

Продолжение Таблицы 1

Мощность двигателя главного привода, кВт	55
Токарный суппорт	
Наибольший угол поворота суппорта, гр.	45
Перемещение токарного суппорта (вертикальное/горизонтальное), мм	700/775
Количество суппортов	1
Система управления	ЧПУ с точностью до 0,001

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Общий технический каталог электродвигателей АДЧР, 2009г.
2. Общий каталог преобразователей круговых и линейных перемещений ЛИР, 2011г.
3. Общий каталог шарико-винтовых передач и комплектующих к ним ф.МІKRON
4. Официальный сайт <http://www.bsystem.ru>
5. Техническое задание на модернизацию
6. Официальный сайт <http://www.wittenstein-alpha.de/>

УДК 621.9.02

<sup>1</sup>В.Л. Доброскок, <sup>1</sup>Я.Н. Гаращенко, <sup>2</sup>А.Н. Шпилька

### ОЦЕНКА РАЗВИТОСТИ РЕЛЬЕФА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

<sup>1</sup>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт (Харьков, Украина),

<sup>2</sup>Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка (Полтава, Украина)

**Введение.** Абразивно-алмазная обработка труднообрабатываемых материалов широко применяется как на промежуточных, так и окончательных стадиях изготовления деталей ответственного назначения. Наиболее эффективным абразивным материалом является алмаз, что обусловлено его уникальными свойствами и геометрическими параметрами [1, 2, 3, 4, 5].

Алмазные круги на металлических связках обладают высокой прочностью и износостойкостью [2, 3, 8]. В процессе шлифования их режущая способность снижается в результате засаливания и сглаживания режущего рельефа [4, 7]. Одним из факторов, в значительной мере определяющим эффективность процесса шлифования, является стабильность выходных показателей обработки деталей в период всего времени работы. Стабильность алмазного шлифования зависит от сохранения требуемого уровня развитости режущего рельефа, поперечного и продольного профиля рабочей поверхности круга [8, 9].

Наличие взаимосвязи между состоянием рабочей поверхности алмазных кругов и эффективностью процесса шлифования дает предпосылки для регулирования режущего рельефа на этапе изготовления [10] и в процессе шлифования [2, 3, 4, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Восстановление режущих свойств шлифовальных кругов требует существенных затрат производственного времени на периодическую правку инструмента, а для их непрерывного поддержания необходимо применение специального оборудования. Возникает необходимость в разработке методик для объективной и содержательной оценки состояния рельефа рабочей поверхности алмазных кругов на металлической связке.

Индикаторный (контактный) метод изучения рабочей поверхности алмазного круга

относительно прост в реализации и дает адекватные результаты при достаточном количестве повторных измерений [19, 20]. Применение ощупывающего устройства, состоящего из тензометрической балки с закрепленной на ней алмазной и токопроводной иглами, дает возможность дифференцировать неровности, образованные зернами и связкой круга [8]. Однако этот способ не позволяет получить полную информацию о геометрии рельефа из-за неостоянства контакта наконечника индикатора с исследуемой поверхностью.

Бесконтактным методом выполнялось измерение износа круга [21, 22] с помощью оптического прибора конструкции ЭНИИП. В работах [13, 23] для изучения рельефа рабочей поверхности круга применялся бинокулярный микроскоп, с помощью которого изучалось формирование режущих кромок, образованных в результате скалывания алмазных зерен в процессе обработки. Однако форма полученных результатов измерений не позволяет осуществлять их эффективный анализ. В работе [19] описаны способы качественной и количественной оценки характера износа алмазных зерен и связки круга с помощью оптических (ММР-4, МПД-1, МИМ-8) и растровых электронных (РЭМ-200, Jeol-50А) микроскопов. Производилось радиальное перемещение фокальной плоскости микроскопа относительно рабочей поверхности инструмента и подсчет количества зерен, попадающих в зону резкости на разных высотах с шагом 5 мкм. По достижении поверхности связки на каждом уровне дополнительно определяли количество выступов и впадин связки, в том числе и лунок от выпавших зерен. Однако опыты по нахождению среднего уровня связки и визуального совмещения с ним фокальной плоскости микроскопа показали достаточно большую погрешность установления базы отсчета, которая в значительной мере определялась индивидуальными качествами исследователя.

