

## Международный открытый форум International open forum

Обзорная статья  
Статья в открытом доступе  
УДК 621.357.74:76  
doi: 10.30987/2782-5957-2022-9-47-54

### КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ АБРАЗИВНОЙ СРЕДЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛИ

**Владимир Александрович Скрябин<sup>1✉</sup>, Роман Алексеевич Захарченко<sup>2</sup>, Кристина Алексеевна Абрикосова<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>1</sup> vs\_51@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7156-9198>

<sup>2</sup> roma.zakharchenko99@mail.ru

<sup>3</sup> kristinaabrikosova@gmail.com

#### Аннотация

Целью исследования является создание аналитических зависимостей при определении технологических режимов силового воздействия незакрепленного шлифовального материала на поверхность обрабатываемой детали. Задачи, решению которых посвящена статья, заключается в создании математических моделей, описывающих воздействие рабочей среды на плоскую поверхность обрабатываемой детали и численное обоснование вероятности вращения абразивных частиц в плане обеспечения требуемой шероховатости. Методы исследования: теоретические исследования проводились на базе основных положений теории резания материалов, теории шлифования, теории упругости и пластичности, Экспериментальные исследования проводились по стандартным методикам в

производственных и лабораторных условиях с использованием аттестованной контрольно-измерительной аппаратуры. Новизна работы заключается в создании математических моделей при определении давления абразивной среды на обрабатываемую поверхность деталей. Выводы: На основании проведенных исследований показано, что наиболее благоприятные условия для обработки в плане обеспечения заданной шероховатости поверхности будут у деталей, радиальные размеры которых находятся в определенном соотношении с радиальным размером эластичной оболочки установки для финишной абразивной обработки.

**Ключевые слова** обработка, частицы, шероховатость, модели, величина, давление, исследования.

Ссылка для цитирования:

Скрябин В.А. Контактное взаимодействие мелкодисперсной абразивной среды с поверхностью обрабатываемой детали / В.А. Скрябин, Р.А. Захарченко, К.А. Абрикосова // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 9. – С. 47 – 54. doi: 10.30987/2782-5957-2022-9-47-54.

Review article  
Open Access Article

### CONTACT INTERACTION OF FINE ABRASIVE MEDIUM WITH THE WORK PIECE SURFACE

**Vladimir Aleksandrovich Scryabin<sup>1✉</sup>, Roman Alekseevich Zakharchenko<sup>2</sup>, Kristina Alekseevna Abrikosova<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Penza State University, Penza, Russia

<sup>1</sup> vs\_51@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7156-9198>

<sup>2</sup> roma.zakharchenko99@mail.ru

<sup>3</sup> kristinaabrikosova@gmail.com

#### Abstract

The study objective is to make analytical dependencies in finding the operating modes of the force action of loose grinding material on the surface of the

work piece. The tasks to which the paper is devoted are to make mathematical models describing the effect of the working medium on the flat work piece surface and

the numerical justification of the probability of abrasive particles rotation for ensuring the required roughness. Research methods: theoretical studies are carried out on the basis of theoretical provisions of cutting materials, grinding, elasticity and plasticity. Experimental studies are carried out according to standard methods in production and laboratory conditions using certified equipment. The novelty of the work is in developing mathematical models for determining the

pressure of the abrasive medium on the surface of the parts to be machined. Conclusions: based on the conducted studies, it is shown that the most favorable conditions for machining in terms of ensuring a given surface roughness will be for parts with radial dimensions in a certain ratio with the radial size of the elastic shell of the tool for finishing abrasive treatment.

**Keywords:** treatment, particles, roughness, models, value, pressure, research.

Reference for citing:

Scryabin VA, Zakharchenko RA, Abrikosova KA. Contact interaction of fine abrasive medium with the work piece surface. *Transport Engineering*. 2022; 9:47 – 54. doi: 10.30987/2782-5957-2022-9-47-54.

