

УДК 621.7.06

## Визуализация поверхности деталей после магнитной галтовки в магнитно-абразивном устройстве

В.А. Полетаев, Л.К. Чернов,  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
г. Иваново, Российская Федерация  
E-mail: poletaev@tam.ispu.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Существующие конструкции магнитно-абразивных устройств не позволяют производить их реконструкцию путем изменения расположения и количества постоянных магнитов на подвижных диске и борте. Необходимы разработка новых конструкций таких устройств и исследование полирования деталей в целях повышения их качества.

**Материалы и методы:** Процесс полирования деталей осуществляется с использованием магнитных полей, создаваемых при помощи постоянных магнитов разной конфигурации и количества из различных материалов, а также смазочно-охлаждающих сред разных составов.

**Результаты:** Разработан метод визуализации поверхностей деталей после магнитной галтовки. Приведены результаты отделочной обработки деталей из цветных сплавов при расположении двадцати двух постоянных магнитов на подвижных диске и борте магнитно-абразивного устройства. Установлено, что съем металла и величина шероховатости поверхности зависят от расположения постоянных магнитов на подвижных диске и борте магнитно-абразивного устройства и их вращения относительно друг друга.

**Выводы:** Представленный метод визуализации поверхностей деталей после магнитной галтовки металлов позволяет существенно повысить качество их поверхностей.

**Ключевые слова:** галтовка, магнитная галтовка, частица наполнителя, постоянный магнит.

## Investigation of magnetic tumbling in magnetic abrasive device

V.A. Poletayev, L.K. Chernov  
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation  
E-mail: poletaev@tam.ispu.ru

### Abstract

**Background:** The existing structure of magnetic abrasive devices does not allow their reconstruction by changing the location and the number of permanent magnets on the moving disk and bead. It is necessary to develop new designs for such devices and to study the techniques of polishing their parts in order to increase their quality.

**Materials and Methods:** The parts are polished by using magnetic fields generated by permanent magnets of different shapes and number, composed of different materials, as well as by lubricating and cooling mediums of different compositions.

**Results:** We have developed a method of imaging the surface of the parts after magnetic tumbling. The paper presents the results of the finishing treatment of the parts made of non-ferrous alloys by placing twenty-two permanent magnets on the moving disk and bead of the magnetic abrasive device. It has been found that the metal removal and surface roughness degree depend on the location of the permanent magnets on the moving disk and bead of the magnetic abrasive devices and their rotation in relation to each other.

**Conclusions:** The presented method of visualizing the surfaces of the parts after magnetic tumbling of metals makes it possible to improve the quality of their surfaces significantly.

**Key words:** tumbling, magnetic tumbling, filler particle, permanent magnet.

При магнитной галтовке обработка происходит в неподвижном рабочем объеме, окруженном постоянными магнитами, в который загружены наполнитель, представляющий короткие обоюдоострые иглы, обрабатываемые детали и смазочно-охлаждающая технологическая среда. Полирование деталей происходит за счет соударения перемещаемого магнитным полем наполнителя и обрабатываемых деталей [1–4].

Для изучения и анализа изменения рельефа поверхности деталей после магнитной галтовки использована методика трехмерного компьютерного моделирования. Моделирование текстуры поверхности позволяет перейти от ли-

нейно-выборочного анализа микрорельефа к трехмерному топографическому представлению, исследовать тенденцию поведения микрорельефа. Для построения модели использовалась программная среда трехмерного моделирования 3D Studio MAX. Использование данных измерений профилографа и оцифровки полученных изображений позволило смоделировать 3D поверхности образцов, визуализирующие шероховатость поверхностей образцов. Такое моделирование позволяет наглядно увидеть, оценить и проанализировать каждый шаг исследований по изменению качественных характеристик поверхности исследуемых

образцов. Порядок построения трехмерной модели следующий.

На первом этапе собирается параметрическая информация модели. Для этого с исследуемой поверхности снимаются (сканируются) профилограммы.

Далее для возможности обработки при помощи вычислительной техники производится оцифровка профилограмм. Полученные файлы оцифровки передаются в среду трехмерного моделирования 3D Studio MAX посредством программного плагина XY-spline.

