

DOI: [10.34220/2311-8873-2024-61-69](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2024-61-69)



УДК 621.923

UDC 621.923

2.5.6 – технология машиностроения

ГРУППИРОВАНИЕ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ ОПЕРАЦИЙ ПРОДОЛЬНОГО БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

GROUPING BY TECHNOLOGICAL FEATURES OF LONGITUDINAL CENTERLESS GRINDING OPERATIONS

✉¹ **Малинин Павел Витальевич**,
аспирант, Камышинский технологический
институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоград-
ский государственный технический универ-
ситет», г. Камышин, e-mail: mpv92@yandex.ru

✉¹ **Malinin Pavel Vitalievich**,
postgraduate student, Kamyshinsky institute of tech-
nology (branch), Volgograd state technical univer-
sity, Kamyshin, e-mail: mpv92@yandex.ru

Бочкарев Петр Юрьевич,
д.т.н., профессор, Камышинский технологи-
ческий институт (филиал) ФГБОУ ВО «Вол-
гоградский государственный технический
университет», г. Камышин; профессор,
Саратовский государственный университет
генетики, биотехнологии и инженерии
имени Н. И. Вавилова, г. Саратов,
e-mail: bpy@mail.ru

Bochkarev Peter Yurievich,
doctor of technical sciences, professor, Kamyshinsky
technological institute (branch) of the Volgograd
state technical university, Kamyshin; professor,
Saratov state university of genetics, biotechnology
and engineering named after N. I. Vavilov, Saratov,
e-mail: bpy@mail.ru

Аннотация. Продольный способ бесцентро-
вого шлифования, помимо высокой произво-
дительности, отличается высокой точностью
обработки. Тем не менее, в настоящих систе-
мах производства его применение достаточно
ограничено. Отсутствие окончательно утвер-
жденных этапов наладки оборудования и
управления реализацией технологической опе-
рации является одним из основных факторов,
влияющих на область применения. В данной
статье представлены предложения по струк-
турной классификации продольного бесцен-
тровоного шлифования. Эти предложения вклю-
чают группирование процедур отдельных эта-
пов технологического обеспечения на основе
критерия однородности проектных процедур.
Разработанные стандартизированные модели
позволяют последовательно формировать
группы схем обработки с учетом конкретных
условий производства. Представлены выводы
о классификации методов обработки для

Annotation. The longitudinal method of center-
less grinding, in addition to high productivity, is
characterized by high processing accuracy. How-
ever, its use is quite limited in current production
systems. The lack of definitively approved stages
of equipment commissioning and control of the
implementation of a technological operation is
one of the main factors affecting the scope of ap-
plication. This article presents proposals for the
structural classification of longitudinal centerless
grinding. These proposals include the grouping
of procedures for individual stages of technologi-
cal support based on the criterion of uniformity
of design procedures. The developed standard-
ized models allow the sequential formation of
groups of processing schemes taking into account
specific production conditions. Conclusions on
the classification of processing methods for de-
sign procedures for determining the optimal tech-
nological modes of longitudinal centerless grind-
ing operations are presented.

проектных процедур определения оптимальных технологических режимов продольных бесцентрово-шлифовальных операций.