Качественная оценка топографии поверхности может выполняться путем нанесения на рабочую поверхность алмазных кругов многослойного покрытия с попарно-контрастными слоями общей толщиной, равной высоте наиболее выступающих зерен [24]. Толщина каждого слоя одинакова и постоянна в направлении нормали к рабочей поверхности. Покрытие срезается по уровню наиболее выступающих зерен, что обеспечивает получение топограммы. Однако данный метод сложен в реализации.

Современный уровень техники позволяет разрабатывать методы регистрации данных, обеспечивающие возможность осуществления более эффективного анализа развитости рабочей поверхности алмазных кругов.

Для оценки развитости рабочей поверхности шлифовального круга исследователями применялись различные параметры [19]: высота сглаживания профиля, представляющая собой расстояние между линией выступов и эквидистантой линией, на уровне которой относительная опорная длина профиля  $t_p = 50 \%$ ; оператор преобразования спектра, представляющий собой отношение спектральной плотности профиля до обработки и после нее; разновысотность зерен [25]. Перспективными для осуществления оценки развитости рельефа рабочей поверхности алмазных кругов на металлических связках являются возможности анализа 3D модели рабочей поверхности, полученной методом пошагового фотографирования [26] или лазерного сканирования [27].

**Цель статьи** – рассмотреть возможность оценки развитости рельефа рабочей поверхности алмазных кругов на металлических связках путем морфометрического анализа ее триангуляционной модели.

**Изложение основного материала.** Для выполнения оценки развитости рабочей поверхности алмазных кругов были использованы 3D модели, полученные в результате пошагового фотографирования и последующей обработки серии фотографий [26]. Суть метода заключается в имитации послойного сканирования рельефа поверхности путем последовательного получения снимков с пошаговым перемещением области глубины резко изображаемого пространства оптической системы микроскопа. Фотографирование производилось с помощью цифрового USB-микроскопа Supereyes B008. Обработка серии фотографий и получение 3D моделей осуществлялись в приложении HeliconSoft Helicon Focus Professional.

В процессе моделирования фотографировался участок рабочей поверхности круга площадью, достаточно значимой для обеспечения репрезентативности геометрических параметров находящихся на ней элементов рельефа. Оценка представительности величин геометрических параметров на рассматриваемом участке рабочей поверхности алмазного круга осуществлялась путем сравнения 3D моделей различных участков одного и того же инструмента. Величина площади участков постепенно увеличивалась до достижения минимальных различий статистических характеристик их рельефов.

Сравнительный анализ 3D моделей рабочей поверхности выполнялся для исходного алмазного круга ПП 300×20×32×5 АС4 100/80 М1, формообразование рабочей поверхности которого было осуществлено электроэрозионным способом, и этого же круга после 15 мин. шлифования образца твердого сплава ВК8 (рис. 1). Электроэрозионное воздействие выполнялось по совмещенной схеме [28]. Режимы формообразования: скорость круга 30 м/с, вертикальная подача 0,002÷0,007 мм/ход, средняя сила тока 5÷8 А, напряжение холостого хода 50 В.

Оценка развитости рабочей поверхности рельефов алмазного круга по их 3D моделям выполнялось с использованием системы морфологического анализа триангуляционных моделей [29] (рис. 2).

Развитость рельефа рабочей поверхности алмазного круга оценивалась по его триангуляционной модели в подсистеме морфометрического анализа по исследуемому признаку «Координата Z вершины» с заданием количества интервалов гистограмм (рис. 3).