Третьим этапом является создание базовой модели поверхности, состоящей из набора сплайнов. Базовая модель параметризуется согласно полученным профилограммам и приобретает при визуализации форму поверхности, адекватную реальной. Степень адекватности определяется степенью синхронизации сканирования, точностью оцифровки профилограмм, дискретностью базовой модели.

Для создания трехмерной модели поверхности образца использовались профилограммы и фотографии участка поверхности исследуемого образца металла. Профилограммы получены на профилографе-профилометре модели БВ-7669, а фотография участка поверхности – при помощи металлографического микроскопа ЛОМО МЕТАМ. Моделирование проводилось в программе 3d Max. Профилограммы записывались на участке в трех направлениях, два из которых расположены параллельно друг другу, а третий – перпендикулярно. Для получения трехмерной модели поверхности образца из профилограммы берут значения  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  для каждого измерения величины шероховатости. На рис. 1 показана профилограмма металлической поверхности, а на рис. 2 – фотография моделируемого участка.

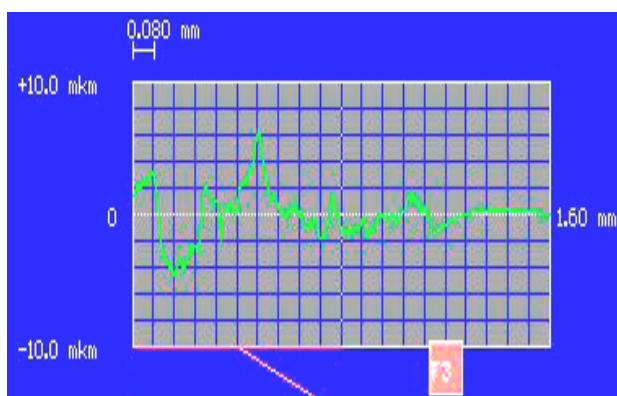


Рис. 1. Профилограмма металлической поверхности

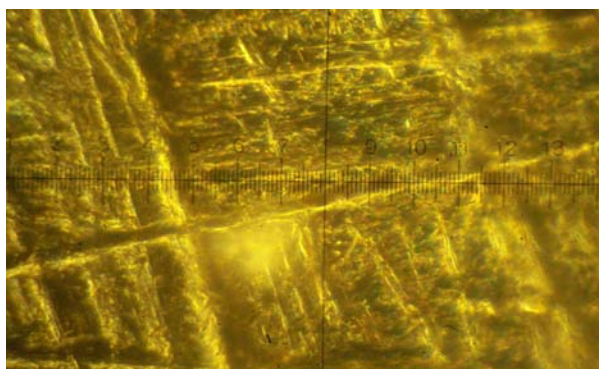


Рис. 2. Фотография моделируемого участка (увеличение x40)

Для каждого типа неровности есть значение средней глубины  $L$ .

Для создания трехмерной области использовалось среднее для трех замеров значение ( $H_{i \min}$  и  $H_{i \max}$ ) по каждой профилограмме. По полученным значениям шероховатости поверхности и профилограмме можно определить значение величины  $L$  для каждого типа неровности (1, 2, 3):

$$L_1 = \frac{1}{3} \sum R_{max}; \quad (1)$$

$$L_2 = \frac{\frac{1}{3} \sum (H_{i2 \max} - H_{i2 \min}) + k_1 \frac{1}{3} \sum R_z}{2}; \quad (2)$$

$$L_3 = \frac{\frac{1}{3} \sum (H_{i3 \max} - H_{i3 \min}) + k_2 \frac{1}{3} \sum R_a}{2}, \quad (3)$$

где  $k$  – понижающий коэффициент, введенный для корректирования значений  $R_z$  и  $R_a$ .

Коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  определяются по формулам:

$$k_1 = \frac{1}{3} \sum \frac{n - n_1}{n}; \quad (4)$$

$$k_2 = \frac{1}{3} \sum \frac{n - n_2}{n}, \quad (5)$$

где  $n$  – общее число ячеек в профилограмме;  $n_1$  – число ячеек, в которых значение отклонения профиля от линии  $m$  превышает  $\frac{R_z}{2}$ ;  $n_2$  – число ячеек, в которых значение отклонения профиля от линии  $m$  превышает  $\frac{R_a}{2}$ .