Ключевые слова: БЕСЦЕНТРОВОЕ ШЛИФОВАНИЕ, МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩИЕ ПРОИЗВОДСТВА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА, БЕСЦЕНТРОВО-ШЛИФОВАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Keywords: CENTERLESS GRINDING, MACHINING INDUSTRIES, TECHNOLOGICAL PREPARATION, CENTERLESS GRINDING, DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES, DESIGN AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В отличие от других методов обработки поверхностей деталей бесцентровое шлифование, применяемое на различных высокоточных машиностроительных производствах, имеет ряд существенных преимуществ. Среди них наиболее значимыми преимуществами являются высокая производительность процесса обработки и возможность получения высокой размерной и геометрической точности поверхностей деталей за счет специфических особенностей схем обработки, снижающих влияние исходных погрешностей обрабатываемых поверхностей, являющихся в то же время и базовыми [1-3]. При этом, необходимо выделить высокую жесткость применяемого оборудования, большую режущую поверхность шлифовальных кругов, что напрямую связано с увеличением времени сохранения их режущих свойств. Несмотря на ряд преимуществ способа, область применения технологических операций бесцентрового шлифования показывает ограниченность и узкую специализацию их использования, что является текущей острой проблемной задачей развития методов бесцентрового шлифования. Реализация данных методов обработки в первую очередь сдерживается причиной сложности наладки и подналадки оборудования, связанной с отсутствием формализованных методик проведения работ [4]. Уровень подгонки технологической системы зависит от квалификации и опыта исполнителя, что вносит субъективный элемент не только в итоги выполнения операции, но и в организацию всего производственного цикла. Еще одной значимой задачей является проведение исследований с целью разработки способов определения силовых воздействий между компонентами технологической системы во время обработки на всех участках рабочей зоны, чтобы обеспечить равномерное вращение детали. Эти обстоятельства приводят к значительным затратам времени и труда при настройке и управлении процессами, ограничивая их эффективное использование до условий массового и крупносерийного производства. Учитывая, что возможности развития операций, проводимых на бесцентровом оборудовании, ограничены направлениями, связанными с автоматизацией производственного процесса, создание полных моделей, описывающих все его аспекты, является первостепенной задачей.

2 Материалы и методы

Несмотря на видимое единообразие, схемы бесцентрового шлифования предлагают многочисленные способы реализации, включая компоновку оборудования, характеристики конструк-

ции обрабатываемой поверхности, технологические решения по правке кругов, регулировке режимов или заданию режимов. Решение этих вопросов предложено осуществлять путем создания однородных методов бесцентрового шлифования по группам [5-7], определяемым по группам однородности их технологической подготовки и моделями, что способствует научной унификации для создания автоматизированных подсистем автоматизированного проектирования.

В работе рассмотрено применение данной методологии для операций продольного бесцентрового шлифования.

Ключевым преимуществом метода продольного бесцентрового шлифования является его способность изготавливать детали стабильного качества с высокой производительностью, поскольку он дает возможность шлифования всей поверхности или нескольких поверхностей одновременно. Благодаря принципиальной схеме обработки и использованию преимущественно только одного основного движения, которое реализуется перпендикулярно к шлифуемой поверхности, достигаются следующие преимущества по сравнению с другими видами технологических операций: обеспечивается стабильность размеров обработанных деталей в партии; возможно использование повышенных режимов резания благодаря схеме силового замыкания; уменьшаются припуски благодаря базированию по обрабатываемой поверхности; значительно сокращается вспомогательное время на установку.

При определении оптимального метода бесцентрового продольного шлифования для обработки наружных поверхностей типа тел вращения необходимо учитывать множество факторов. Это позволяет обеспечить не только требуемые качественные характеристики обрабатываемых деталей, но и учесть технико-экономические показатели реализации технологического процесса с учетом реальных производственных условий. Важно осуществлять анализ всех этих факторов при принятии рациональных проектных решений [8-10]. Рекомендуется классифицировать методы продольного шлифования на основе определения схожих процедур технологической подготовки производства.

Для осуществления группировки необходима классификация по областям, которые имеют условную независимость, с этой целью характеристики процесса разбивают на отдельные блоки. Методы бесцентрового шлифования группируются на возможные схемы обработки по близости характеристик, отражающих технологические особенности, исходя из их состояния (рис. 1).



