

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611162>

Оригинальное исследование

# Теоретическое исследование процесса износа абразивной фракции почвы при ее движении по рабочей поверхности деталей почвообрабатывающих орудий

А.М. Михальченков, С.А. Феськов, А.В. Кубышкин

Брянский государственный аграрный университет, Брянск, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Теоретические и практические изыскания в области абразивного изнашивания почвообрабатывающих орудий, как правило, посвящены процессам истирания рабочей поверхности их деталей. При этом за рамками исследований остается фактор изменения формы абразивной частицы в процессе ее перемещения по изнашиваемой плоскости. Отсутствие учета выше отмеченного фактора приводит к неверным заключениям и оказывает отрицательное влияние при разработке технологии изготовления, упрочнения и восстановления конструктивных элементов сель.-хоз. техники.

**Цель работы** заключается в проведении теоретических исследований процесса износа абразивной фракции почвы при ее движении по рабочей поверхности деталей почвообрабатывающих орудий.

**Материалы и методы.** Раскрытие цели проводилось с использованием известных теоретических исследований в области абразивного изнашивания; применялись интегральное исчисление и основы триботехники.

**Результаты.** Результатом исследования является вывод формулы, отражающей степень изменения геометрии абразивной частицы с учетом величины ее перемещения по поверхности трения и давления почвенной массы. При этом определяющим параметром темпа ее изнашивания является величина внешней силы. Теоретические исследования рассматривались применительно к культиваторным лапам. Показано, что полученные математические выражения могут быть использованы, фактически, для любых деталей почвообрабатывающих орудий.

**Заключение.** Полученные математические уравнения указывают на возможность присутствия в процессе износа трех факторов: царапание; контактное деформирование; перекатывание в зависимости от изменения формы абразивной субстанции при ее перемещении по поверхности трения.

**Ключевые слова:** абразивное изнашивание; незакрепленный абразив; поверхность трения; теоретическое исследование; абразивные частицы; почвы; почвообрабатывающие орудия.

## Как цитировать:

Михальченков А.М., Феськов С.А., Кубышкин А.В. Теоретическое исследование процесса износа абразивной фракции почвы при ее движении по рабочей поверхности деталей почвообрабатывающих орудий // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 2. С. 199–205.

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611162>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611162>

Original Study Article

# Theoretical study of the wearing process of the abrasive fraction of soil during its motion on the working surface of the components of soil tilling tools

Alexander M. Mikhailchenkov, Sergey A. Feskov, Andrey V. Kubyshkin

Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Theoretical and practical studies in the field of abrasive wearing of soil tilling tools are generally focused on the processes of galling of working surfaces of their components. Meanwhile, the factor of changing the shape of an abrasive particle during its motion on the wearing plane remains behind the study focus. Not considering the abovementioned factor leads to wrong conclusions and have a negative impact on development of the technology of manufacturing, strengthening and restoration of structural components of agricultural machinery.

**AIM:** Conducting theoretical studies of the wearing process of the abrasive fraction of soil during its motion on the working surface of the components of soil tilling tools.

**METHODS:** The study was conducted with using the known theoretical studies in the field of abrasive wearing. The integral calculus and fundamentals of tribological engineering were used.

**RESULTS:** The study result is derivation of the formula, which shows the degree of changing the shape of an abrasive particle taking its motion on the friction surface and soil pressure into account. The parameter that mainly defines the wearing rate is the value of the external force. The theoretical study was considered for cultivator shovels. It is shown that the obtained mathematical expressions can be used practically for all components of the soil tilling tools.

**CONCLUSION:** The obtained mathematical equations point out the potential presence of three factors in the wearing process, such as scratching, contact deformation and rolling in dependence of changing the shape of the abrasive substance during its motion on the friction surface.

**Keywords:** abrasive wearing; non-fixed abrasive material; friction surface; theoretical study; abrasive particles; soil; soil tilling tools.

## To cite this article:

Mikhailchenkov AM, Feskov SA, Kubyshkin AV. Theoretical study of the wearing process of the abrasive fraction of soil during its motion on the working surface of the components of soil tilling tools. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(2):199–205. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611162>

Received: 23.10.2023

Accepted: 04.05.2024

Published online: 23.06.2024

## ВВЕДЕНИЕ

Перемещение исполнительных органов почвообрабатывающих орудий в массе незакрепленной почвенной среды сопровождается либо микрорезанием, либо контактным пластическим деформированием в точках соприкосновения с рабочей поверхностью [1, 2]. При этом не исключается наличие фактора перекатывания абразива по плоскости трения. Уровень микрорезания, контактного деформирования, фактора перекатывания истирающей фракции определяется силовым взаимодействием в системе «поверхность трения — абразивная масса», а также совокупностью свойств отдельных частей этой системы.