## Введение

Исследование процессов, протекающих в зоне контакта зерен инструмента с обрабатываемым материалом, является весьма актуальной задачей, так как знание механизма образования обрабатываемой поверхности позволяет прогнозировать качество поверхности детали. Ввиду того, что обработка незакрепленным абразивом является процессом массового микрорезания отдельными абразивными зернами, то направление исследований определялось закономерностью резания единичным зер-

ном, что позволило значительно упростить анализ явлений, протекающих при данном способе финишной обработки [1-4].

В связи с этим целью исследования является разработка и обоснование аналитических зависимостей для расчета режимов и параметров контактного взаимодействия мелкодисперсной абразивной среды с поверхностью деталей для обеспечения требуемой шероховатости обработанной поверхности.

## Материалы, модели, эксперименты и методы

Процессы воздействия абразивных частиц на поверхность детали связаны с моделированием формы самих частиц и их режущих элементов [1-4]. Исследования показали, что все они моделируются в первом приближении эллипсоидом вращения. Результаты экспериментов показали их хорошую сходимость с эллипсоидом вращения (рис. 2).

Формы режущих элементов незакрепленных частиц приведен на рис.1. При диспергировании материала с поверхности обрабатываемой детали, доминирующее значение принадлежит микровыступам и субмикро-выступам поверхности абразивных частиц [3, 4].

В работах [1-6] установлено, что при обработке деталей статически уплотненной мелкодисперсной абразивной средой с увеличением ее давления на обрабатываемую поверхность, при неизменности остальных параметров, интенсивность воздействия рабочей среды может, как увеличиваться, так и уменьшаться.

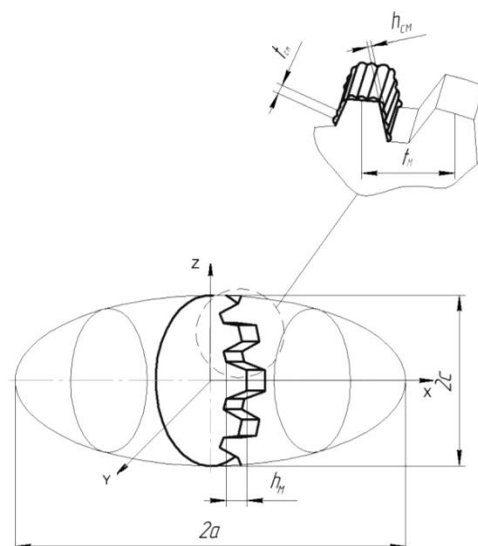


Рис.1. Форма абразивной частицы:  $a$  и  $c$  – полуоси эллипсоида вращения,  $h_m$  – высота выступа микрорельефа,  $h_{cm}$  – высота выступа субмикрорельефа,  $t_m$  – средний шаг выступов микрорельефа,  $t_{cm}$  – средний шаг выступов субмикрорельефа  
 Fig.1. The shape of the abrasive particle:  $a$  and  $c$  are the semi axes of the ellipsoid of rotation,  $h_m$  is the height of the micro relief projection,  $h_{cm}$  is the height of the submicrorelief projection,  $t_m$  is the average pitch of the micro relief projections,  $t_{cm}$  – the average pitch of the projections of the submicrorelief

Следует отметить, что способ обработки плоских поверхностей деталей [7] уплотненной мелкодисперсной средой отличается простотой и доступностью. При этом широкий диапазон изменения технологических параметров процесса обеспечивает возможность его использования для обработки деталей из самых различных материалов и самой различной формы [14].

Установка (рис. 2) содержит корпус 1, эластичную цилиндрическую оболочку 2, две крышки для крепления эластичной оболочки 3 и 4, уплотнения окон входа-

выхода деталей 5 и 6, стакан 7, в котором размещаются уплотнения, две прижимные крышки 8 и 13, редукционный пневмоклапан 12 с манометром, соединенный с питающей пневмосетью, оправку для установки детали 9 с креплением 10 и кулачковый механизм 11, задающий детали возвратно-поступательное движение с остановками в конце каждого хода [13]. Вся установка жестко закреплена на столе вертикально-сверлильного станка и соединена с его шпинделем. Частота вращения выходного вала двигателя станка  $n$  достигает  $1000 \text{ мин}^{-1}$ .

