

*П. В. Малинин<sup>1</sup>, П. Ю. Бочкарев<sup>1, 2</sup>*

**УСТАНОВЛЕНИЕ КООРДИНАТНЫХ СВЯЗЕЙ КОМПОНЕНТОВ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ В ПРОСТРАНСТВЕ ЗОНЫ  
ПРОХОДНОЙ БЕСЦЕНТРОВОЙ ОБРАБОТКИ**

<sup>1</sup> Камышинский технологический институт (филиал)  
Волгоградского государственного технического университета

<sup>2</sup> Саратовский государственный университет генетики,  
биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

E-mail: Mpv92@yandex.ru, bpy@mail.ru

Выбор в качестве метода изготовления высокоточных деталей операций бесцентрового шлифования обуславливается обеспечением стабильности качества обрабатываемых поверхностей и высокой производительностью. В отдельных отраслях промышленности изготовление отдельных изделий без использования данного метода становится сложнореализуемой задачей. Однако существуют серьезные ограничения его практической реализации в связи с недостаточно проработанной научно-методической базой вопросов технологической подготовки. Представлены исследования по совершенствованию проектных процедур этапов технологической подготовки операций проходного бесцентрового шлифования, включающих формализацию проектных действий проведения работ по установлению координатных взаимосвязей между размерными характеристиками обрабатываемой поверхности и компонентов технологической системы оборудования в пространстве всей рабочей зоны станка. Описана блок-схема алгоритмического обеспечения автоматизированного выполнения данной проектной процедуры. Результаты проверки разработанных теоретических моделей в условиях действующих производственных комплексов позволили сделать заключение об их работоспособности с учетом особенностей конкретного производства и складывающейся производственной ситуации. Разработанные модели развивают методические положения использования операций проходного бесцентрового шлифования, направленные на разработку систем автоматизированного проектирования технологических процессов и эффективного функционирования производственных систем, состоящих из групп бесцентрового шлифовального оборудования.

*Ключевые слова:* механообрабатывающие комплексы, технологическая подготовка производства, бесцентрово-шлифовальное оборудование, проходное бесцентровое шлифование, наладка станков

*P. V. Malinin<sup>1</sup>, P. Yu. Bochkarev<sup>1, 2</sup>*

**ESTABLISHING COORDINATE RELATIONSHIPS  
OF THE COMPONENTS OF THE TECHNOLOGICAL STRUCTURE  
IN THE SPACE OF THE CENTERLESS PROCESSING ZONE**

<sup>1</sup> **Kamyshinsky Institute of Technology (branch) Volgograd State Technical University**

<sup>2</sup> **Saratov State University of Genetics, Biotechnology  
and Engineering named after N. I. Vavilov**

The choice of centerless grinding operations as a method of manufacturing high-precision parts is determined by ensuring the stability of the quality of the treated surfaces and high productivity. In certain industries, the manufacture of individual products without using this method becomes a difficult task to implement. However, there are serious limitations to its practical implementation due to the insufficiently developed scientific and methodological base of technological training issues. Research is presented on improving the design procedures for the stages of technological preparation of centerless grinding operations, including the formalization of design actions to establish coordinate relationships between the dimensional characteristics of the treated surface and components of the technological system of equipment in the space of the entire working area of the machine. A flowchart of algorithmic support for the automated execution of this design procedure is described. The results of the verification of the developed theoretical models in the conditions of existing production complexes allowed us to draw a conclusion about their operability, taking into account the specifics of a particular production and the current production situation. The developed models develop methodological provisions for the use of through-pass centerless grinding operations aimed at the development of computer-aided design systems for technological processes and the effective functioning of production systems consisting of groups of centerless grinding equipment.

**Keywords:** machining complexes, technological preparation of production, centerless grinding equipment, through-through centerless grinding, machine tool commissioning

**Введение**

Обеспечение качества выполнения механообработки высокоточных деталей во многом определяется соблюдением требования обеспечения стабильности заданных конструктивных параметров. С этих позиций определяющим при технологическом обеспечении производства является выбранные методы обработки наиболее ответственных поверхностей с учетом организационно-экономических факторов, в первую очередь производительности. Анализируя эксплуатационные характеристики изделий машиностроения можно заключить, что наиболее часто в качестве поверхностей деталей непосредственно контактирующих с другими поверхностями в сборочном узле являются цилиндрические поверхности, к которым предъявляются повышенные требования как к размерным, так и пространственно-геометрическим характеристикам [1–3].