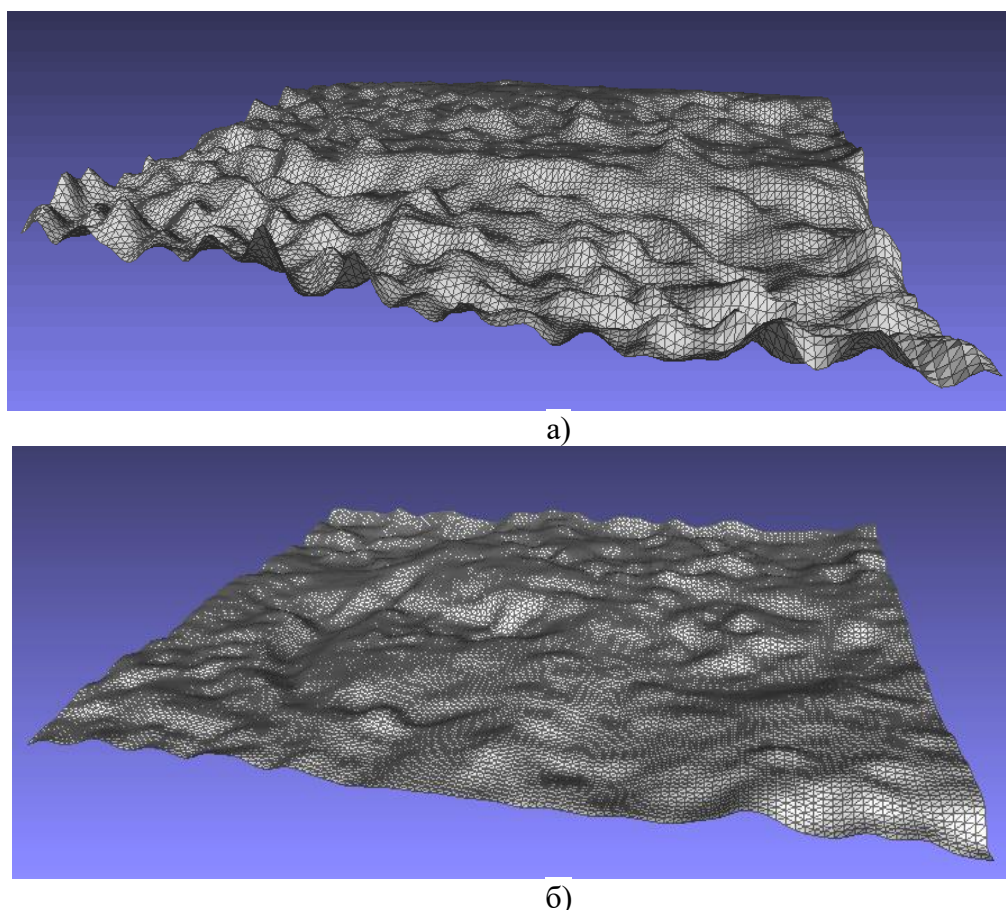


Рис. 1 – Триангуляционные модели рабочей поверхности исходного алмазного круга (а) и после 15-ти минут шлифования (б).