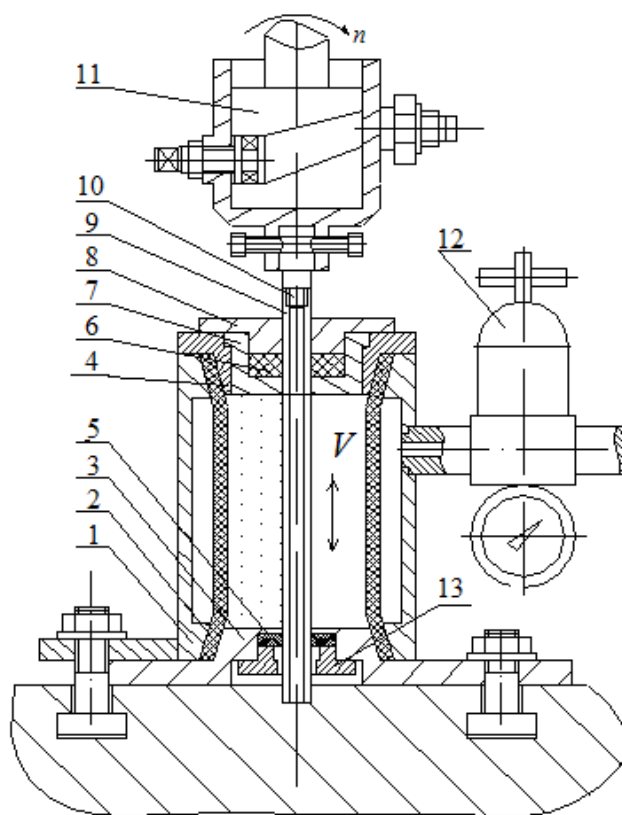


Рис. 2. Установка для камерной абразивной обработки плоских поверхностей деталей

*Fig.2. Installation for chamber abrasive treatment of flat surfaces of parts*

Работа схемы установки осуществляется следующим образом. Образец детали с плоскими поверхностями помещают внутрь рабочей емкости установки, после чего туда засыпают абразивную среду, устанавливают стакан с уплотнением и закрывают верхней крышкой 8. Затем обрабатываемую деталь соединяют со сменным

кулачковым механизмом и устанавливают необходимое давление воздуха, подаваемого из пневмосети, при помощи редукционного пневмоклапана. Давление воздуха фиксируется по показаниям манометра. Обработка происходит при сообщении детали возвратно-поступательного движения [13].

Паз цилиндрического кулачка сprofilирован таким образом, что продолжительность остановки в конце каждого хода составляет  $0,15 \cdot T_{д.х.}$ , где  $T_{д.х.}$  – время двойного хода детали. Конструкция установки допускает регулирование времени двойного хода путем изменения частоты вращения кулачка, который жестко связан со шпинделем станка. Регулирование производится при помощи коробки скоростей [13], а также путем использования сменных шкивов в приводе вертикально-сверлильного станка модели 2А135.

Увеличение интенсивности контактирования рабочей среды с деталью объясняется увеличением давления. Уменьшение интенсивности воздействия рабочей среды на деталь является следствием того, что с увеличением давления увеличивается вероятность поворота абразивных частиц относительно поверхности обрабатываемой детали, которая резко влияет на производительность и качество процесса абразивной обработки.