Исследованиями [3, 4], установлено, что частицы диоксида кремния ( $SiO_2$ ) прежде всего, оказывают царапающее воздействие на контактирующую поверхность. Причем этот эффект возрастает по мере роста степени закрепленности абразива [5].

В то же время, высокий уровень связности абразивных фракций обеспечивает увеличение контактных напряжений вследствие возрастания деформаций на локальных участках [6].

Присутствие трения качения при перемещении абразивных субстанций по рабочей поверхности изделия объясняется следующим:

1. изнашивающая среда имеет крайне низкую степень связности (высокую сыпучесть);
2. угол атаки абразивной субстанции с поверхностью тела находится в пределах  $35\text{--}40^\circ$  [7].

Известные исследования в области абразивного изнашивания, как правило, рассматривают форму абразивной частицы без ее трансформации в процессе износа [8, 9]. Однако, рядом ученых показано, что имеет место существенное изменение формы истирающей субстанции при ее перемещении по контактирующей поверхности. Более того, в результате длительного взаимодействия абразивной субстанции с истираемой поверхностью, она будет менять изначальную геометрию даже в случае, если твердость ( $H$ ) в зоне контакта меньше  $H$  частицы. Указанное обстоятельство во многом влияет на характер контактного взаимодействия в системе «поверхность трения — абразивная масса».

Таким образом, рассмотрение механики абразивного изнашивания при перемещении тела в незакрепленном абразиве без учета изменения формы истирающих частиц приводит к неверным выводам с сопутствующими последствиями при разработке технологий изготовления, упрочнения и возобновления ресурса конструктивных элементов рабочих органов почвообрабатывающей техники. Более того, исследования, посвященные формоизменению изнашивающей субстанции, отличаются малочисленностью и в ряде случаев противоречивостью.

**Цель работы** — теоретическое исследование процесса износа абразивной фракции почвы при ее движении

по рабочей поверхности деталей почвообрабатывающих орудий.

## РАСКРЫТИЕ ЦЕЛИ

Для проведения теоретических исследований следует обозначить ряд допущений с учетом того, что они не окажут значимого влияния на конечный результат:

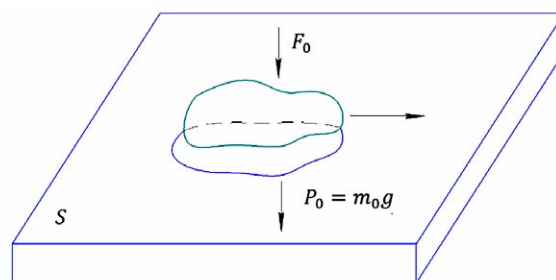
- совокупность свойств взаимодействующих тел (механических, физических, химических и технологических) не претерпевают изменений в процессе изнашивания;
- износ рабочей поверхности конструктивных элементов не принимается во внимание.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Представим ситуацию, где на горизонтальной плоскости  $S$  лежит тело определенной массы  $m_0$  с произвольным геометрическим контактом. Помимо собственного веса  $P_0 = m_0g$  к нему приложена вертикальная сила  $F_0$  со стороны почвы, прижимающая его к поверхности  $S$  (рис. 1). Такой плоскостью являются рабочие поверхности деталей почвообрабатывающих орудий. В свою очередь в качестве материального тела выступает абразивная фракция (частица) почвенной массы. Сила  $P_0$  определяется агротехническими и эксплуатационными показателями, а так же свойствами обрабатываемой почвы.

Учитывая высокую сложность процессов формоизменения абразивных частиц в результате их движения по поверхности контртела авторы сочли целесообразным провести теоретические исследования, опираясь на комплексные показатели износа, выражающиеся в потере телом массы.

При перемещении абразивной фракции по поверхности детали ее масса будет уменьшаться в результате трения на величину  $m = m(l)$ , где  $l$  — пройденное частицей расстояние). В соответствии с поставленной целью нужно описать процесс износа тела, выражающийся функцией  $m = m(l)$ , которую следует найти. В частности, нужно определить тот путь  $l = L$ , который пройдет абразив до полного истирания.