Рисунок 1 – Конструкторско-технологические признаки способов бесцентровой шлифовальной обработки

Сформированные критерии позволяют в полной мере описать диапазоны возможностей и технологические параметры процесса обработки [6, 7] по следующим блокам характеристик процесса:

- конструктивные параметры объектов обработки с использованием способов бесцентрового шлифования (вид обрабатываемой поверхности, конструктивные особенности детали, размерные характеристики обрабатываемой поверхности, обрабатываемость материала детали и др.);

- компоновочная схема технологического оборудования (структурная схема обработки, применяемые приводы и др.);

- информация о шлифовальном (ых) круге (ах) (количество кругов, виды движения, направление движения, расположение оси круга относительно координат оборудования, форма профиля круга и др.);

- информация о ведущем(их) круге(ах) (количество кругов, виды движения, направление кругового движения, расположение оси круга относительно координат оборудования, форма профиля круга и др.);

- схема базирования заготовки (виды базовых поверхностей, взаимное расположение обрабатываемых и базовых поверхностей и др.);

- характеристики установочных (направляющих) элементов (конструкция элементов, относительное движение детали к установочным элементам, расположение оси направляющего элемента относительно координат станка и др.).

Так, например, при внесении данных в исходную таблицу к значению с порядковым номером относят способ продольного шлифования открытых поверхностей с подачей (перемещением) заготовки за счет кинематических схем обработки, при использовании подвижных направляющих, имеющих контакт заготовки со шлифовальным кругом в одном месте.

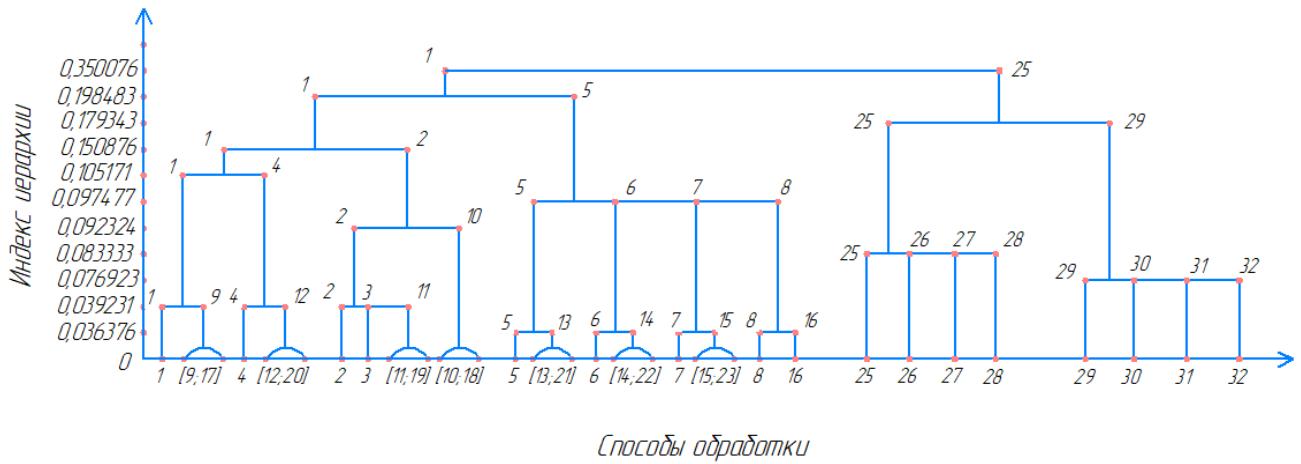
Описанные критерии позволили выполнить обоснование структуры исходной базы данных для всех вариантов схем бесцентрово-шлифовальной обработки как для существующего, так и перспективного оборудования. Заполнение базы данных осуществлялось в реляционной форме, что обеспечивает сокращение неоднозначности при определении ее элементов и ориентировано на использование кластерного анализа в качестве математического аппарата в дальнейших исследованиях.