Для создания трехмерной модели шероховатой поверхности металлического образца сначала моделируется в масштабе плоскость с размерами 300x200 мм и размерами моделируемого участка 1,8x1 мм с заданными конечными элементами – вершинами. Плоскость содержит 200x200 ячеек (рис. 3).

На плоскость наносится текстура, созданная из фотографии моделируемого участка поверхности (рис. 4).

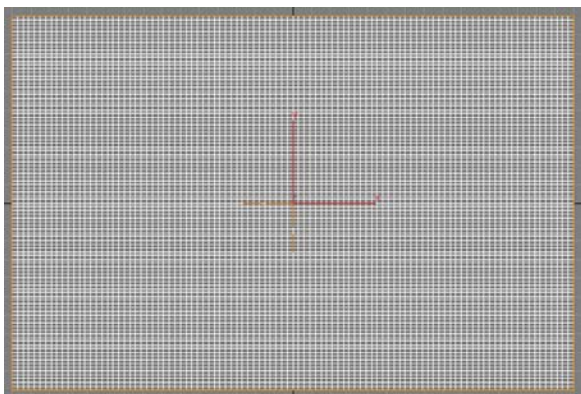


Рис. 3. Моделируемая поверхность

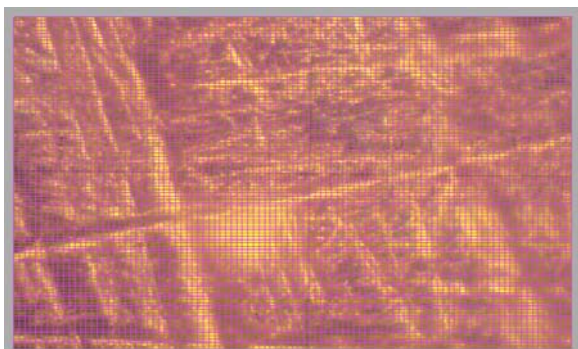


Рис. 4. Моделируемая поверхность с нанесенной текстурой

На плоскости определяются вершины, соответствующие областям неровности типа 1, и им задается в масштабе, указанном выше, величина  $L_1 = 6195$  мкм (6), причем ее значение после приведения в соответствии с действующим в модели масштабом умножается на 10 для упрощения визуального восприятия модели. Неровностям типа 2 и 3 таким же образом задаются величины  $L_2 = 2,359$  мкм (8) и  $L_3 = 1,01$  мкм (10) соответственно.

Моделируемая поверхность с заданными величинами  $L$  для каждого типа неровностей принимает вид, показанный на рис. 5:

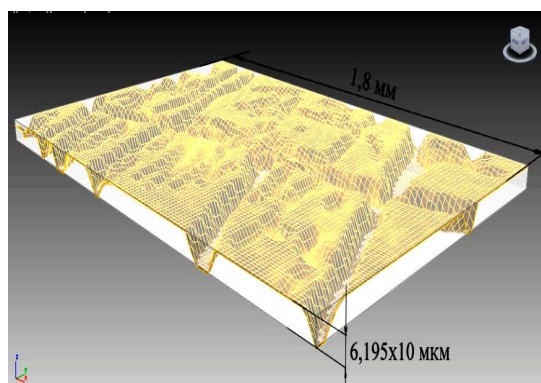


Рис. 5. Моделируемая поверхность с заданными величинами  $L$

При помощи специального оператора программы, в которой проводится моделирование поверхности, задается общая величина случайной неровности  $R$ :

$$R = \frac{1}{3} \sum (H_{i3\max} - H_{i3\min}) k_2. \quad (6)$$

Оператор задает моделируемому участку неровность с максимальным значением отклонения от средней плоскости поверхности, равным  $R$  (рис. 6).