**Рис. 1.** Схема для проведения исследования.  
**Fig. 1.** The scheme for study conducting.

Прохождение абразивной частицей пути  $l$  приводит к потере ею массы  $m = m(l)$ . При достижении условия  $m(L) = m_0$ , фракция будет определяться  $P = P(l) = (m_0 - m)$ , а как результирующая сила, прижимающая ее к поверхности  $S$ , будет равна сумме силы от давления почвы  $F_0$  и собственной силы тяжести частицы.

$$F = F(l) = F_0 + P, \quad (1)$$

$$F = F(l) = F_0 + (m_0 - m)g. \quad (2)$$

Сила  $T = T(l)$ , возникающая между контактирующими поверхностями абразивной частицы и детали, равна:

$$T = T(l) = kF(l) = k[F_0 + (m_0 - m)g], \quad (3)$$

где  $k$  — коэффициент трения между истирающей фракцией и рабочей частью конструктивного элемента почвообрабатывающего орудия.

При перемещении тела на расстояние  $T$  совершит работу  $A_{TP}$

$$\begin{aligned} A_{TP} &= A_{TP}(l) = \int_0^l T(x)dx = k \int_0^l [F_0 + (m_0 - m(x))g]dx = \\ &= k[F_0l + m_0gl - g \int_0^l m(x)dx]. \end{aligned} \quad (4)$$

Потеря  $m = m(l)$  массы частицы пропорциональна  $A_{TP}(l)$ . Применив коэффициент пропорциональности  $\gamma$ , получим  $m(l) = \gamma A_{TP}(l)$ . В этом случае:

$$m(l) = \gamma k [F_0l + m_0gl - g \int_0^l m(x)dx]. \quad (5)$$

Дифференцируя по  $l$  обе части равенства (5), получим:

$$m = \gamma k (F_0 + m_0g - gm)$$

или

$$m = \gamma k gm = \gamma k (F_0 + m_0g). \quad (6)$$

Последнее уравнение является линейным неоднородным дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами, а также имеющей начальное условие:

$$m(0) = 0. \quad (7)$$

Уравнение (6) и условие (7) составляют задачу Коши для определения функции  $m = m(l)$ .

Для решения данной задачи сначала проинтегрируем дифференциальное уравнение (6). Общее решение такого уравнения может быть записано следующим образом:

$$m(l) = m_1(l) + m_2(l). \quad (8)$$

Здесь  $m_1(l)$  — общее решение линейного однородного уравнения,

$$m = \gamma k gm = 0, \quad (9)$$

а  $m_2(l)$  — какое-либо частное решение неоднородного уравнения (6).

Для того чтобы найти функцию  $m_1(l)$  проинтегрируем дифференциальное уравнение (9).

$$m_1 = \gamma k gm_1 = 0; \quad \frac{dm_1}{dl} = -\gamma k gm_1; \quad \frac{dm_1}{m_1} = -\gamma k g dl,$$

$$\int \frac{dm_1}{m_1} - \gamma k g \int dl; \quad \ln m_1 = -\gamma k g l + C_1;$$

$$lm_1 = e^{-\gamma k gm + C_1} = e^{C_1} \cdot e^{-\gamma k gl}.$$

Вводя обозначение  $e^{C_1} = C$ , где  $C$  — неопределенная константа интегрирования, получим:

$$m_1 = m_1(l) = C \cdot e^{-\gamma k gl}. \quad (10)$$

После этого вычислим  $m_2 = m_2(l)$  — какое-либо частное решение неоднородного уравнения (6). Вследствие того, что его правая часть представляет константу, то и решение можно определить в виде константы.

$$m_2 = m_2(l) = \frac{F_0 + m_0g}{g}. \quad (11)$$

Применяя полученные формулы (10) и (11), по выражению (8) запишем общее решение дифференциального уравнения (6):

$$m(l) = C \cdot e^{-\gamma k gl} + \frac{F_0 + m_0g}{g}. \quad (12)$$

Неопределенная  $C$ , в выражении (12), находится из начального условия (7):

$$C = -\frac{F_0 + m_0g}{g}. \quad (13)$$

Используя значение константы  $C$  в (12), получим конечное выражение для функции  $m = m(l)$ , описывающей изнашивание движущейся субстанции абразивной среды (потерю массы частицы):

$$m = m(l) = \frac{F_0 + m_0g}{g} \cdot (1 - e^{-\gamma k gl}). \quad (14)$$

Это и есть искомая зависимость  $m = m(l)$ , отражающая износ по массе перемещающейся частицы.