3 Результаты исследований

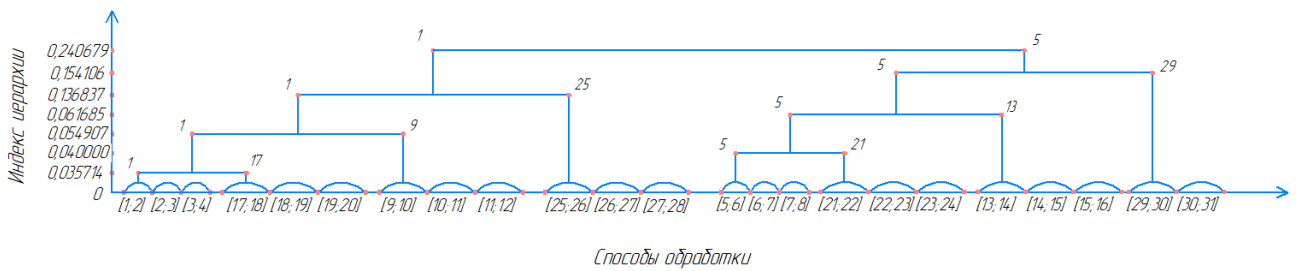
При выполнении структуризации бесцентрово-шлифовального оборудования для операций продольного шлифования в части конструктивных особенностей анализировались следующие параметры: виды компоновок; направления движения шлифовальной бабки; схема расположения опор шпинделей и расположение линии центров (вертикальные, горизонтальные, под наклоном) и др. По конструктивным признакам объектов обработки: вид обрабатываемой поверхности, размерные характеристики, обрабатываемость материала. Сведениям по применяемым шлифовальным и ведущим кругам: форма кругов и их количество, направления вращения, расположения оси кругов в системе координат станка. Особенности использования установочных (опорных) элементов, форма их поверхностей и ориентация.

Сформированные базы данных явились исходными данными для исследования методов продольного бесцентрового шлифования с использованием аппарата кластерного анализа.

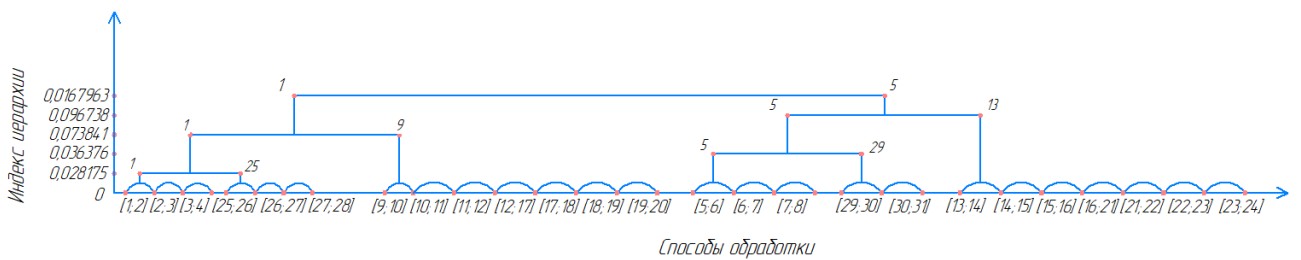
На рис. 2 представлены результаты автоматической классификации по таблице различий в виде дендограмм (для общей базы данных и ее составляющих блоков) [11].



а)



б)



в)

- а – возможности и технологические параметры процесса;
- б – информация по местам контакта обрабатываемой поверхности с элементами технологической системы;
- в – направления и величины составляющих сил

Рисунок 2 – Дендограммы результатов кластеризации методов продольного бесцентрового шлифования

Применительно к проектным процедурам назначения режимов резания с учетом реального состояния технологического оборудования [12] были сформированы дополнительные базы данных, отражающие информацию по местам контакта обрабатываемой поверхности с элементами технологической системы, направления и величины составляющих сил в этих местах (рис. 2). Алгоритм определения результатов кластерного анализа выполнялся на основе расчетного стан-

дартного индекса иерархии на каждом уровне дендрограмм с последующим обоснованием заключения об однородности сформированных групп на основе применения математического аппарата теории множеств (рис. 3).