Наиболее перспективный с данных позиций, среди методов обработки поверхностей цилиндрической формы выделяется бесцентрово-шлифовальная обработка, которая зарекомендовала себя как высокопроизводительная и стабильная. В ряде отраслей промышленности таких, как приборостроение и подшипниковая изготовление отдельных изделий без использования данного метода становится сложно реализуемой задачей. Однако до настоящего времени существуют серьезные ограничения его промышленного

использования, связанные с недостаточно проработанной научно-методической базой вопросов технологической подготовки [4–7].

**Материалы и методы**

Отсутствие промышленно апробированных методик, обеспечивающих проведение в условиях действующих производств работ, связанных с наладкой и управлением технологических операций, выполняемых на станках бесцентрово-шлифовальной группы, предопределило прослеживающуюся на протяжении ряда лет тенденцию на сокращение использования данного вида обработки. Для детального изучения и установления причин сложившегося состояния по данному вопросу были выполнены работы, включающие обследование предприятий Поволжского региона, использующих оборудование бесцентрово-шлифовальной группы. Собранная и систематизированная информация, включающая проведение опроса наладчиков станков с оформлением разработанных форм, изучение конструкторско-технологической документации, состава оборудования и походов к организации технологической подготовки и функционировании специализированных для данных методов обработки производственных подразделений, позволила получить реальное представление по использованию бесцентрово-шлифовального оборудования в отечественных производствах в настоящее время [8].



Рис. 1. Структура подходов в действующих производствах к процедурам технологической подготовки операций проходного бесцентрового шлифования

На рисунке 1 приведены отдельные результаты сделанного анализа, на основе, которого

сформулированы приоритетные направления, по которым предложено проведение научно-

исследовательских работ в части исследований касающихся установления взаимосвязей между поверхностью заготовки и элементами технологической системы во всей зоне обработки для проходного бесцентрового шлифования наружных цилиндрических поверхностей.

Выполненные исследования, касающиеся совершенствования проектных процедур этапов наладки проходного бесцентрового шлифования, позволили разработать модели для определения наладочных параметров, управление которыми возможно с применением рабочих органов станка с учетом реального состояния средств технологического оснащения [9–11]. Выведенные зависимости и результаты их апробации в производственных условиях, позволили перейти к следующим стадиям формализации проектных действий этапов технологической подготовки, в части проведения работ по установлению координатных взаимосвязей между размерными характеристиками обрабатываемой поверхности и элементами технологической системы оборудования в пространстве всей рабочей зоны станка. Первоочередной задачей здесь являлось определение для сечений рабочей зоны станка расположение точек контакта поверхности заготовки со шлифоваль-

ным, ведущим кругами и опорной поверхностью ножа (рис. 2).

В качестве исходных данных, кроме установленных наладочных параметров, при определении расположения точек контактов обрабатываемой поверхности с элементами технологической системы в  $i$ -м сечении зоны обработки используются:  $L_i$  – расстояние между рассматриваемым сечением и сечением с горизонтальным расположением линии, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов, мм;  $u$  – угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости, градусы;  $D_{\delta i}$  – диаметр ведущего круга в рассматриваемом сечении, мм;  $d_i$  – диаметр обрабатываемой поверхности в рассматриваемом сечении, мм.

Созданы модели, позволяющие установить размерные и угловые значения возникающих связей определяющих пространственное расположение точек контакта, обозначенных на рис. 2. В качестве примера представлены зависимости: для расчета расстояния между центрами шлифовального круга и обрабатываемой поверхности; угла между линией, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов, и линией, соединяющей центры ведущего круга и заготовки.