Если  $l = L$ , то  $m(L) = m_0$  (вся масса частицы уйдет в износ), и из (14) получим:

$$m_0 = \frac{F_0 + m_0g}{g} \cdot (1 - e^{-\gamma k gl}). \quad (15)$$

Вводя условные обозначения

$$\alpha = \gamma kg; \beta = \frac{F_0}{m_0 g}, \tag{16}$$

из (15) получаем:

$$m_0 = \frac{m_0 g \beta}{g} \cdot (1 - e^{-\alpha L}); 1 = (1 + \beta) \cdot (1 - e^{-\alpha L});$$

$$e^{-\alpha L} = \frac{\beta}{1 + \beta}; -\alpha L = \ln \frac{\beta}{1 + \beta} = -\ln \frac{1 + \beta}{\beta};$$

$$\alpha L = \ln \frac{1 + \beta}{\beta}; \alpha L = \ln \frac{1 + \beta}{\beta} \tag{17}$$

Показатель  $\alpha$ , с размерностью, обратной пути  $L$ , является характеристикой таких параметров, как износостойкость абразивной фракции и триботехнические характеристики поверхности трения  $S$ . (Для конструктивных составляющих почвообрабатывающих орудий, изготовленных из одинакового материала, он идентичен).

Если параметр  $\beta$  (он безразмерен) у составляющих трибосистемы одинаков, то при прохождении пути  $L$  они истираются полностью. С увеличением величины  $\beta$ , обусловленной ростом действующей на тело силы  $F_0$  путь до полного износа частицы снижается.

Определение параметра  $\alpha$  производится экспериментально путем измерения расстояния  $L_0^*$ , которое преодолевает опытное тело с начальной массой  $m_0^*$  и заданной силой  $F_0^*$  до своего полного износа. Тогда из равенства (17) получим:

$$\alpha = \frac{1}{L} \ln \frac{1 + \beta}{\beta}, \text{ где } \beta_* = \frac{F_0^*}{m_0^* g}. \tag{18}$$

Если подставить формулу (18) в (17), тогда получим соотношение между  $L$  и  $L_*$ , которое можно применять в отношении конструктивных элементов почвообрабатывающей техники любого функционального назначения при условии соблюдения одинаковости механических свойств рабочей поверхности:

$$\frac{L}{L_*} = \frac{\ln \frac{1 + \beta}{\beta}}{\ln \frac{1 + \beta_*}{\beta_*}}. \tag{19}$$

Формула  $\alpha L = \psi = f(\beta)$  отражает уровень трансформации геометрии фракции абразивной среды при изменении внешнего силового воздействия со стороны почвы. Так, из графика (рис. 2), построенного в условных координатах следует, что увеличение  $\beta$  приводит к резкому снижению  $\psi$ , тогда как небольшие нагрузки со стороны почвы обеспечивают его достаточно высокое значение. Сказанное выше говорить о том, что степень

изменения геометрической формы абразивной фракции тем существеннее, чем больше внешняя сила и параметр  $\alpha$ .

Рассмотрим проведенные теоретические исследования применительно к культиваторным лапам. Исходя из того, что давление почвы ( $P$ ) на ее рабочую поверхность остается примерно постоянным и выразив  $F_0$  через  $P$ , получим:

Исходя из того, что на рабочая поверхность испытывает постоянное давление со стороны почвы ( $P$ ), выразив  $F_0$  через  $P$ , получим:

$$\beta = \frac{P}{m_0 \cdot g \cdot Q}, \tag{20}$$

где  $Q$  — площадь частицы.

Вследствие того, что  $Q$  не постоянна из-за истирания поверхности контакта абразива с поверхностью лапы при его перемещении и при этом возрастает, величина  $\beta$  снижается.