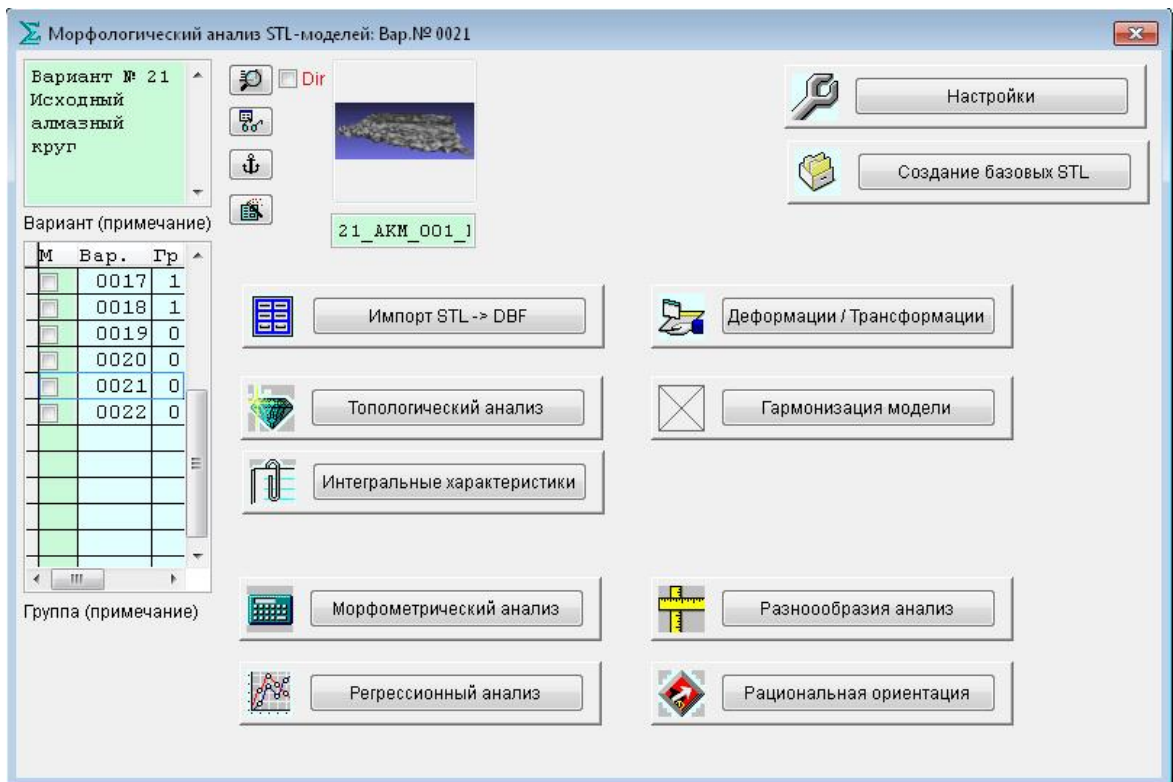


Рис. 2 – Главное окно системы морфологического анализа

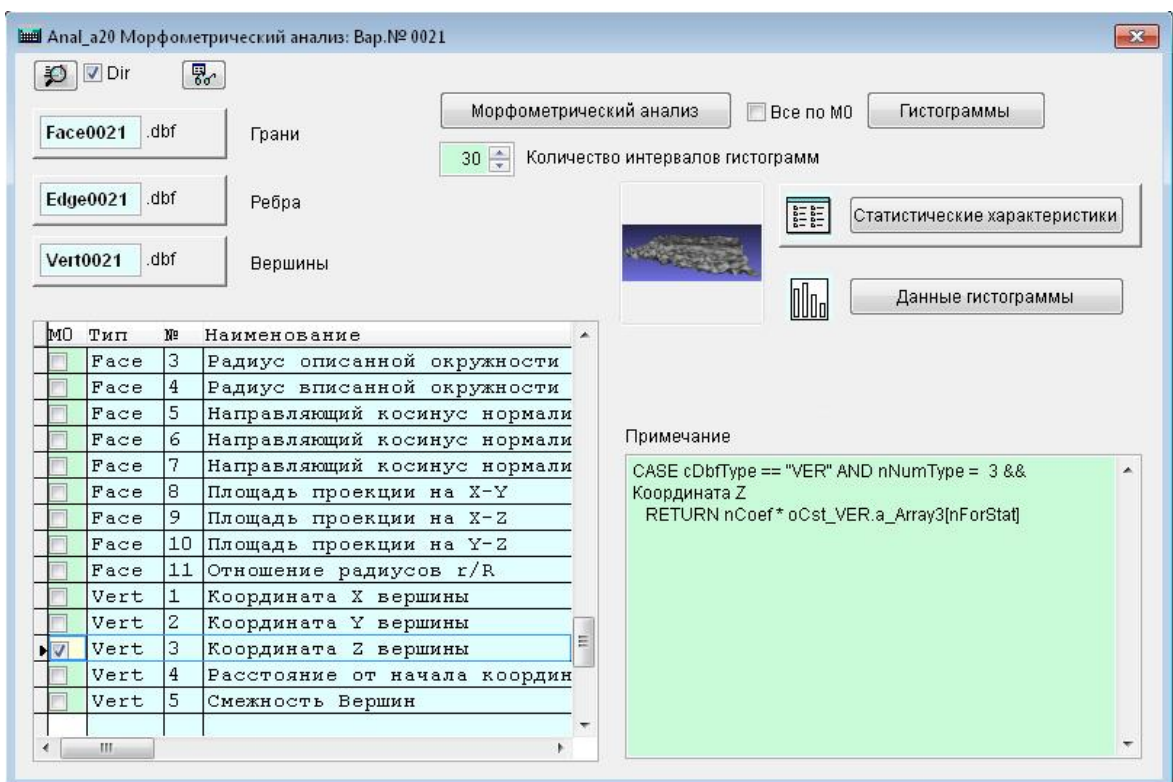


Рис. 3 – Подсистема морфометрического анализа триангуляционной модели

Значения относительной частоты визуализируются при наведении курсора на соответствующий столбец гистограммы (рис. 4).