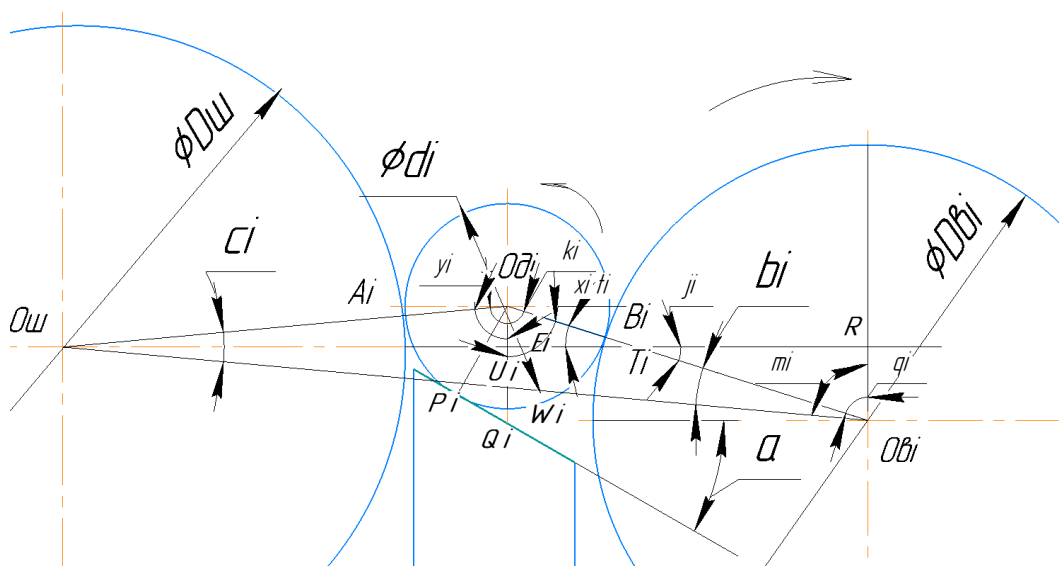
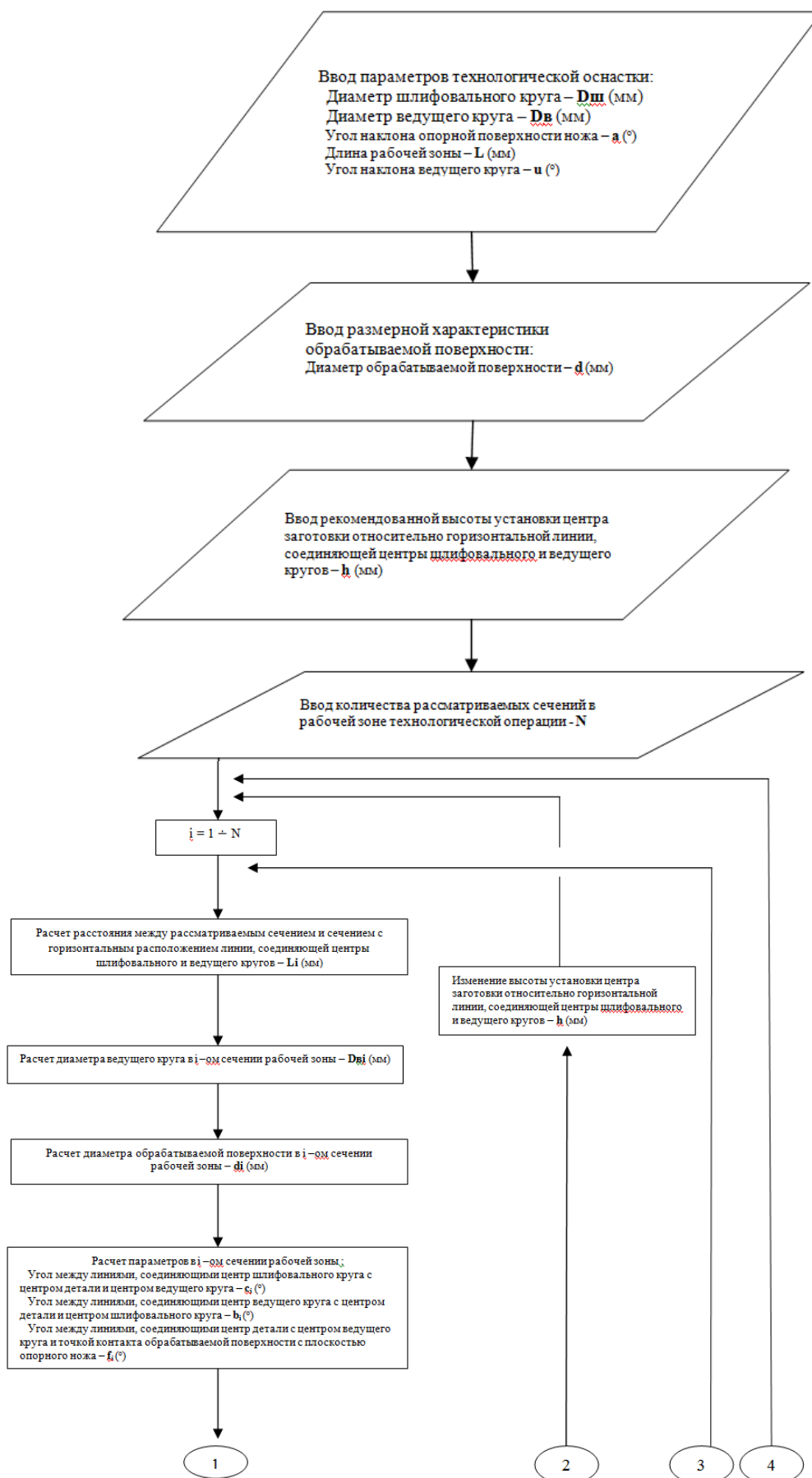