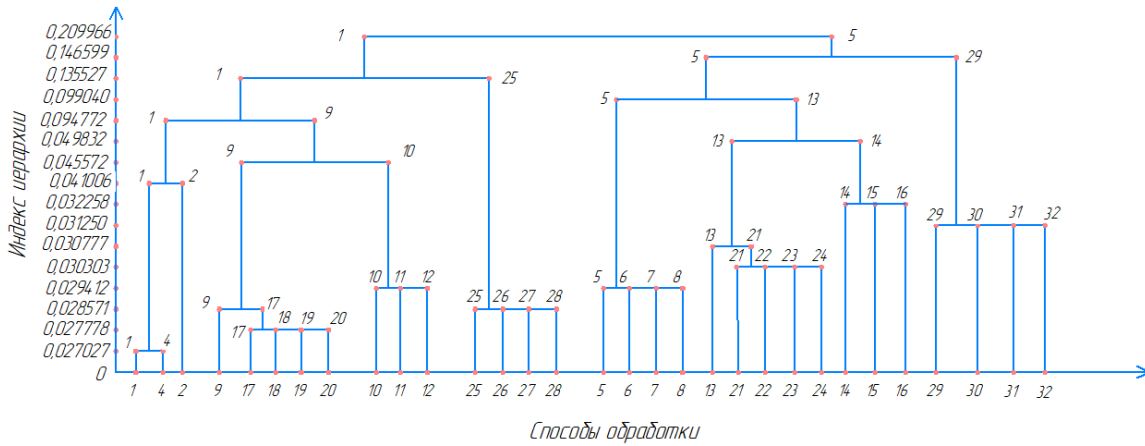


Рисунок 3 – Результат формирования кластеров способов продольного бесцентрового шлифования по однородности проектных процедур определения технологических режимов обработки

Практическим значением представленных результатов исследований является вариативность сформированных составов групп способов продольного бесцентрового шлифования применительно к этапам технологической подготовки производства, связанных с определением режимов резания, обеспечивающих заданные качественные показатели обрабатываемой поверхности.

По результатам кластерного анализа сгенерированы несколько вариантов объединений групп, имеющих сходство по проектным процедурам. В первом варианте, значение уровня иерархии определялось значением 0,135527. На рис. 4 представлено объединение, включающее сформированные три группы способов продольного бесцентрового шлифования. В первую сформированную группу X1 вошло множество способов обработки $X1 = \{1; 4; 2; 9; 17; 18; 19; 20; 10; 11; 12; 25; 26; 27; 28\}$. Вторая группа X2, сформированная на уровне иерархии 0,099040, состоит из следующего множества $X2 = \{5; 6; 7; 8; 13; 21; 22; 23; 24; 14; 15; 16\}$. Третья группа X3, сформированная на уровне иерархии 0,031250, представляет собой $X3 = \{29; 30; 31; 32\}$.