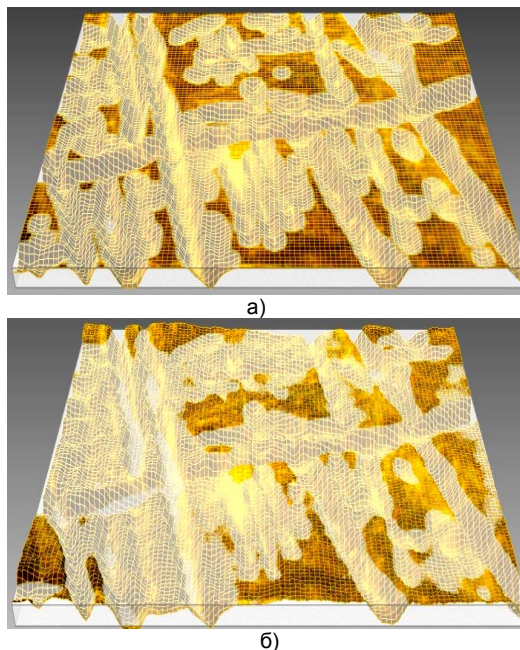


Рис. 6. Моделируемая поверхность: а – без заданной величины  $R$ ; б – с заданной величиной  $R$

После выполнения всех операций моделирования программой рассчитывается рендер поверхности (рис. 7).

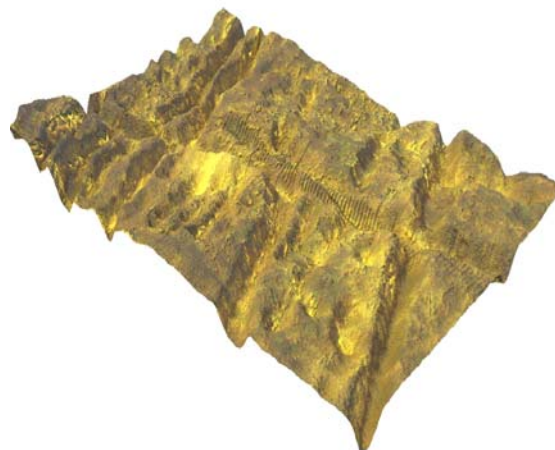


Рис. 7. Трехмерная модель участка поверхности образца

Полученную трехмерную модель можно считать адекватной моделью участка поверхности образца, так как в ней учтены значения шероховатости, полученные по трем замерам на этом участке. Так же в построении модели была использована фотография данного участка как источник информации о расположении неровностей на поверхности участка.

Обработка деталей из латуни марки Л63 методом магнитного галтования производилась в различных СОТС с составом №1 [5], содержа-



щим бис-алкил, полиоксиэтилен фосфат калия, моноэтаноламиды синтетических жирных кислот, циклогексанон, бакцид и воду, и составом №2 [6], содержащим бис-алкил, полиоксиэтилен фосфат калия, моноалкиловые эфиры полиэтиленгликоля на основе первичных жирных кислот, глицерин, уксусную кислоту и воду.

На рис. 8, 9 представлено изменение величины шероховатости  $R_a$  образцов деталей из латуни марки Л63 до и после обработки методом магнитной галтовки.

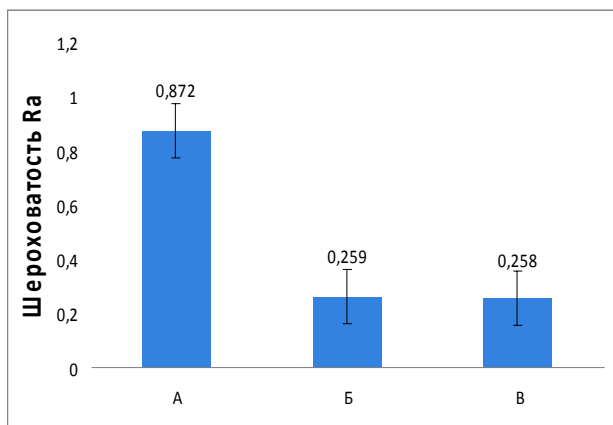


Рис. 8. Изменение величины шероховатости поверхности латунного образца при магнитной галтовке в СОТС № 1: 1 – перед обработкой; 2 – на 30-й минуте обработки; 3 – после обработки

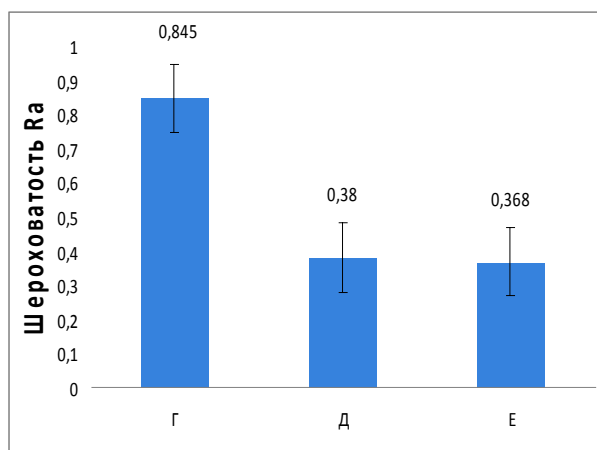


Рис. 9. Изменение величины шероховатости поверхности латунного образца при магнитной галтовке в СОТС №2: 1 – перед обработкой; 2 – на 30-й минуте обработки; 3 – после обработки