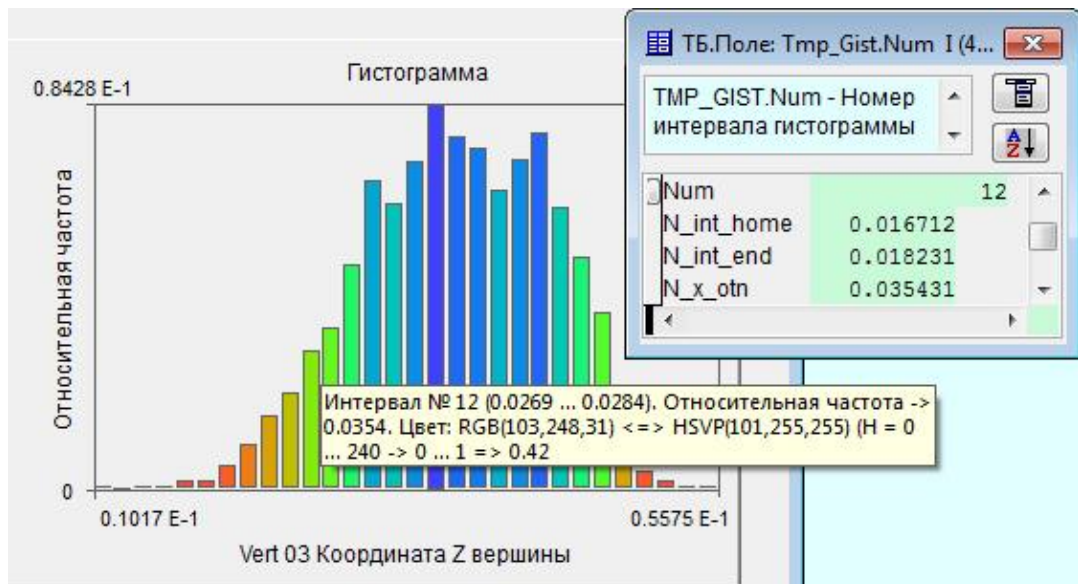
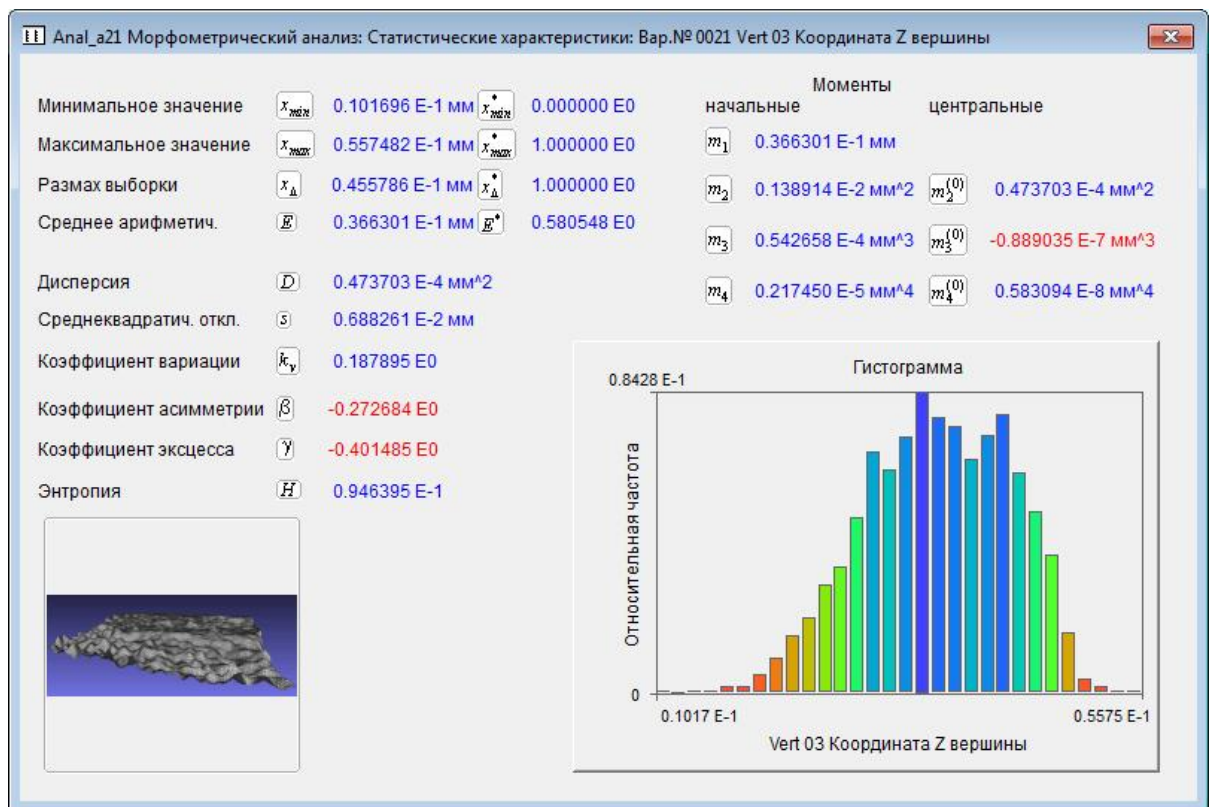
