professor of the sub-department of engineering technology and applied mechanics, Kamyshin Technological Institute, branch of Volgograd State Technical University (6A Lenina street, Kamyshin, Russia); professor of the sub-department of technical support of the agro-industrial complex, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov (60 Sovetskaya street, Saratov, Russia)

Игорь Иосифович Артемьев

доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института фундаментальных и прикладных исследований, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: artemov@pnzgu.ru

Igor' I. Artemov

Doctor of engineering sciences, professor, director of the Research Institute of Fundamental and Applied Research, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 10.02.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 10.04.2025

Принята к публикации / Accepted 22.04.2025