Анализ полученных результатов (рис. 8, 9) показывает, что наиболее эффективна обработка деталей при использовании СОТС составом № 1.

На рис.10 представлено изменение рельефа поверхностей деталей из латуни марки Л63 методом магнитной галтовки до обработки (а) и после обработки (б) в различных СОТС с составами №1 и №2.

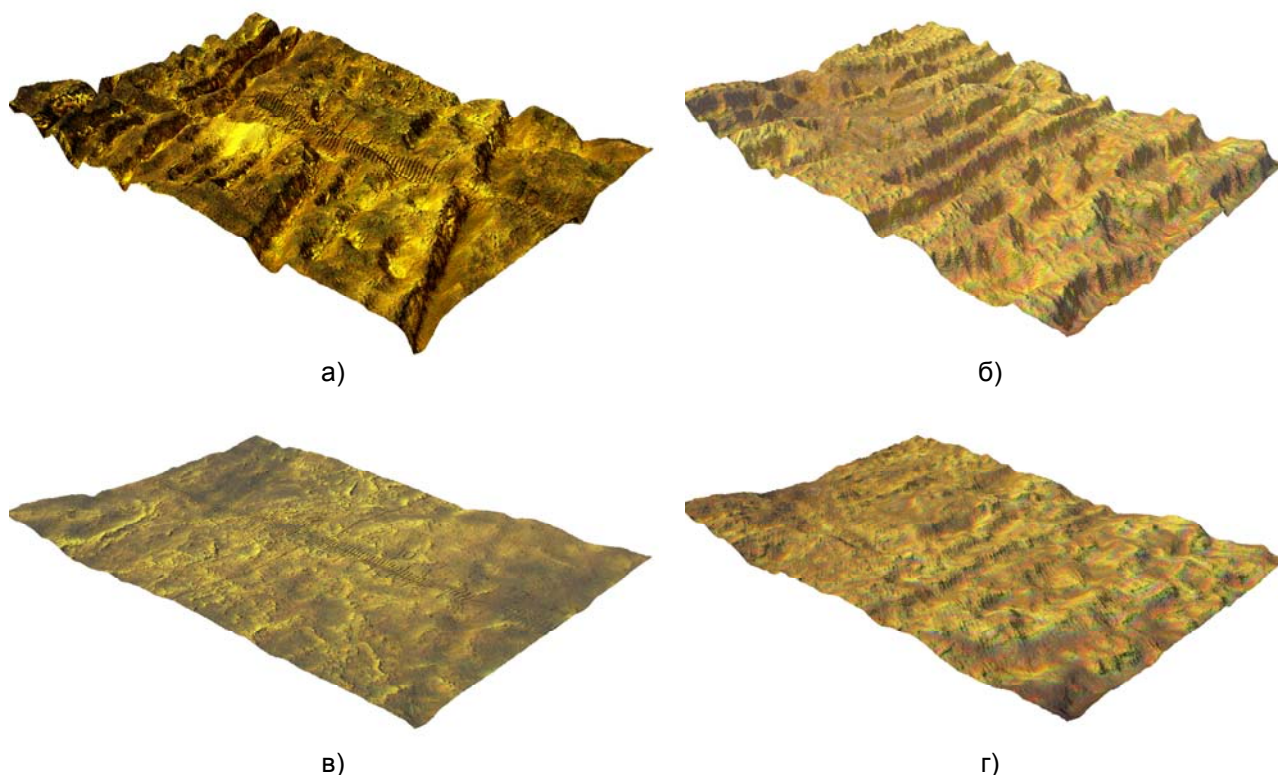


Рис. 10. Изменение рельефа поверхностей деталей из латуни марки Л63 методом магнитной галтовки в различных СОТС (увеличение  $\times 40$ ): а – СОТС с составом №1 до обработки ( $R_a = 0,872$  мкм); б – СОТС с составом №2 до обработки ( $R_a = 0,845$  мкм); в – СОТС с составом №1 после обработки ( $R_a = 0,258$  мкм); г – СОТС с составом №2 после обработки ( $R_a = 0,368$  мкм)