Рис. 2. Схема наружного проходного бесцентрового шлифования в  $i$ -м сечении рабочей зоны

$$|O_{\delta i} O_{d i}| = \sqrt{\left( \left( \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos c + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos b \right) + \left( \frac{L_i}{\cos u} \cdot \sin u \right)^2 + \left( \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \right)^2 - \left( \left( \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos c + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos b \right) + \left( \frac{L_i}{\cos u} \cdot \sin u \right) + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \right) \cdot \cos b_i}$$

$$\cos b_i = \frac{|O_{\delta i} O_{d i}|^2}{\left( \left( \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos c + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos b \right) + \left( \frac{L_i}{\cos u} \cdot \sin u \right)^2 + \left( \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \right)^2 - 2 \left( \left( \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos c + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \cdot \cos b \right) + \left( \frac{L_i}{\cos u} \cdot \sin u \right) + \frac{D_{\delta i} + d_i}{2} \right)}$$



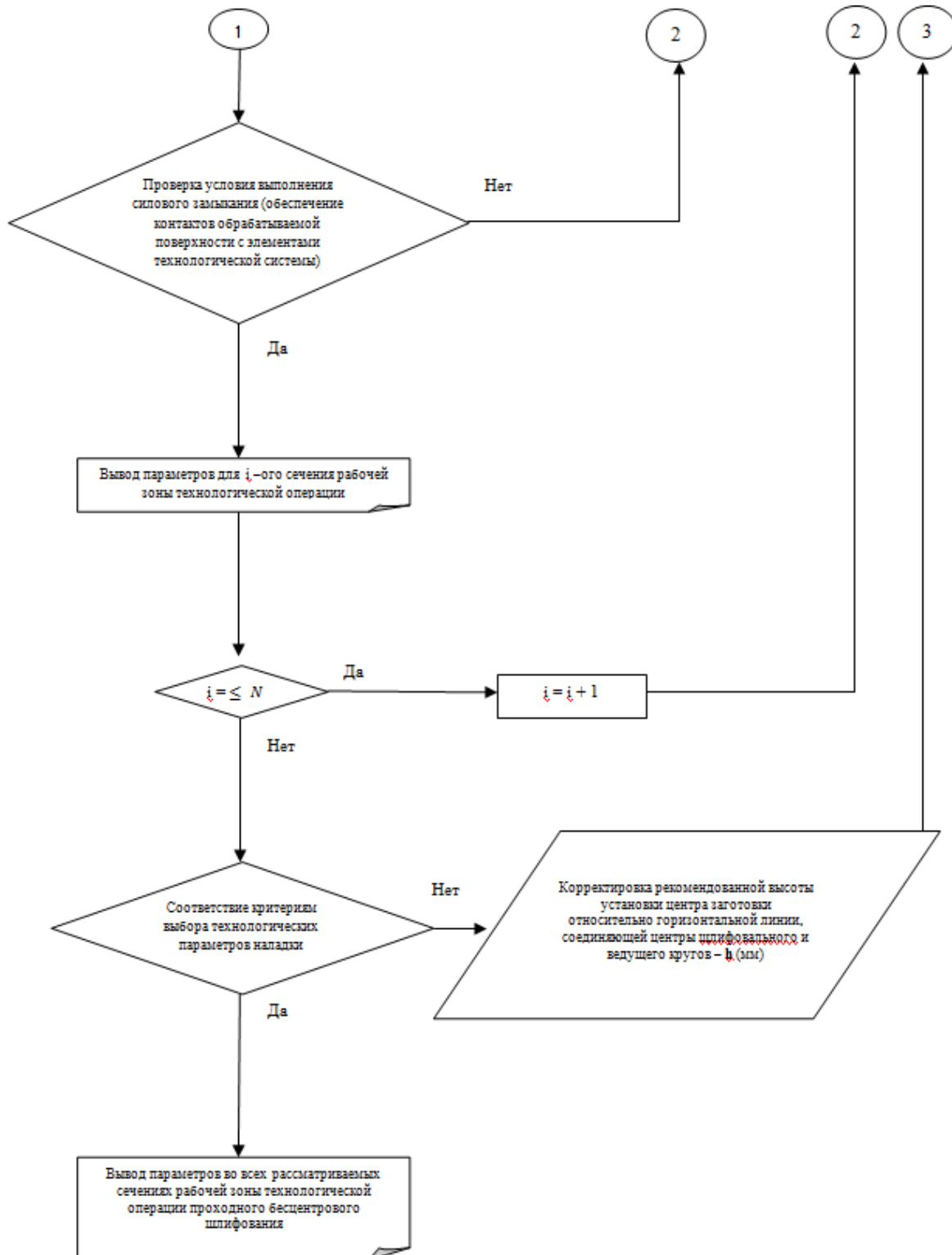


Рис. 3. Блок-схема расчета параметров в сечениях рабочей зоны операций проходного бесцентрового шлифования

На рисунке 3 представлена блок-схема расчета размерных параметров в сечениях рабочей зоны операций проходного бесцентрового шлифования и предназначенная для определения пространственного расположения точек

контакта обрабатываемой поверхности с элементами технологической системы. Реальное состояние технологической системы включает следующую информацию: действительные диаметры шлифовального и ведущего кругов в се-