В соответствии с работами [8,9] радиальное перемещение абразивной среды определяется по следующим зависимостям:

$$U = \frac{1}{E} \left[ (1-\nu)CR - (1+\nu)C_1 \frac{1}{R} \right];$$

$$\sigma_\theta = C - C_1 \frac{1}{R^2}, \quad (1)$$

где  $U$  – радиальное перемещение абразивной среды;  $E$  – модуль упругости;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $R$  – текущее значение радиуса;  $C, C_1$  – произвольные постоянные;  $\sigma_R, \sigma_\theta$  – радиальная и окружная компоненты напряжений соответственно.

Постоянные  $C$  и  $C_1$  определяются как:

$$1. (\sigma_R)_{R=R_1} = P,$$

где  $R$  – наружный радиус уплотненного абразивного слоя (радиус эластичной оболочки камеры устройства), м;  $P$  – давление, приложенное к эластичной оболочке камеры устройства, МПа.

Условие 1 означает, что на поверхности контакта обрабатываемой среды с внутренней поверхностью эластичной оболочки давление равно давлению, при-

кладываемому к внешней поверхности эластичной оболочки сжатым воздухом.

$$2. U_{R=R_2} = 0,$$

где  $R_2$  – радиус детали, мм.

Нулевое значение свидетельствует о том, что на поверхности контакта обрабатываемой среды с поверхностью детали перемещение среды не происходит.

При наличии на поверхности детали плоских участков [10,11], профиль обрабатываемой детали представляется в первом приближении как часть дуги окружности достаточно большого радиуса (рис. 3).

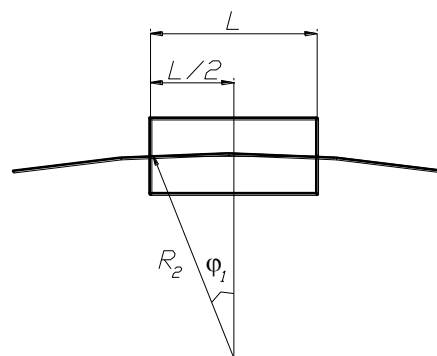


Рис. 3. Профиль обрабатываемой детали  
Fig. 3. Profile of the processed part

Радиус  $R_2$  определяется по следующей зависимости:

$$R_2 = \frac{L}{2 \sin \phi_1}, \quad (2)$$

где  $L$  – длина плоского участка детали, м;  $\phi_1$  – угол, град.

По справочным данным [11]:

$$R_2 = \frac{1}{K_{кр}},$$

где  $K_{кр}$  – кривизна плоского участка (изменяется в диапазоне 0,05...0,001).

При использовании вышеуказанных условий для определения произвольных постоянных имеем [12]:

$$C = P \left[ 1 - \frac{R_2^2}{R_2^2 + \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} R_1^2} \right]; \quad (3)$$

$$C_1 = P \left[ \frac{R_1^2 R_2^2}{R_2^2 + \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} R_1^2} \right]. \quad (4)$$

С учетом (3) и (4) компоненты напряжений можно определить как:

$$\sigma_R = P \left[ 1 - \frac{R_2^2 \left( 1 - \frac{R_1^2}{R_2^2} \right)}{R_2^2 + \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} R_1^2} \right]; \quad (5)$$

$$\sigma_\theta = P \left[ 1 - \frac{R_2^2 \left( 1 + \frac{R_1^2}{R_2^2} \right)}{R_2^2 + \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} R_1^2} \right]. \quad (6)$$

Осевая компонента определяется по зависимости следующим образом [12]:

$$\sigma_z = \nu(\sigma_R + \sigma_\theta) \quad (7)$$

Подставив (2), (5) и (6) в формулу (7) в результате несложных математических преобразований, получим:

$$\sigma_z = 2P\nu \left[ 1 - \frac{L^2}{L^2 + \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} \cdot R_1^2 \cdot 4 \sin^2 \phi_1} \right].$$