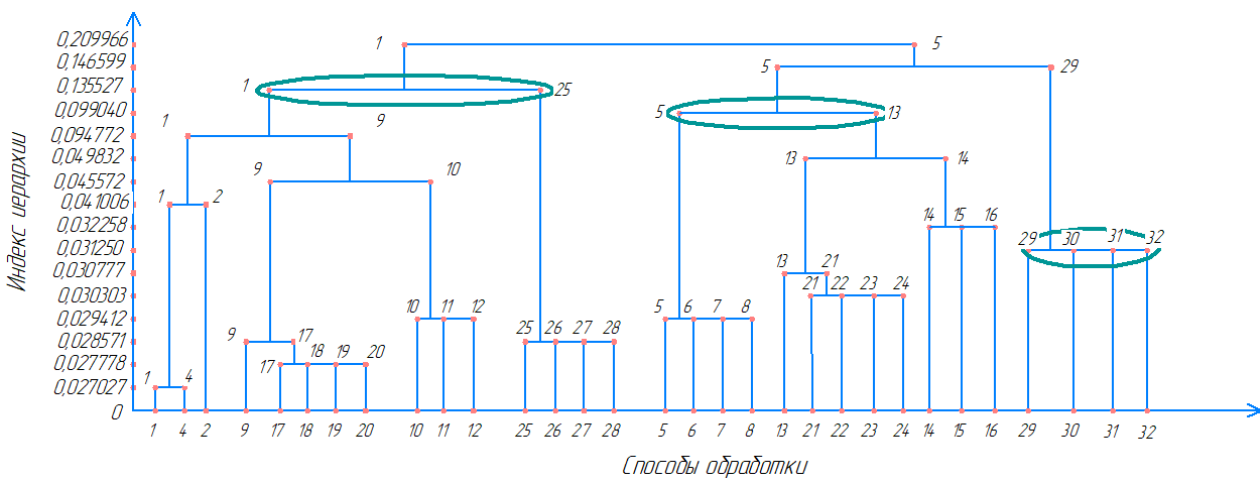


Рисунок 4 – Первый вариант объединения групп способов продольного бесцентрового шлифования по однородности проектных процедур определения технологических режимов обработки

После анализа значений набора X1 установлено, что приоритетные объединяющие характеристики проектных процедур расчета продольного бесцентрового шлифования присутствуют при обработке только открытых поверхностей, с опорой заготовки на подвижную направляющую. Путем исследования значений набора X2 установлено, что расчетные процедуры расчета продольного бесцентрового шлифования обладают приоритетными унифицирующими свойствами при обработке только открытых поверхностей, с опорой заготовки на неподвижную направляющую. Анализ состава набора X3 установил, что главные объединяющие характеристики проектных процедур расчета продольного бесцентрового шлифования присущи обработке только открытых поверхностей, с подачей (перемещением) заготовки за счет формы кругов, с ее опорой на неподвижную направляющую.

Во втором варианте, значение уровня иерархии определялось значением 0,135527. На рис. 5 представлено объединение, включающее сформированные пять групп продольного бесцентрового шлифования. В первую сформированную группу Y1 вошло множество способов обработки $Y1 = \{1; 4; 2; 9; 17; 18; 19; 20; 10; 11; 12\}$. Вторая группа Y2, сформированная на уровне иерархии 0,028571, состоит из следующего множества $Y2 = \{25; 26; 27; 28\}$. Третья группа Y3, сформированная на уровне иерархии 0,029412, представляет собой $Y3 = \{5; 6; 7; 8\}$. Четвертая группа Y4, сформированная на уровне иерархии 0,049832, представляет собой $Y4 = \{13; 21; 22; 23; 24; 14; 15; 16\}$. Пятая группа Y5, сформированная на уровне иерархии 0,031250, представляет собой $Y5 = \{29; 30; 31; 32\}$.