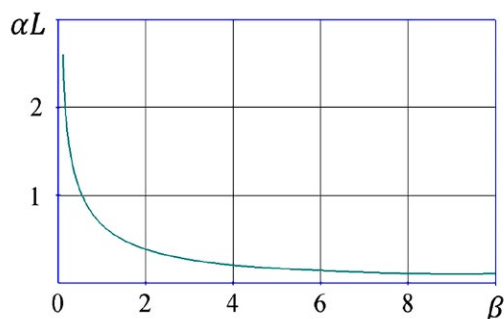
Падение  $\beta$  в соответствии с графиком (см. рис. 2) позволяет увеличить величину пробега абразива, что указывает на снижение темпа ее изнашивания. В этом случае изменение геометрии изнашивающей фракции и ее пробег до полного истирания взаимосвязаны.

Исходя из формулы (17) и подставляя  $\beta$  в формулу (20), получим следующее выражение:

$$L = \ln \frac{m_0 \cdot g \cdot Q + P}{P \cdot m_0 \cdot g \cdot Q \cdot \alpha}. \tag{21}$$

## ВЫВОДЫ

1. Изменение геометрической формы и, следовательно, темпа изнашивания абразива при его перемещении по поверхности трения, определяется действующей внешней силой со стороны почвенной массы.



**Рис. 2.** Влияние внешних силовых факторов на величину пробега абразивной частицы до ее полного истирания (график дан в условных координатах).

**Fig. 2.** Influence of external forces on the value of motion of an abrasive particle before its complete galling (the graph is given for specific indicators).

2. Полученные теоретические результаты могут быть распространены на все детали рабочих органов почвообрабатывающих орудий.
3. В соответствии с формулой (21) изменение площади абразивной частицы обуславливает величину ее перемещения до полного изнашивания, что указывает на возможность присутствия фактора ее перекатывания по поверхности трения наряду с царапанием и контактным деформированием.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** А.М. Михальченко — написание текста рукописи, утверждение финальной версии; С.А. Феськов — написание текста рукописи, редактирование текста рукописи, верстка, создание изображений; А.В. Кубышкин — работа с литературными источниками. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнцев Ю.П. Металлы и сплавы. Справочник. СПб Профессионал, 2003.
2. Михальченко А.М., Кравченко И.Н., Филин Ю.И., Козарез И.В., Величко С.А., Ерофеев М.Н. Исследование механизма абразивного изнашивания полимерных композитов с дисперсным наполнителем // Новые огнеупоры. 2022. № 3. С. 57–61. EDN: NGNCUR
3. Лискин И.В., Миронов Д.А. Влияние почвенных условий на износ рабочих органов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 5. С. 29–31. EDN: RBTMZP
4. Бартенев И.М., Поздняков Е.В. Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин // Лесотехнический журнал. 2013. № 3 (11). С. 114–123. EDN: RQQPEB
5. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970.
6. Дворук В.И., Борак К.В., Бучко И.О., Добранский С.С. Разрушение деформационно упрочненной стали при абразивном

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** A.M. Mikhhalchenkov — writing the text of the manuscript, approval of the final version; S.A. Feskov — writing the text of the manuscript, editing the text of the manuscript, layout, creating images; A.V. Kubyskin — literature review. The authors confirm that their authorship meets the international *ICMJE* criteria (all authors made significant contributions to the development of the concept, conduct of the research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Funding source.** The authors declare that there was no external funding for the study.

изнашивании // Трение и износ. 2021. Т. 42. № 3. С. 279–288. EDN: SIGIWB

7. Комогорцев В.Ф., Тюрева А.А. Теоретико-аналитическое рассмотрение движения частиц легкой почвы по армированной поверхности В кн.: Труды инженерно-технологического факультета. Сборник научных трудов. Под ред. Михальченко А.М. Брянск. 2015. С. 9–45. EDN: VDIOFX

8. Михальченко А.М., Феськов С.А., Орехова Г.В., Шукюров Д.Р. Исследование влияния формы абразивной частицы почвы на глубину проникновения в поверхность трения исполнительных органов почвообрабатывающих орудий // Техника и оборудование для села. 2018. № 1. С. 34–37. EDN: YPJkip

9. Михальченко А.М., Локтев А.А., Феськов С.А., Ермакова Т.А. К вопросу о форме частиц кварцевой фракции почвы и их влиянии на изнашивание деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 129. С. 142–147. EDN: ZTMFAN