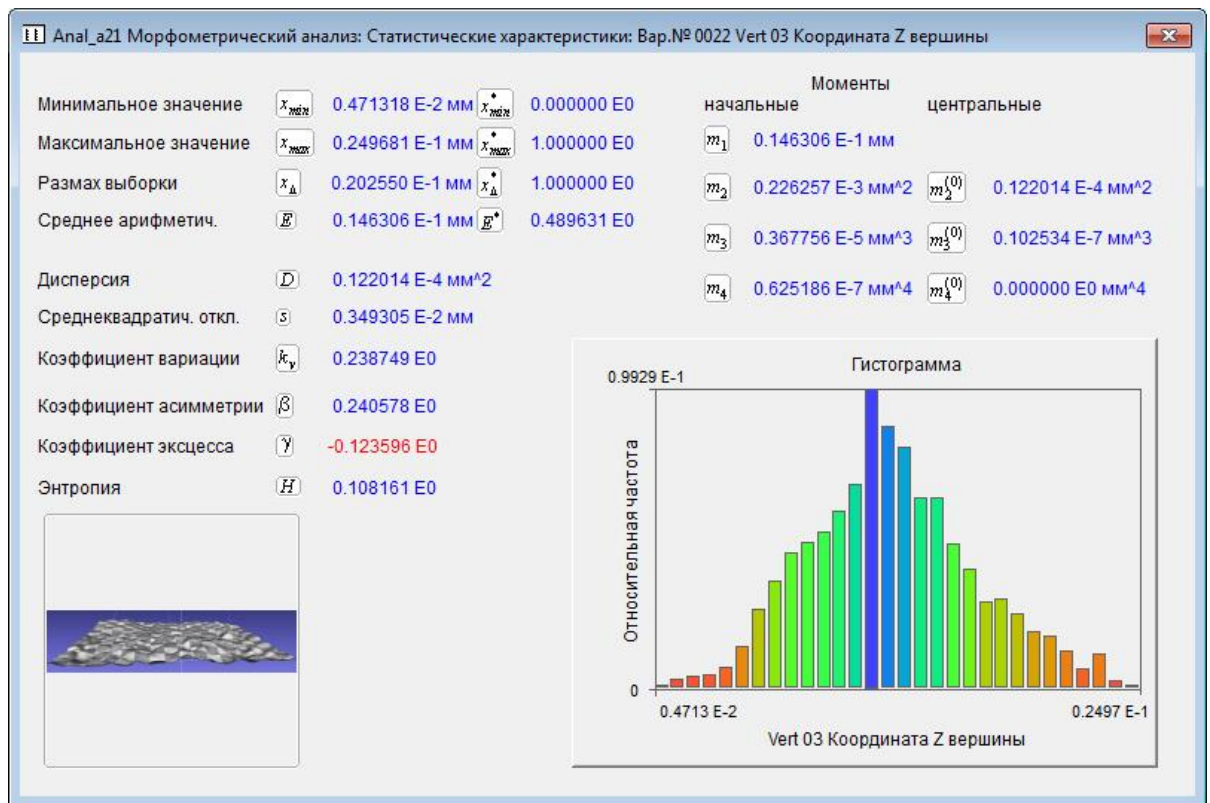


