

EDN: OAJICA

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-98-102



Научная статья

УДК 631.431.3



Определение фрикционных свойств ABS-пластика при контакте с суглинистой почвой

Сергей Андреевич Квас,
младший научный сотрудник,
e-mail: kvas.sergo@yandex.ru;

Андрей Сергеевич Золотарев,
младший научный сотрудник,
e-mail: zl200@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметили возможность замены в почвообрабатывающих агрегатах стальных рабочих органов на полимерные. (*Цель исследования*) Определение зависимости фрикционных параметров акрилонитрилбутадиенстирола (ABS-пластик) от величины абсолютной влажности почвы и скорости движения агрегата при взаимодействии рабочего органа с суглинистой почвой. (*Материалы и методы*) Разработана лабораторная установка для изучения фрикционных свойств полимера при контакте с суглинистой почвой. Параметры трения и адгезии определяли при изменении абсолютной влажности почвенного материала. (*Результаты и обсуждение*) Построены графики зависимости фрикционных параметров ABS-пластика от абсолютной влажности почвы. Выявлено, что при абсолютной влажности почвы 18, 20 и 26 процентов коэффициент трения акрилонитрилбутадиенстирола соответственно равен 0,45, 0,5 и 0,6. Величина адгезии составляет 100, 145 и 700 паскалей при абсолютной влажности почвы соответственно 18, 20 и 28 процентов. После достижения абсолютной влажности почвы 26-28 процентов наблюдается снижение показателей трения и адгезии. (*Выводы*) Показатели фрикционных свойств ABS-пластика ниже, чем стали, однако значительно выше, чем фторопласта. Дальнейшие исследования в данной области позволят значительно повысить эффективность при выборе материала для изготовления рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов и снизить энергозатраты.

Ключевые слова: почвообрабатывающий агрегат, рабочий орган, ABS-пластик, суглинистая почва, влажность, технологические свойства, коэффициент трения скольжения, адгезия.

■ **Для цитирования:** Квас С.А., Золотарев А.С. Определение фрикционных свойств ABS-пластика при контакте с суглинистой почвой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №2. С. 98-102. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-98-102. EDN: OAJICA.

Scientific article

Determining Friction Properties of ABS Plastic in Contact with Loamy Soil

Sergey A. Kvas,
junior researcher,
e-mail: kvas.sergo@yandex.ru;

Andrey S. Zolotarev,
junior researcher,
e-mail: zl200@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper explores the feasibility of substituting steel working bodies with polymer ones in soil-cultivating units. (*Research purpose*) The research aims to investigate how the friction parameters of acrylonitrile butadiene styrene (ABS plastic) are affected by variations in absolute soil moisture and speed of the unit during the interaction of its working body with loamy soil. (*Materials and methods*) A laboratory unit was developed to examine the friction characteristics of the polymer in contact with loamy soil. The study measures the friction and adhesion properties by altering the absolute moisture of loamy soil. (*Results and discussion*) Graphs were constructed to illustrate the relationship between of the friction parameters of acrylonitrile butadiene styrene (ABS plastic) on absolute soil moisture. It was determined that at absolute soil moistures of 18, 20 and 26 percent, the friction coefficients of acrylonitrile butadiene styrene are 0.45, 0.5 and 0.6, respectively. The adhesion values were recorded at 100, 145 and 700 pascals for absolute soil moistures of 18, 20 and 28 percent, respectively. A decrease in both friction and adhesion was observed when the soil moisture reached between 26% and 28%. (*Conclusions*) The friction properties of acrylonitrile butadiene styrene (ABS plastic) are lower than those of steel, yet significantly higher than those of fluoroplastic. Further research in this area is expected to significantly increase the efficiency of selecting materials for the manufacturing of working parts in soil-cultivating units, while also reducing energy costs.

Keywords: tillage unit, working body, acrylonitrile butadiene styrene (ABS plastic), loamy soil, humidity, moisture, technological properties, sliding friction coefficient, adhesion.

■ **For citation:** Kvas S.A., Zolotarev A.S. Determining friction properties of ABS plastic in contact with loamy soil. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N2. 98-102 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-98-102. EDN: OAJICA.

Сопротивление движению рабочего органа сельскохозяйственной техники со стороны почвы зависит от ее механического состава, плотности, твердости, трения скольжения, адгезии, других технологических свойств и факторов. Снижению сопротивления может способствовать замена стальных рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов на синтетические. Современные полимерные материалы отличаются более низкими фрикционными показателями, а также их можно использовать для изготовления рабочих органов.