Нормальное давление, действующее непосредственно на поверхность детали,

## Результаты

В результате проведенных многочисленных исследований наиболее благоприятные условия обработки будут иметь детали, радиальные размеры которых находятся в определенном соотношении с радиальными размерами эластичной оболочки камеры установки. Соотношение приведенных радиусов эластичной оболочки и детали должно находиться в диапазоне [4,8,9]:

$$0,20 < \frac{R_1}{R_2} < 0,32 \cdot$$

Момент сил, удерживающий абразивную частицу от проворота, может быть определен как:

$$M_1 = \frac{Z}{2} (\sigma_\theta + \sigma_z) f_a K_1,$$

где  $Z$  – зернистость абразива равная  $2a$  по оси эллипсоида вращения в мм (см. рис.1);  $f_a$  – коэффициент межчастичного трения

можно получить из формулы (6) при  $R = R_2$ :

$$P_2 = (\sigma_R)_{R=R_2} = P \left[ 1 - \frac{L^2 - R_1^2 4 \sin^2 \phi_1}{L^2 + \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} R_1^2 4 \sin^2 \phi_1} \right].$$

В результате перемещения детали то возникает момент сил, стремящийся повернуть абразивную частицу вокруг ее осей. Чем больше глубина ее внедрения в поверхность детали, тем больше величина момента, стремящегося повернуть эту частицу и тем больше вероятность того, что абразивная частица будет проворачиваться относительно поверхности детали. Чем больше глубина ее внедрения в поверхность детали, тем больше величина момента, стремящегося повернуть эту частицу и тем больше вероятность того, что абразивная частица будет проворачиваться относительно поверхности детали. Этому противодействуют моменты сил, связанные с увеличением окружной и осевой компонент напряжений, удерживающие абразивную частицу от поворота. В результате прочность закрепления абразивных частиц в рабочей среде увеличивается.

абразивных частиц (согласно исследованиям [12] этот коэффициент составляет 0,213, причем для используемых давлений эта величина является постоянной);  $K_1$  – коэффициент, характеризующий неучтенные параметры, влияющие на прочность закрепления абразивных зерен в конкретной обрабатываемой среде.

Момент сил, поворачивающий абразивное зерно, может быть определен следующим образом:

$$M_2 = \frac{Z}{2} P_2 f_\theta K_2,$$

где  $K_2$  – коэффициент, определяющий момента поворота, причем  $K_1 \neq K_2$ ;  $f_\theta$  – коэффициент трения абразивной частицы с поверхностью детали.

Введем обозначение  $K_1/K_2 = K$  [14]. Значение коэффициента  $K$  экспериментально может быть определено при  $\lambda = 1$ .

В работе [1-4] экспериментально было определено значение коэффициента  $K$ . Его численная величина составила 0,03.

При вводе следующих обозначений получим следующее соотношение двух моментов:

$$M_1/M_2 = \lambda.$$

Как показали результаты многочисленных исследований при  $\lambda < 1$  абразивные частицы, контактирующие с поверхностью детали, будут проворачиваться, при  $\lambda = 1$  абразивные частицы будут нахо-

## Заключение

Получены математические модели для расчета давления статически уплотненного шлифовального материала на обрабатываемую поверхность деталей с учетом вероятности поворота абразивных частиц относительно нее в плане обеспечения заданной шероховатости поверхности детали.

Предлагаемые математические модели для определения режимных параметров и методика абразивного воздействия незакрепленной уплотненной обрабатывающей среды на поверхность детали дают достаточно полное представление о возможных взаимодействиях абразивных частиц с поверхностью при формировании на ней требуемой шероховатости и могут быть использованы для определения основных технологических режимов процесса обра-

даться в неустойчивом состоянии и при  $\lambda > 1$  поворот абразивных частиц будет исключен.

Если  $\lambda < 1$ , то получить требуемую шероховатость поверхности при конкретных параметрах процесса не представляется возможным. Если  $\lambda > 1$ , то возможно получение требуемой шероховатости поверхности при давлении абразивного слоя на поверхности детали в диапазоне  $P_2 = 0,05 - 0,2$  МПа.

ботки поверхностей деталей мелкодисперсными абразивными средами.