Рис. 4 – Гистограмма относительных частот исследуемого признака

В результате морфометрического анализа были получены статистические характеристики и гистограммы координат Z вершин триангуляционной модели рабочей поверхности исходного заправленного круга (рис. 5, а) и круга после шлифования (рис. 5, б).



а)



б)

Рис. 5 – Статистические характеристики и гистограммы относительных частот координат  $Z$  триангуляционных моделей рабочей поверхности заправленного круга (а); и круга после шлифования (б)

Таблица 1 – Статистические характеристики величин координат  $Z$  триангуляционных моделей рабочей поверхности алмазного круга

Статистический параметр	Круг после электро-эрозионного формообразования (исследуемый параметр 1)	Круг после шлифования (исследуемый параметр 2)	Отношение параметров моделей ИП1/ИП2
Минимальное значение координаты $Z$ вершин $x_{min}$ , мм	0,010	0,005	2
Максимальное значение координаты $Z$ вершин $x_{max}$ , мм	0,056	0,025	2,24
Размах выборки $x_{\Delta}$ , мм	0,046	0,020	2,3
Среднее арифметическое $E$ , мм	0,037	0,014	2,643
Среднеквадратическое отклонение $S$ , мм	0,007	0,003	2,5
Коэффициент вариации $k_v$	0,188	0,239	0,787
Коэффициент асимметрии $\beta$	-0,273	0,241	-1,133

Коэффициент эксцесса $\gamma$	-0,401	-0,124	3,234
Энтропия $H$	0,095	0,108	0,88

Размахи выборок и среднеквадратические отклонения координат  $Z$  вершин соответственно равны 0,037 и 0,007 мм для модели исходного заправленного круга, после обработки 0,020 и 0,003 мм, что свидетельствует об износе алмазных зерен рабочей поверхности инструмента в процессе обработки.

Анализ гистограмм относительных частот величин координат  $Z$  триангуляционных моделей рабочей поверхности заправленного круга и круга после шлифования позволяет заключить следующее:

- изменение величины среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации координат  $Z$  вершин соответственно в 2,5 и 0,787 раза, что наглядно демонстрирует увеличение разброса исследуемого признака;

- мода относительной частоты величин координат  $Z$  смещается в область меньших величин координат (относительная частота 0,0843 для интервала 0,0345÷0,0360 первой модели и 0,0993 для интервала 0,0135÷0,0142). Анализ полученных данных позволяет сделать заключение о снижении развитости рельефа рабочей поверхности исследуемого алмазного круга на металлической связке после обработки твердого сплава.

**Выводы:** 1. Проведенные исследования показали достаточную работоспособность предложенного подхода к оценке развитости рельефа рабочей поверхности алмазных кругов на металлической связке путем выполнения морфометрического анализа его триангуляционной модели по координатам  $Z$  вершин.

2. Оценка размаха выборки и относительной частоты гистограмм координат  $Z$  вершин триангуляционных моделей круга после электроэрозионного формообразования рабочей поверхности и затупленного круга показывает существенное возрастание относительного количества вершин со средними значениями высотных координат, что подтверждает сглаживание неровностей рельефа рабочей поверхности инструмента в процессе шлифования.

3. Рассмотренный подход создает предпосылки для рационального выбора способа формообразования рабочей поверхности инструмента и эффективной оценки его периода стойкости.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Захаренко И.П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента. – К.: Наукова думка, 1981. – 300 с.