Трение скольжения – это контактная сила, вызванная сопротивлением скользящему движению двух объектов относительно друг друга, в данном случае почвы и рабочего органа агрегата. Адгезия проявляется в действии молекулярных сил притяжения на границе соприкосновения поверхностей различных твердых и (или) жидких материалов, что приводит к их связыванию. При взаимодействии крупных кусков почвы с рабочими поверхностями молекулярное притяжение ослабевает [1, 2]. Для частиц малых размеров влияние молекулярных сил на показатель адгезии становится важным фактором [3]. В количественном выражении величина адгезии P_a может характеризоваться усилием, затрачиваемым на отделение прилипшей почвы от поверхности рабочего органа [4, 5]. Российскими и зарубежными учеными установлено, что силы прилипания в случае повышения влажности почвы больше, чем при контакте с сухими почвами [6].

ABS-пластик – ударопрочная техническая термопластическая смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом [7]. Благодаря высокой механической прочности, жесткости, износостойкости и легкости в обработке это один из самых распространенных инженерных материалов для 3D-печати.

Цель исследований – определение зависимости фрикционных параметров ABS-пластика от абсолютной влажности почвы и скорости движения рабочего органа при взаимодействии с суглинистой почвой.

Материалы и методы. По предварительной оценке агрегатного и гранулометрического состава установлен тип почвы: это глинисто-пылеватый средне-тонкодисперсный средний суглинок, кислотность 5,6 ед. рН (слабокислая реакция).

Для определения коэффициента внешнего трения спроектирована и изготовлена лабораторная установка (рис. 1). Через свободно вращающийся ролик 4 консольной балки 2 перебрасывается гиб-

кая невесомая нить 9. Одним концом она связывается с размещенным на электронных весах 11 эталонным грузом 10, другим – с бюксой 12, заполненной почвой. Бюкса размещена на металлическом диске 7, сверху на нем расположен диск из испытуемого материала 8 [8]. Диски приводятся во вращение через вертикальный вал 6 электродвигателя 5, закрепленного на опоре 3. Компоненты установки смонтированы на общем основании 1.

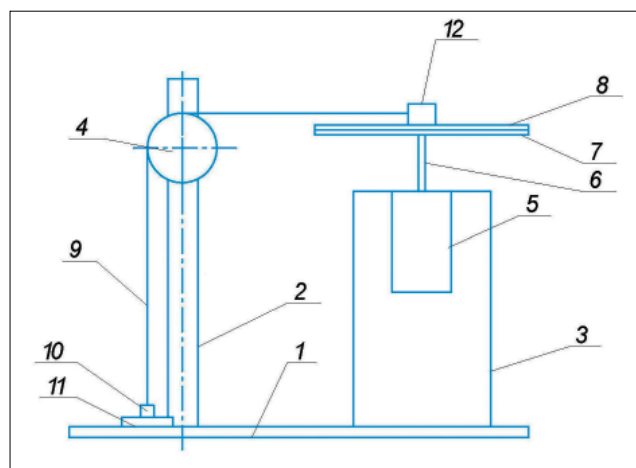


Рис. 1. Лабораторная установка для определения коэффициента внешнего трения

Fig. 1. Laboratory unit for determining the external friction coefficient

До начала вращения диска масса груза на весах неизменная. При вращении диск за счет силы трения увлекает бюксу за собой, но поскольку нить с грузом удерживает чашу, весы разгружаются.

Коэффициент внешнего трения

$$f = (m_1 - m_2) / m_3, \quad (1)$$

где m_1 – масса груза до вращения диска, г; m_2 – масса груза во время вращения диска, отображаемая на весах, г; m_3 – масса почвы внутри бюксы, г.

Пробы почвы высушивали в сушильном шкафу Memmert, бюксу с почвой взвешивали на электронных весах AND GF-3000 с ценой деления 0,01 г. Необходимую частоту вращения диска контролировали с помощью тахометра.

Предложена эмпирическая формула зависимости величины адгезии от влажности:

$$P_a = c_k \cdot w^2 + b_k \cdot w + a_k, \quad (2)$$

где c_k , b_k , a_k – коэффициенты испытываемых материалов; w – влажность почвы.

Исследовалось также влияние на величину адгезии длительности контакта и усилия начального

прижатия почвы [9]. При непродолжительном контакте величина адгезии уменьшается, а при более долгом и усилении начального прижатия почвы увеличивается [10, 11].