чении при расположении центров шлифовального и ведущего кругов на одной горизонтальной линии, угол наклона опорной поверхности установочного ножа, длина рабочей зоны, угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости. На основе нормативных рекомендаций [12] выбирается первоначальное значение высоты установления центра обрабатываемой поверхности относительно горизонтальной линии, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов.

С учетом специфических особенностей проектируемых технологических операций и степени требуемой детализации решаемых задач устанавливается количество сечений в рабочей зоне технологической операции, для которых будут проводиться расчеты, и организуется цикловая стратегия выполнения расчетных процедур. Последовательно рассчитываются пространственные параметры взаимодействия заготовки со шлифовальным, ведущим кругом и поверхностью ножа в  $i$ -х сечениях рабочей зоны обработки с использованием разработанных моделей.

Проводится проверка выполнения условия силового замыкания, заключающаяся в обеспечении контактов обрабатываемой поверхности во всех трех точках с элементами технологической системы. В случае невыполнения условия вносится скорректированное значение выбранного из рекомендованных значений высот, предлагаемых в научной литературе.

Разработано программное обеспечение выполнения рассматриваемой проектной процедуры, позволяющее реализовать, в том числе возможность проведения анализа нескольких вариантов, которые отличаются параметрами наладки технологической операции, что позволяет осуществлять выбор рациональных решений на последующих этапах проектирования технологических операций.