2. Основы алмазного шлифования / Семко М.Ф., Грабченко А.И., Раб А.Ф., Узунян М.Д., Пивоваров М.С. / Под общ. ред. М.Ф. Семко. – К.: Техніка, 1978. – 192 с.

3. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с.

4. Семко М.Ф., Грабченко А.И., Ходоревский М.Г. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов. – Харьков: Вища школа, 1980. – 192 с.

5. Namba, Y., Yamada, Y., Tsuboi, A., Unno, K., Nakao, H., 1992, Surface Structure of Mn-Zn Ferrite Single Crystals Ground by an Ultraprecision Surface Grinder with Various Diamond Wheels, Annals of CIRP. 41/1: P. 347-351.

6. Высокопроизводительное электроалмазное шлифование инструментальных материалов / Семко М.Ф., Внуков Ю.Н., Грабченко А.И., Залого В.А., Раб А.Ф. – К.: Вища школа, 1979. – 232 с.

7. Худобин Л.В., Унянин А.Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов:

Монография. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 298 с.

8. Доброскок В.Л. Повышение стабильности процесса шлифования путем управления рельефом рабочей поверхности алмазных кругов: Дис... канд. техн. наук: 05.03.01. – Ростов на Дону, 1986. – 253 с.

9. Грабченко А. И. Научные основы алмазного шлифования сверхтвердых поликристаллических материалов: Диссертация в форме научного доклада докт. техн. наук: 05.03.01. – Харьков, 1995. – 59 с.

10. Захаренко И.П. Алмазные инструменты и процессы обработки. – К.: Техника, 1980. – 215 с.

11. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. д-ра техн. наук проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.

12. Байкалов А.К. Введение в теорию шлифования материалов. – К.: Наукова думка, 1978. – 207 с.

13. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.

14. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки металлов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.

15. Справочник по алмазной обработке металлорежущего инструмента / Под ред. В.Н. Бакуля. – К.: Техника, 1971. – 208 с.

16. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.

17. Доброскок В.Л. Научные основы формирования рабочей поверхности кругов на токопроводных связках в процессе шлифования: Дис... докт. техн. наук: 05.03.01 – Харьков, 2001. – 447 с.

18. Dornfeld, D., Liu, J.J.B., 1993, Abrasive Texturing and Burnishing Process Monitoring Using Acoustic Emission, Annals of CIRP, 42/1: P. 397-400.

19. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования. – Харьков: Вища шк., 1985. – 184 с.

20. Зубарев Ю.М., Миханович М.В. Математическое обоснование методики измерения износа абразивных кругов // С-Пб, «Инструмент и технологии» 2004, №21-22, с. 59-63.

21. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.

22. Муцяно В.И. Основы выбора шлифовальных кругов и подготовка их к эксплуатации. – Л., Машиностроение, 1987. – 134 с.

23. Лолодзе Т.Н., Бокучава Г.В. Износ алмазов и алмазных кругов. – М.: Машиностроение, 1967. – 112 с.

24. Способ исследования неровностей поверхности. А.с. 1054669 СССР, МКИ G 01 В 5/28. / В.Л. Доброскок, В.Ф. Дрожин, А.И. Грабченко, А.И. Михайлов. № 3360097/15-28; Заявлено 20.11.81; Опубл. 15.11.83, Бюл. № 42.

25. Цехин А.А. Повышение эксплуатационных характеристик шлифовальных кругов на бакелитовой связке путем использования классифицированного по форме зерна: Дис... канд. техн. наук: 05.03.01. – Кемерово, 2011. – 176 с.

26. Доброскок В.Л. Получение триангуляционной модели рельефа рабочей поверхности шлифовальных кругов / Доброскок В.Л., Шпилька А.Н., Котляров В.Б. // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2014. – Вып.84.– С. 85-92.

27. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Федорович В.А. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования: Учебн. пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.

28. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении: Уч. пособие / Под. ред. А.И. Грабченко. – Харьков: ХГПУ, 1999. – 436 с.

29. Доброскок В.Л., Фадеев В.А. Гаращенко Я.Н., Чернышов С.И. Морфологический анализ триангуляционных моделей промышленных изделий // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2011. – Вып. 79. – С. 52-63.