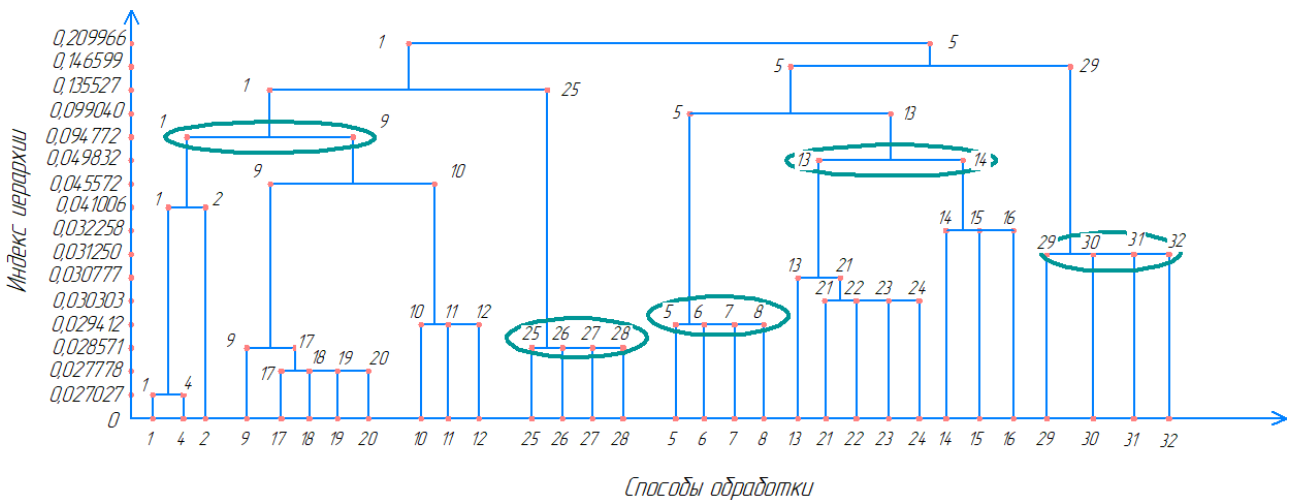


Рисунок 5 – Второй вариант объединения групп способов продольного бесцентрового шлифования по однородности проектных процедур определения технологических режимов обработки

4 Обсуждение и заключение

Проанализировав набор значений Y1 было выявлено, что при обработке проектных процедур расчета продольного бесцентрового шлифования, имеются важные объединяющие характеристики только открытых поверхностей, с опорой заготовки на подвижную направляющую. Проведя исследования характеристик проектных процедур расчета продольного бесцентрового шлифования группы Y2 было обнаружено, что при их использовании присутствуют главные факторы, способствующие объединению при обработке только открытых поверхностей, с подачей (перемещением) заготовки за счет формы кругов, с ее опорой на подвижную направляющую. Изучив значения набора Y3, можно сделать вывод о том, что приоритетные объединяющие характеристики проектных процедур расчета продольного бесцентрового шлифования присутствуют при обработке только открытых поверхностей, с подачей

(перемещением) заготовки за счет кинематических схем обработки, с ее опорой на неподвижную направляющую. В ходе исследования значений группы Y4 установлено, что процесс проектных процедур расчета продольного бесцентрового шлифования присутствует при обработке только открытых поверхностей, с опорой заготовки на неподвижную направляющую. При обзоре значений набора Y5 было определено, что приоритетные объединяющие характеристики проектных процедур расчета продольного бесцентрового шлифования присутствуют при обработке только открытых поверхностей, с подачей (перемещением) заготовки за счет формы кругов, с ее опорой на неподвижную направляющую.

При сравнении двух вариантов объединений групп, имеющих сходство по проектным процедурам очевидно, что второй вариант, наиболее полно отражает набор исходных данных, характерные особенности процесса и структуру алгоритма методики объединений, что является принципиальным отличительным подходом известных направлений исследований в данной области. Научно обоснованно формализованное формирование пяти множеств способов обработки заготовок при продольном бесцентровом шлифовании, которые дают более точное решение поставленной задачи и позволяют осуществить объективное последовательное формирование групп схем обработки с учетом конкретных условий производства.

На основе данного исследования открывается возможность системного подхода к проведению работ по совершенствованию технологической подготовки операций продольного бесцентрового шлифования для наружных поверхностей типа тел вращения. Для каждой из сформированных групп научно обоснованы граничные зоны по конструкторско-технологическим характеристикам с последующей формализацией методик определения режимов обработки, наладки и управления станками продольного бесцентрового шлифования. Наряду с созданием унифицированного подхода к разработке методического и алгоритмического обеспечения автоматизированной подсистемы проектирования технологических операций бесцентрового шлифования обеспечивается значительное сокращение подготовительно-заготовительного времени, повышение качества и сокращение себестоимости изготовления деталей.