Проверка разработанных моделей выполнялась для данных изготовления деталей на станках модели Sasl 200\*500 в условиях ПР-8 АО «ЕПК Саратов» («Кольцо наружное» подшипника 6-170314Ш1.01 ГОСТ 520–2011), цеха № 24 АО «ЕПК Саратов» («Ролик прямолинейный с радиусными скосами, II степени сложности»). На рис. 4–6 представлены графики результатов изменения отдельных значений параметров в различных сечениях рабочей зоны обработки при трех величинах углов наклона ведущего круга в вертикальной плоскости. Приведенные результаты, получены для первого перехода операции предварительного наружного шлифования цилиндрической поверхности («Кольцо наружное» подшипника 6-170314Ш1.01 ГОСТ 520–2011).

Представлены изменения значений параметров в  $i$ -м сечении рабочей зоне обработки методом проходного бесцентрового шлифования:

– расстояния между центрами шлифовального и ведущего кругов ( $O_{ш}O_{вi}$ );

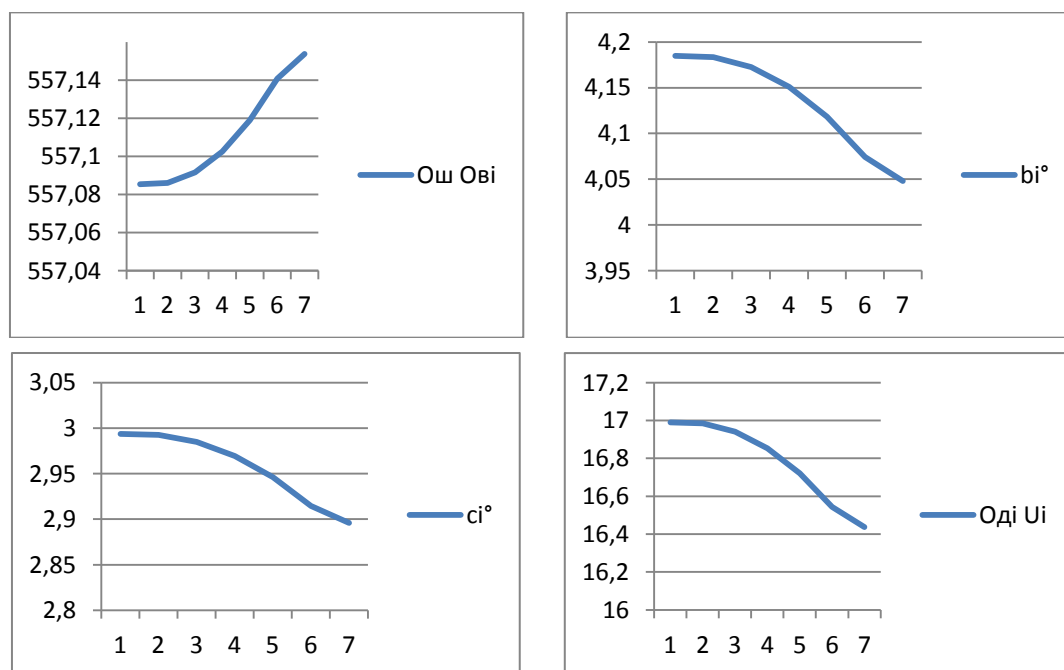


Рис. 4. Угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости  $\alpha=1^\circ$