На основании полученных математических моделей и результатов проведенных экспериментальных исследований показано, что наиболее благоприятные условия для обработки в плане обеспечения шероховатости поверхности будут у деталей, радиальные размеры которых находятся в определенном соотношении с радиальным размером эластичной оболочки установки для финишной абразивной обработки. Кроме того, соотношение моментов сил, удерживающих абразивную частицу от проворота и стремящихся повернуть абразивную частицу значительно влияют на величину конечной шероховатости поверхности.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Скрябин В.А. Основы процесса субмикрорезания при обработке деталей незакрепленным абразивом. Монография. Пенза: Изд-во ПВАИУ, 1992. 120 с.
2. Рыбаков Ю.В. Повышение эффективности отделочной обработки деталей типа дисков и кулачков уплотненной абразивной средой: диссертация ... кандидата технических наук: 05.02.08: защищена 03.10.02: утв. 11.03.03/ Рыбаков Юрий Владимирович. Пенза, 2002. 220 с. Библиогр.: С.167-179.
3. Мартынов А.Н. Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами. Саратов: Изд-во: Саратовский ГТУ, 1981. 212 с.
4. Скрябин В.А., Схиртладзе А.Г. Технологическое обеспечение качества обработки сложнопрофильных деталей уплотненными мелкодисперсными средами. Монография. Старый
5. Оскол: Тонкие наукоемкие логии, 2015. 240 с. ISBN 978-5-94178-4653.
5. Skhirtladze A.G., Skryabin V.A. Technology of Repairing Abrasive Tools. Russian Metallurgy (Metally). 2017;13:1176-1181. URL: [https://www.researchgate.net/publication/324131551\\_Technology\\_of\\_Repairing\\_Abrasive\\_Tools](https://www.researchgate.net/publication/324131551_Technology_of_Repairing_Abrasive_Tools).
6. Skriabin V.A. Treatment of Products of Polimeric Materials. Polimer Science, Series D. 2016;9(3):331-337. URL: <https://www.springer.com/-journal/12260>.
7. Skriabin V.A., Zverovshchikov A.E., Zotov E.V. Brittle Fracture of a Material upon Microcutting of the Workpiece Surface by the Microrelief Protrusions of Loose Abrasive Grains. Russian Metallurgy (Metally). 2018;13:1176-1181. URL: <https://elib.pnzgu.ru/files/eb/OOKRsl0rb9AV.pdf>. DOI:10.1134-/S0036029518130220.

8. Тимошенко С.П., Гудьер Ж. Теория упругости. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. 576 с.
9. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 648 с.
10. Скрябин В.А., Чернышева О.В. Контактные взаимодействия мелкодисперсной обрабатывающей среды с поверхностью плоских деталей при камерном способе абразивной обработки. Машиностроитель. 2005;8:43 – 46.
11. Бронштейн И.Н., Семендяев Г.А. Справочник по математике. М.: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 544 с.
12. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков. М.: Изд-во Metallurgia, 1969. 264 с.

## REFERENCES

1. Scryabin VA. Fundamentals of submicrocutting when machining parts with loose abrasive: monograph. Penza: Publishing House of PAEI; 1992.
2. Rybakov YuV. Improving the efficiency of finish machining of parts such as discs and cams with a compacted abrasive medium [dissertation]. [Penza (RF)]: Penza State University; 2002.
3. Martynov AN. Methodological fundamentals of machining parts with a loose abrasive compacted by inertial forces. Saratov: Publishing house of Saratov State Technical University; 1981.
4. Scryabin VA, Skhirtladze AG. Technological quality support of machining complex profile parts with compacted fine media: monograph. Stary Oskol: Naukoemkie Technologii; 2015.
5. Skhirtladze AG, Skryabin VA. Technology of Repairing Abrasive Tools [Internet]. Russian Metallurgy (Metally). 2017;13:1176-1181. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/324131551\\_Technology\\_of\\_Repairing\\_Abrasive\\_Tools](https://www.researchgate.net/publication/324131551_Technology_of_Repairing_Abrasive_Tools).
6. Skryabin VA. Treatment of Products of Polymeric Materials [Internet]. Polimer Science, Series D. 2016;9(3):331-337. Available from: <https://www.springer.com/-journal/12260>.
7. Skryabin VA, Zverovshchikov AE, Zotov EV. Brittle Fracture of a Material upon Microcutting of the Workpiece Surface by the Microrelief Protrusions of Loose Abrasive Grains [Internet]. Russian Metallur-