## REFERENCES

1. Solncev Yu.P. Metally i splavy. Spravochnik. Sankt Peterburg: SPB Professional; 2003. (In Russ.)
2. Mihal'chenkov A.M., Kravchenko I.N., Filin YU.I., Kozarez I.V., Velichko S.A., Erofeev M.N. Issledovanie mekhanizma abrazivnogo iznashivaniya polimernyh kompozitov s dispersnym napolnitelem. Novye огнеупоры. 2022;3:57–61. (In Russ.) EDN: NGNCUR
3. Liskin I.V., Mironov D.A. Vliyanie pochvennyh uslovij na iznos rabochih organov Sel'skhozoyajstvennyye mashiny i tekhnologii. 2013;5:29–31. (In Russ.) EDN: RBTMZP
4. Bartenev I.M., Pozdnyakov E.V. Iznashivayushchaya sposobnost' pochv i ee vliyanie na dolgovechnost' rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin Lesotekhnicheskij zhurnal. 2013;3(11):114–123. (In Russ.) EDN: RQQPEB
5. Hrushchev M.M., Babichev M.A. Abrazivnoe iznashivanie. Moscow: Nauka; 1970. (In Russ.)
6. Dvoruk V.I., Borak K.V., Buchko I.O., Dobranskij S.S. Razrushenie deformatsionno uprochnennoj stali pri abrazivnom iznashivanii Trenie i iznos. 2021;42(3):279–288. (In Russ.) EDN: SIGIWB

7. Komogorcev V.F., Tyureva A.A. Teoretiko-analiticheskoe rassmotrenie dvizheniya chastic legkoj pochvy po armirovannoj poverhnosti In: Trudy inzhenerno-tekhnologicheskogo fakul'teta. Sbornik nauchnyh trudov. Ed. Mihal'chenkova A.M. Bryansk; 2015:9–45. (In Russ.) EDN: VDIOFX

8. Mihal'chenkov A.M., Fes'kov S.A., Orekhova G.V., Shukyurov D.R. Issledovanie vliyaniya formy abrazivnoj chasticy pochvy na glubinu

proniknoveniya v poverhnost' treniya ispolnitel'nyh organov pochvoobrabatyvayushchih orudij Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2018;1:34–37. (In Russ.) EDN: YPJKIP

9. Mihal'chenkov A.M., Loktev A.A., Fes'kov S.A., Ermakova T.A. K voprosu o forme chastic kvarcevoj frakcii pochvy i ih vliyanii na iznashivanie detalej rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih orudij Trudy GOSNITI. 2017;129:142–147. (In Russ.) EDN: ZTMFAN

## ОБ АВТОРАХ

### \* Феськов Сергей Александрович,

канд. техн. наук,  
доцент кафедры «Технического сервиса»;  
адрес: Российская Федерация, Брянская область,  
Выгоничский район, 243365, Кокино, ул. Советская, д. 2а;  
ORCID: 0000-0002-5978-6517;  
eLibrary SPIN: 7637-8485;  
e-mail: feskovwork@gmail.com

### Михальченко Александр Михайлович,

д-р техн. наук,  
профессор кафедры «Технического сервиса»;  
ORCID: 0000-0003-3104-2548;  
eLibrary SPIN: 6994-7550;  
e-mail: mihalchenkov.alexandr@yandex.ru

### Кубышкин Андрей Валентинович,

канд. экон. наук,  
доцент кафедры «экономики и менеджмента»;  
ORCID: 0000-0002-8715-5632;  
eLibrary SPIN: 4012-2221;  
e-mail: bgsha@bgsha.com

## AUTHORS' INFO

### \* Sergey A. Feskov,

Cand. Sci. (Engineering),  
Associate Professor of the Department of Technical Service;  
address: 2a Sovetskaya street, 243365 Kokino, Vygonichsky  
district, Bryansk region, Russian Federation;  
ORCID: 0000-0002-5978-6517;  
eLibrary SPIN: 7637-8485;  
e-mail: feskovwork@gmail.com

### Alexander M. Mihalchenkov,

Dr. Sci. (Engineering),  
Professor of the Department of Technical Service;  
ORCID: 0000-0003-3104-2548;  
eLibrary SPIN: 6994-7550;  
e-mail: mihalchenkov.alexandr@yandex.ru

### Andrey V. Kubyskin,

Cand. Sci. (Economics),  
Associate Professor of the Department of Economics  
and Management;  
ORCID: 0000-0002-8715-5632;  
eLibrary SPIN: 4012-2221;  
e-mail: bgsha@bgsha.com

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author