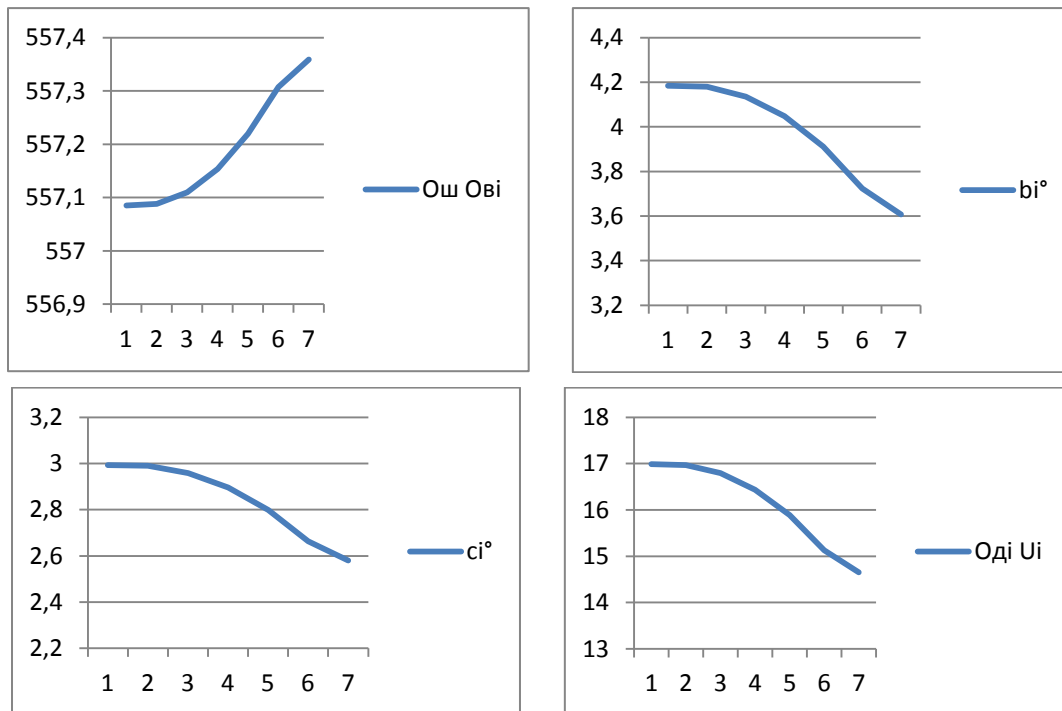


Рис. 5. Угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости  $\alpha=2^\circ$

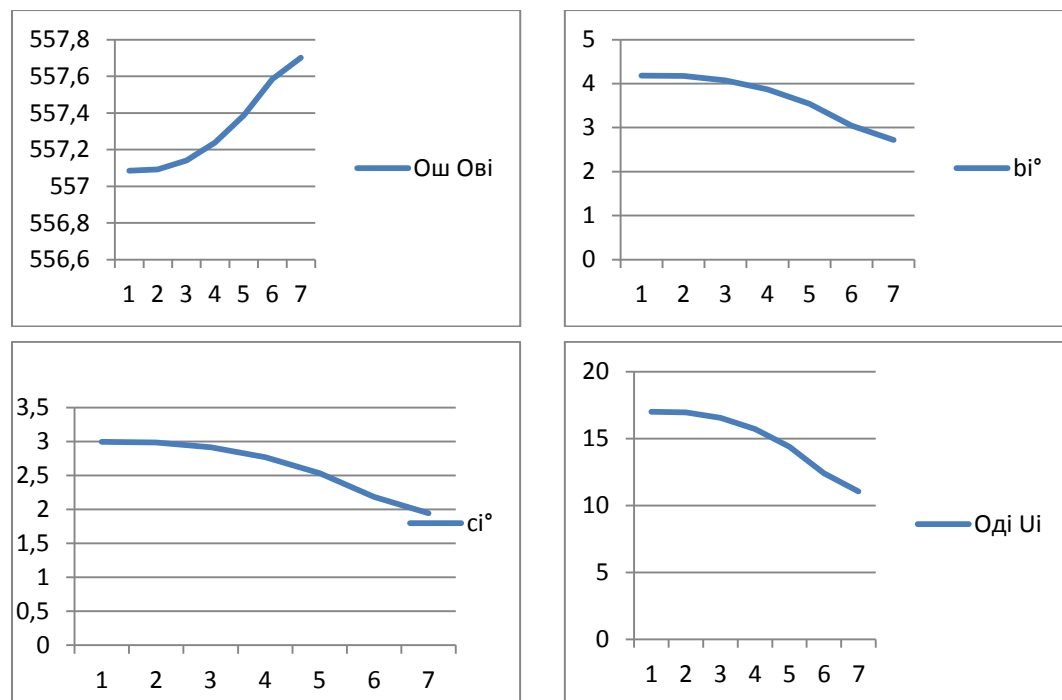


Рис. 6. Угол наклона ведущего круга в вертикальной плоскости  $\alpha=3^\circ$

– угла между линией, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов, и линией, соединяющей центры ведущего круга и заготовки ( $b_i$ );