13. Пименова О.В. Повышение качества финишной обработки основы и хромовых покрытий при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники: специальность 05.20.03. «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Пименова Оксана Владимировна; Пензенская государственная сельскохозяйственная академия. Пенза, 2007. 155 с.
14. Скрябин В.А. Совершенствование технологии финишной обработки уплотненными мелкодисперсными абразивными средами плоских поверхностей деталей. Техника машиностроения. 2015;22(3(95)):2-12.

gy (Metally). 2018;13:1176-1181. Available from: <https://elib.pnzgu.ru/files/eb/OOkRsl0rb9AV.pdf>. DOI:10.1134-/S0036029518130220.

8. Timoshenko SP, Gudyer Zh. Theory of elasticity. Moscow: Nauka; 1985.
9. Muskhelishvili NI. Some basic problems of the mathematical theory of elasticity. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1954.
10. Scryabin VA, Chernysheva OV. Contact interactions of fine-dispersed machining medium with the surface of flat parts in the chamber method of abrasive treatment. Machinostroitel. 2005;8:43 – 46.
11. Bronstein IN, Semendyaev GA. Handbook of Mathematics. Moscow: Glavnaya Redaktsiya Fiziko-matematicheskoy Literaturi; 1986.
12. Zhdanovich GM. Theory of pressing metal powders. Moscow: Publishing House Metallurgiya; 1969.
13. Pimenova OV. Improving the quality of finish machining of the base and chrome coatings during the restoration of agricultural machinery parts [dissertation]. [Penza (RF)]: Penza State Agricultural Academy; 2007.
14. Scryabin VA. Improving the technology of finishing with compacted fine abrasive media of flat surfaces of parts. Tekhnika Machinostroeniya. 2015;22(3(95)):2-12.

## Сведения об авторах:

**Скрябин Владимир Александрович** - доктор технических наук, профессор Пензенского государственного университета, 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40, тел. +79603202596, e-mail: vs\_51@list.ru; Author ID по Scopus–66036685168, Author ID по РИНЦ–7875-5830, Researcher ID – R-2385-2018.

**Scryabin Vladimir Aleksandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Penza State University; 40, Krasnaya Str., Penza, 440026, Russia; phone:

**Захарченко Роман Алексеевич**, студент Пензенского государственного университета, 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40, тел. +89521952894, roma.zakharchenko99@mail.ru.

**Абрикосова Кристина Алексеевна**, студентка Пензенского государственного университета, 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40, тел. +79648652885, kristinaabrikosova@gmail.com.

+79603202596, e-mail: vs\_51@list.ru; Author ID for Scopus–66036685168, Author ID for RSCI–7875-5830, Researcher ID – R-2385-2018.

**Zakharchenko Roman Alekseevich**, Student of Penza State University; 40, Krasnaya Str., Penza, 440026, Russia; phone: 89521952894, roma.zakharchenko99@mail.ru.

**Abrikosova Kristina Alekseevna**, Student of Penza State University; 40, Krasnaya Str., Penza, 440026, Russia; phone: +79648652885, kristinaabrikosova@gmail.com.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**  
**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

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

**Статья опубликована в режиме Open Access.**  
**Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 01.05.2022; принята к публикации 25.08.2022.**

**The article was submitted to the editorial office on 01.05.2022; accepted for publication on 25.08.2022.**