Анализ полученных результатов моделирования обработки магнитно-абразивной галтовкой изделий из латуни марки Л63 в различных СОРТС показал, что съём металла и величина шероховатости обработанной поверхности  $R_a$  при использовании СОРТС с составом №1 меньше, чем при использовании СОРТС с составом №2. Это может означать, что СОРТС №2 эффективнее СОРТС №1 при съеме металла, но качество обработанной поверхности при этом ухудшается. Кроме того, выявлено, что съём металла деталей и величина шероховатости поверхности  $R_a$  в ходе отделочной обработки при вращении подвижных диска и борта в разные стороны меньше, чем при вращении подвижных диска и борта в одну сторону.

#### Список литературы

1. Хомич Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий. – Минск: БНТУ, 2006. – 218 с.
2. Пат. на полезную модель РФ № 97076. Устройство для магнитно-абразивной галтовки / В.А. Полетаев, Н.Л. Павлюкова, Л.К. Чернов. Оpubл. в Б.И. №24, 27.08.2010.
3. Пат. на полезную модель РФ № 111795. Устройство для магнитно-абразивной галтовки / В.А. Полетаев, Л.К. Чернов. Оpubл. в Б.И. № 36, 27.12.2011.
4. Полетаев В.А., Чернов Л.К., Степанова Т.Ю. Исследование процесса магнитной галтовки в магнитно-абразивном устройстве // Вестник ИГЭУ. – 2012. – № 4. – С. 42–45.

Полетаев Владимир Алексеевич,  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии автоматизированного машиностроения,  
телефон (4932) 26-97-72,  
e-mail: poletaev@tam.ispu.ru

Чернов Леонид Константинович,  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
инженер кафедры технологии автоматизированного машиностроения,  
телефон (4932) 26-97-73,  
e-mail: led@dsn.ru

5. Пат. 2261268. Российская Федерация. Смазочно-охлаждающая технологическая среда для обработки цветных металлов / Н.Л. Павлюкова, В.А. Полетаев, В.В. Марков. Оpubл. в Б.И. №27, 2005.

6. Пат. 2441060. Российская Федерация. Смазочно-охлаждающая технологическая среда для обработки цветных металлов / В.А. Полетаев, Н.Л. Павлюкова, Л.К. Чернов. Оpubл. в Б.И. № 3, 2012.

#### References

1. Khomich, N.S. *Magnitno-abrazivnaya obrabotka izdeliy* [Magnetic abrasive treatment of manufactured products]. Minsk, BNTU, 2006. 218 p.
2. Poletaev, V.A., Pavlyukova, N.L., Chernov, L.K. *Ustroystvo dlya magnitno-abrazivnoy galtovki* [Magnetic abrasive tumbling device]. Patent RF, no. 97076, 2010.
3. Poletaev, V.A., Chernov, L.K. *Ustroystvo dlya magnitno-abrazivnoy galtovki* [Magnetic abrasive tumbling device]. Patent RF, no. 111795, 2011.
4. Poletaev, V.A., Chernov, L.K., Stepanova, T.Yu. Issledovanie protsessa magnitnoy galtovki v magnitno-abrazivnom ustroystve [Research into magnetic tumbling in magnetic abrasive devices]. *Vestnik IGEU*, 2012, no. 4, pp. 42–45.
5. Pavlyukova, N.L., Poletaev, V.A., Markov, V.V. *Smazochno-okhlazhdayushchaya tekhnologicheskaya sreda dlya obrabotki tsvetnykh metallov* [Lubricating and cooling technological medium for nonferrous metal treatment]. Patent RF, no. 2261268, 2005.
6. Poletaev, V.A., Pavlyukova, N.L., Chernov, L.K. *Smazochno-okhlazhdayushchaya tekhnologicheskaya sreda dlya obrabotki tsvetnykh metallov* [Lubricating and cooling technological medium for nonferrous metal treatment]. Patent RF, no. 2441060, 2012.