– угла между линией, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов, и линией,

соединяющей центры шлифовального круга и заготовки ( $c_i$ );

– расстояние между центром заготовки и линией, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов ( $O_{дi}U_i$ ).

Проведенные теоретические и эксперимен-

тальные исследования подтвердили необходимость учета взаимовлияния рассматриваемых характеристик и обосновывают необходимость в серьезной корректировке методических основ технологической подготовки операций проходного бесцентрового шлифования, связанных с назначением наладочных параметров по данным о реальном состоянии элементов технологической системы.

### Выводы

Проведенные исследования состояния технологического обеспечения операций бесцентрового шлифования на основе сбора и обработки информации из научно-справочных источников и действующих в настоящее время машиностроительных производств позволили обосновать направления развития методического обеспечения процедур подготовки и реализации процессов обработки деталей, исключая преимущественно субъективный фактор процесса наладки оборудования и управления процессом.

В развитии научно-методической базы технологического обеспечения операций проходного бесцентрового шлифования, касающейся определения наладочных параметров с учетом реальных размерных характеристик шлифовальных и ведущих кругов, размеров заготовок, проведены работы по установлению взаимосвязей между характеристиками обрабатываемой поверхности и компонентами технологической системы в пространстве всей рабочей зоны станка. Создано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для автоматизированного выполнения данной проектной процедуры. Комплексная проверка разработанных теоретических моделей в условиях действующих производственных комплексов, состоящих из станков бесцентрово-шлифовальной группы, позволила сделать заключение об их работоспособности с учетом особенностей конкретного производства и складывающейся производственной ситуации.

Предложенные формализованные модели дали возможность подтвердить и развить выдвинутые принципы разрабатываемых методических положений наладки технологических

операций проходного бесцентрового шлифования, направленных на разработку систем автоматизированного проектирования технологических процессов и эффективного функционирования производственных систем, состоящих из групп бесцентрового шлифовального оборудования.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 4-е изд., перераб. и доп. – 1986. – 496 с.
2. Безъязычный, В. Ф. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов / В. Ф. Безъязычный. – М. : Машиностроение, 2013. – 568 с.: ил.
3. Справочник технолога / под общей ред. А. Г. Сулова. – М. : Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
4. Слонимский, В. И. Теория и практика бесцентрового шлифования / В. И. Слонимский. – Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1952. – 283 с.
5. Прохоров, А. Ф. Наладка и эксплуатация бесцентровых шлифовальных станков / А. Ф. Прохоров, К. Н. Константинов, Л. П. Волков. – М. : Машиностроение, 1976. – 192 с.
6. Филькин, В. П. Прогрессивные методы бесцентрового шлифования / В. П. Филькин, И. Б. Колтунов. – М. : Машиностроение, 1971. – 204 с.
7. Муцянюк, В. И. Бесцентровое шлифование / В. И. Муцянюк, А. Я. Братчиков. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 96 с.
8. Малинин, П. В. Структуризация способов бесцентрового шлифования с использованием кластерного анализа / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – С. 36–39.
9. 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.
10. Малинин, П. В. Определения наладочных параметров операций проходного бесцентрового шлифования / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев, И. И. Артемов, М. О. Гончаров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 144–153.
11. Малинин, П. В. Взаимосвязанность сил при проходном бесцентровом шлифовании / П. В. Малинин, П. Ю. Бочкарев, И. И. Артемов, М. О. Гончаров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2023. – № 4.
12. Ашкиназий, Я. М. Бесцентровые шлифовальные станки. Конструкции, обработка и правка / Я. М. Ашкиназий. – М. : Машиностроение, 2003. – 352 с.: ил.