Увеличение начального давления с 0,005 до 0,035 МПа приводит к повышению усилия адгезии по отношению к стали в 2 раза [12]. В случае фторопласта при тех же условиях сила адгезии изменится на крайне малую величину, которой можно пренебречь [13]. С учетом этого считаем влажность почвы и время контакта определяющими факторами увеличения силы адгезии [14]. Из этих двух показателей влажность почвы влияет более существенно на величину адгезии [15].

Усилия отрыва определяли весовым методом, при этом грузовым плечом служит горизонтально расположенный и опирающийся на неподвижную призму жесткий рычаг со скользящим грузом [16] или гибкая нить. Измерение усилия отрыва с помощью силоизмерительной пружины реализовано в изобретении Г.Н. Чиркова (Вилде А., Руциныш А., Севостяновс Г. Влияние скорости на сопротивление скольжению почвы по стальной поверхности; сб. науч. тр. междунар. конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». 2008. Т. 2. С. 84-89).

Известен прибор для определения величины адгезии конструкции ВИСХОМ (Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). М.: ИК «Родник», 1998. С. 35). Прибор представляет собой диск и груз (чашку с песком), связанные переброшенной через ролик ниткой. Момент отрыва диска от поверхности почвы определяется при подсыпании песка в чашку. Недостаток данного способа заключается в его трудоемкости, поскольку песок в чашку необходимо периодически подсыпать и взвешивать после отрыва диска от поверхности.

В ФНАЦ ВИМ разработана лабораторная установка для определения величины адгезии [17] (рис. 2).

На основании 1 жестко закреплена стойка 2 со свободно вращающимся роликом 3, через него переброшена нить 4. Один конец нити связан с эталонным грузом 5, другой – с диском 6, который соприкасается с почвой нарушенной структуры, находящейся в емкости 8.

Почву определенной влажности размещают в емкость 8, в момент испытания ее поддерживает рукой исследователь, а груз 5 эталонной массы размещается на электронных весах 7. При вдавливания диска в почву емкость медленно опускается до отрыва диска 6 от поверхности почвы. В момент отрыва фиксируется показание электронных весов.

Величина адгезии

$$\sigma = 4g \cdot (m_1 - m_2) / \pi d^2, \text{ Па}, \quad (3)$$

где m_1 – масса груза, кг; m_2 – масса груза в момент

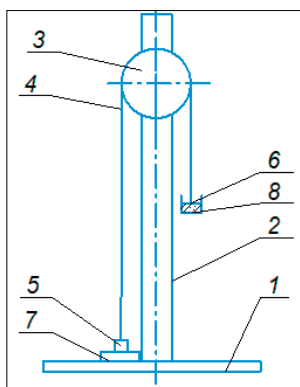


Рис. 2. Лабораторная установка для определения силы адгезии (разработка ВИМ)

Fig. 2. Laboratory unit for determining the strength of adhesion (developed in VIM)

отрыва диска от почвы, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; d – диаметр диска, м.

Величина адгезии определялась при разных значениях абсолютной влажности суглинистой почвы. Образец высушивали до постоянной массы воздушно-тепловым методом [18] в сушильном шкафу Memmert при 100-105°C и взвешивали на весах ANDGF-3000. Если разность массы между двумя последовательными результатами не превышала 0,05 г, пробы охлаждали в эксикаторе 20-30 мин и фиксировали конечную массу бюксы с почвой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. При минимальной величине абсолютной влажности почвы 18% и скорости движения рабочего органа агрегата 7,5 км/ч коэффициент трения скольжения ABS-пластика составил 0,39. Для стали данный параметр для среднего суглинка равен 0,51, для тяжелого суглинка и глины повышается до 0,68. Это свидетельствует о том, что по антифрикционным свойствам исследуемый полимерный материал превосходит сталь. При абсолютной влажности почвы 20% коэффициент трения скольжения составил 0,4, а при 26% увеличился до 0,6.

Установлена взаимосвязь абсолютной влажности почвы и коэффициента трения скольжения рабочего органа из разных материалов (рис. 3а). В экспериментах величина абсолютной влажности изменялась в интервале 18-35% при скорости движения 7,5 км/ч.

Вначале с увеличением абсолютной влажности почвы повышается и коэффициент трения скольжения, однако при достижении влажности 25-26% влага начинает выполнять функцию смазки и коэффициент трения снижается. Это обстоятельство хорошо согласуется с ранее полученными данными (Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. С. 15).