Список литературы

- 1 Справочник технолога / под общей ред. А. Г. Сулова. М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
- 2 Безъязычный, В. Ф. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 2013. — 568 с.: ил.
- 3 Сулов, А. Г., Дальский А. М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с. с илл.
- 4 Ашкиназий, Я. М., Бесцентровые шлифовальные станки. Конструкции, обработка и правка. М.: Машиностроение, 2003. 352 с.: ил.
- 5 Бочкарев, П. Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки / П. Ю. Бочкарев // Технология машиностроения. – 2002. – №1. – С.10–14.
- 6 Малинин, П. В. Структуризация способов бесцентрового шлифования с использованием кластерного анализа / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2022. – № 8. – С. 36-39.
- 7 Малинин, П. В. Совершенствование технологической подготовки операций бесцентрового шлифования / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев, Л. Д. Ульянова, В. В. Шалунов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2022. – № 4 (64). – С. 147-160.
- 8 Бочкарев, П. Ю. Структуризация базы данных в САПР ТП с использованием аппарата кластерного анализа // Вестник машиностроения, №3. – 1999. – С.51-55.
- 9 Митин С. Г., Бочкарев П. Ю., Шалунов В. В., Разманов И. А. Определение рациональных уровней отсева вариантов проектных решений в системе автоматизированного планирования технологических процессов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2021. – № 3 (57). – С. 48-56.

10 Митин, С. Г. Разработка моделей и методик автоматизации проектных процедур для проектирования технологических операций со сложной структурой / С.Г. Митин, П.Ю. Бочкарев // Автоматизация в промышленности. 2018. – № 2. – С. 45-51.

11 Бочкарев П. Ю., Шалунов В. В., Малинин П. В. Программа для расчета уровней иерархии при кластерном анализе способов бесцентрового шлифования // свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. (Номер свидетельства: RU 2023610672)

12 Малинин, П. В., Бочкарев П. Ю. Определения наладочных параметров операций проходного бесцентрового шлифования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 144–153.

References

1 Technologist's Handbook / ed. A. G. Suslova. M.: Innovative mechanical engineering, 2019. – 800 p.

2 Bezyazychny, V. F. Fundamentals of mechanical engineering technology: a textbook for universities. - M.: Mechanical Engineering, 2013. - 568 p.: ill.

3 Suslov, A. G., Dalsky A. M. Scientific foundations of mechanical engineering technology. – M.: Mashinostroenie, 2002. – 684 p. from illus.

4 Ashkinaziy, Ya. M., Centerless grinding machines. Designs, processing and editing. M.: Mechanical Engineering, 2003. 352 p.: ill.

5 Bochkarev, P. Yu. System representation of planning technological processes of machining / P. Yu. Bochkarev // Mechanical engineering technology. – 2002. – No. 1. – P.10–14.

6 Malinin, P.V. Structuring methods of centerless grinding using cluster analysis / P.V. Malinin, P.Yu. Bochkarev // News of the Volgograd State Technical University. – 2022. – No. 8. – P. 36-39.

7 Malinin, P.V. Improvement of technological preparation of centerless grinding operations / P.V. Malinin, P.Yu. Bochkarev, L.D. Ulyanova, V.V. Shalunov // News of higher educational institutions. Volga region. Technical science. – 2022. – No. 4(64). – pp. 147-160.

8 Bochkarev, P. Yu. Database structuring in CAD TP using cluster analysis // Bulletin of Mechanical Engineering, No. 3. – 1999. – P.51-55.

9 Mitin S. G., Bochkarev P. Yu., Shalunov V. V., Razmanov I. A. Determination of rational levels of screening options for design solutions in the system of automated planning of technological processes // Vector of Science of Tolyatti State University. 2021. – No. 3 (57). – pp. 48-56.

10 Mitin, S.G. Development of models and methods for automating design procedures for the design of technological operations with a complex structure / S.G. Mitin, P.Yu. Bochkarev // Automation in industry. 2018. – No. 2. – P. 45-51.

11 Bochkarev, P. Yu., Shalunov V. V., Malinin P. V. Program for calculating hierarchy levels in cluster analysis of centerless grinding methods // certificate of state registration of a computer program. (Certificate number: RU 2023610672)

12 Malinin, P.V., Bochkarev P. Yu. Determination of adjustment parameters for continuous centerless grinding operations // News of higher educational institutions. Volga region. Technical science. – 2023. – No. 3. – P. 144–153.

© Малинин П.В., Бочкарев П.Ю., 2024