Выявлена взаимосвязь адгезии с абсолютной влажностью почвы (рис. 3б). Минимальное значение адгезии, равное 100 Па, соответствует величине

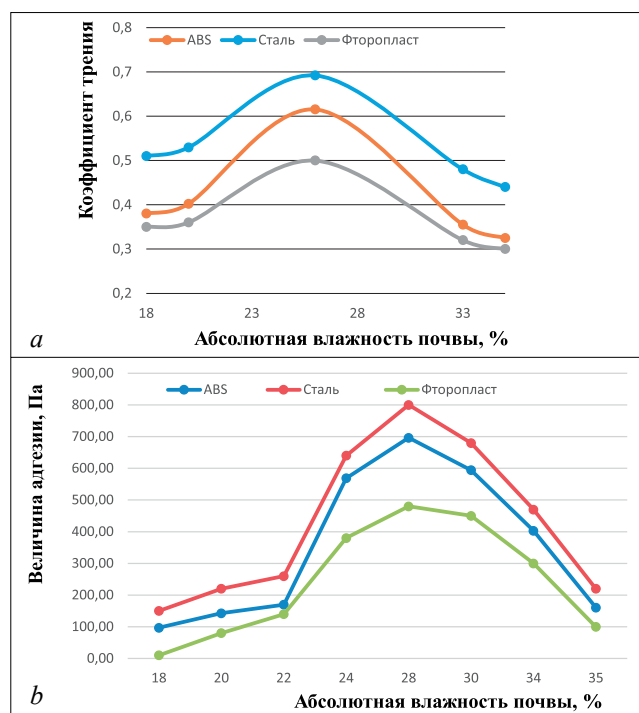


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения скольжения рабочего органа (а) и адгезии суглинистой почвы (б) от абсолютной влажности почвы

Fig. 3. Dependence of the sliding friction coefficient of the working body (a) and adhesion of loamy soil (b) on the absolute soil moisture

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х., Квас С.А. Адгезия сверхвысокомолекулярного полиэтилена и суглинистой почвы // *Сельский механизатор*. 2020. N12. С. 16-17. DOI: 10.47336/0131-7393-2020-12-16-17.
2. Пархоменко Г.Г., Божко И.В., Громаков А.В., Пахомов В.И. Использование пластика в конструкциях почвообрабатывающих рабочих органов // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. N8. С. 8-15. DOI: 10.17816/0321-4443-66312.
3. Marinin M.A., Karasev M.A., Pospekhov G.B. et al. Engineering and geological parameters for heap leaching of gold from low-grade sandy clay ores: a feasibility study. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023. N9. 22-37. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_9_0_22.
4. Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Личман Г.И. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N1. С. 16-21. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.
5. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N5. С. 10-13. EDN: UMQUX.
6. Лобачевский Я.П. Прочностные и деформационные свойства связанных задерненных почв // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. N3. С. 18-20. EDN: NVAWBR.
7. Аржакова О.В., Аржаков М.С., Бадамшина Э.Р. и др. Полимеры будущего // *Успехи химии*. 2022. Т. 91. N12. С. 5062. DOI: 10.57634/RCR5062.
8. Kun D., Kárpáti Z., Fekete E., Mócz J. The role of interfacial adhesion in polymer composites engineered from lignocellulosic agricultural waste. *Polymers*. 2021. 13(18). 3099. DOI: 10.3390/polym13183099.
9. Макаренко А.Н., Мартынова И.В. Результаты испытаний износостойкого покрытия // *Сельский механизатор*. 2021. N10. С. 22-23. EDN: UCSZZU.
10. Твердохлебов С.А., Аветисян О.М., Дуков С.С. Обоснование рациональности использования вибрационного орудия для обработки почвы // *Труды КубГАУ*. 2016. N123 (09). 54. DOI: 10.21515/1990-4665-123-054.
11. Алдошин Н.В., Голубев В.В., Васильев А.С. и др. Перспективы использования пластиковых деталей сельскохозяйственных машин // *АгроЭкоИнженерия*. 2023. N3(116). С. 20-34. DOI: 10.24412/2713-2641-2023-3116-20-33.
12. Денисов В.А., Задорожный Р.Н., Романов И.В. и др. Триботехнические свойства материалов для опор скольжения культиваторов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 13-18. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-13-18.
13. Campbell C.S. Granular material flows. An overview. *Powder Technology*. 2006. Vol. 162. N3. 208-229. DOI: 10.1016/j.powtec.2005.12.008.
14. Fathani T.F., Legono D., Karnawati D. A numerical model

for the analysis of rapid landslide motion. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2017. Vol. 35. N5. 2253-2268. DOI: 10.1007/s10706-017-0241-9.

15. Дмитриев С.Ю., Дмитриев Ю.П., Ценч Ю.С. Комплекс машин АГРОМАШ для обработки залежных земель // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N2 (31). С. 40-47. EDN: RXFMCP.
16. Алябьев А.Ф., Котов А.А. Изменение тяговых свойств гусеничного движителя при замерзании-оттаивании почвы // *Техника и оборудование для села*. 2018. N4.

С. 10-13. EDN: YWXXOG.

17. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. N5. С. 17-23. DOI: 10.22314/207375992016.5.1723.
18. Дворук В.И., Борак К.В., Бучко И.А., Кириенко Н.А. Влияние типа почвы на разрушение низколегированных сталей при изнашивании // *Трение и износ*. 2022. Т. 43. N6. С. 583-593. DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-6-583-593.

REFERENCES

1. Starovoytov S.I., Ahalaya B.H., Kvas S.A. Adhesion of ultra-high molecular weight polyethylene and loamy soil. *SelskiyMechanizator*. 2020. N12. 16-17 (In Russian). DOI: 10.47336/0131-7393-2020-12-16-17.
2. Parkhomenko G.G., Bozhko I.V., Gromakov A.V., Pakhomov V.I. The use of plastics in the construction of soil-working tools. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2017. N8. 8-15 (In Russian). DOI: 10.17816/0321-4443-66312.
3. Marinin M.A., Karasev M.A., Pospekhov G.B. et al. Engineering and geological parameters for heap leaching of gold from low-grade sandy clay ores: a feasibility study. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023. N9. 22-37 (In English). DOI: 10.25018/0236_1493_2023_9_0_22.
4. Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Lichman G.I. Technical systems for digital soil quality control. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N1. 16-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.
5. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. Power and technological evaluation of soil cultivating working tool. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2015. N5. 10-13 (In Russian). EDN: UMQUSX.
6. LobachevskyYa.P. Strength and deformation properties of bonded blackened soils. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2011. N3. 18-20 (In Russian). EDN: NVAWBR.
7. Arzhakova O.V., Arzhakov M.S., Badamshina E.R., et al. Polymers for the future. *Russian Chemical Reviews*. 2022. Vol. 91. N12. 5062 (In Russian). DOI: 10.57634/RCR5062.
8. Kun D., Kárpáti Z., Fekete E., Móczó J. The role of interfacial adhesion in polymer composites engineered from lignocellulosic agricultural waste. *Polymers*. 2021. 13(18). 3099 (In English). DOI: 10.3390/polym13183099.
9. Makarenko A.N., Martynova I.V. Test results of wear-resistant coating. *Selskiy Mechanizator*. 2021. N10. 22-23 (In Russian). EDN: UCSZZU.
10. Tverdokhlebov S.A., Avetisyan O.M., Dukov S.S. Justification of rational use of vibrating tools for soil cultivation. *Works of the Kuban state agrarian university*. 2016. N123 (09). 54 (In Russian). DOI: 10.21515/1990-4665-123-054.
11. Aldoshin N.V., Golubev V.V., Vasiliev A.S. et al. Application potential of plastic parts of agricultural machines. *AgroEcoEngineering*. 2023. N3 (116). 20-34 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2023-3116-20-33.
12. Denisov V.A., Zadorozhnyi R.N., Romanov I.V. et al. Tribotechnical properties of materials for cultivator sliding bearings. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N4. 13-18 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-13-18.
13. Campbell C.S. Granular material flows. An overview. *Powder Technology*. 2006. Vol. 162. N3. 208-229 (In English). DOI: 10.1016/j.powtec.2005.12.008.
14. Fathani T.F., Legono D., Karnawati D. A numerical model for the analysis of rapid landslide motion. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2017. Vol. 35. N5. 2253-2268 (In English). DOI: 10.1007/s10706-017-0241-9.
15. Dmitriev S.Yu., Dmitriev Yu.P., Tsench Yu.S. Complex of AGROMASH machines for processing fallow lands. *Vestnik VIESH*. 2018. N2 (31). 40-47 (In Russian). EDN: RXFMCP.
16. Alyabyev A.F., Kotov A.A. Change in hauling properties of a caterpillar mover in case of soil freezing and thawing. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2018. N4. 10-13 (In Russian). EDN: YWXXOG.
17. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I. Theoretical and technological aspects of ripper working tools operation. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2016. N5. 17-23 (In Russian). DOI: 10.22314/207375992016.5.1723.
18. Dvoruk V.I., Borak K.V., Buchko I.A., Kirienko N.A. Influence of soil type on breaking of low-alloy steels during wear. *Friction and Wear*. 2022. Vol. 43. N6. 583-593 (In Russian). DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-6-583-593.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку статьи. Авторы одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

The authors have made an equivalent contribution to the manuscript. The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.04.2024

31.05.2024