

ВЫБОР ФУТЕРОВОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН

Зеньков С.А., Дрюпин П.Ю., Бондалет И.С., Высоцкий Е.С., Медведев С.Н.
Братский государственный университет, Братск

Ключевые слова: футеровочные покрытия, землеройная машина, влажный связный грунт, адгезия грунтов, коэффициент трения грунта.

Аннотация. Разработка влажной связной грунтовой массы сопровождается её налипанием на рабочие органы землеройных машин в местах контакта, что приводит к уменьшению эффективности применения данных машин. В данной статье рассмотрены антиадгезионные покрытия, которые могут быть использованы как футеровочный материал на рабочих органах землеройных машин. Рассматриваемые покрытия представляют собой конструкционные полимеры (капролон ПА 6, капролон ПА 6-МГ, ПОМ-С, СВМПЭ-1000, римамид). В проведенном исследовании определен коэффициент трения в месте контакта грунтовой массы и рабочей поверхности. Полученные результаты сравнивались с аналогичными показателями для стали 3 с целью определения эффективности использования данных покрытий. В результате проведенного эксперимента построены графические зависимости, отображающие изменение коэффициента внешнего трения грунта от покрытия и определены материалы с наименьшим коэффициентом внешнего трения.

SELECTION OF LINING COATINGS FOR WORKING PARTS OF EARTHMOVING MACHINES

Zenkov S.A., Dryupin P.Yu., Bondalet I.S., Vysotsky E.S., Medvedev S.N.
Bratsk State University, Bratsk

Keywords: lining coatings, earthmoving machine, wet cohesive soil, soil adhesion, soil friction coefficient.

Abstract. The development of a wet cohesive soil mass is accompanied by its sticking to the working parts of earthmoving machines at the points of contact, which leads to a decrease in the efficiency of using these machines. This article discusses anti-adhesive coatings that can be used as a lining material on the working parts of earthmoving machines. The coatings under consideration are structural polymers (caprolon PA 6, caprolon PA 6-MG, POM-S, UHMWPE-1000, rimamide). The study determined the coefficient of friction at the point of contact between the soil mass and the working surface. The results obtained were compared with similar indicators for steel 3 in order to determine the effectiveness of using these coatings. As a result of the experiment, graphical dependencies were constructed showing the change in the coefficient of external friction of the soil from the coating and materials with the lowest coefficient of external friction were identified.

Введение. Разработка влажных связных грунтов землеройными машинами сопровождается налипанием этого грунта на контактирующие поверхности, что приводит к уменьшению полезного объема ковша, увеличению сопротивления и энергоемкости копания, увеличению времени простоя машины (необходимого для очистки ковша) и в итоге к снижению производительности машины [1-11].

Основной причиной налипания грунта является возникновение поверхностных связей между грунтом и контактирующим с ним материалом, из которого изготавливаются рабочие органы землеройных машин [1-4, 8]. Данные материалы, в частности стали, не обладают достаточными гидрофобными свойствами, что и приводит к интенсивному налипанию влажного связного грунта в зоне контакта рабочей поверхности. Однако с развитием технологий создаются новые полимерные материалы, которые по прочностным показателям мало уступают сталям, но при этом обладают высокими антиадгезионными свойствами [5-7].

Для увеличения производительности землеройных машин следует уменьшить сопротивление копанию. Одна из основных составляющих, влияющих на сопротивление копанию, это сила трения, которая возникает между грунтом и поверхностью контакта. Она зависит от физических свойств грунтов: влажности, плотности, гранулометрического состава,

а также от материала рабочего органа и от класса чистоты поверхности. Известно, что сила трения определяется как [1]:

$$F_{тр} = f \cdot N, \quad (1)$$

где f – коэффициент трения, который определяется как тангенс угла наклона рабочей поверхности; N – сила нормальной реакции.

Цель данного исследования – определить зависимость угла внешнего трения между грунтом и контактирующей поверхностью, выполненной из различных материалов. Произвести сравнительный анализ полученных результатов и определить наиболее эффективный материал.

Методика экспериментального исследования. Рассматриваемые покрытия представляют собой конструкционные полимеры (капролон ПА 6, капролон ПА 6-МГ, ПОМ-С, СВМПЭ-1000, римаид). На рисунке 1 представлены образцы полимерных материалов, а в таблице 1 представлены их технические характеристики.

На лабораторной установке (схема которой представлена на рисунке 2), были проведены экспериментальные исследования, показывающие зависимость угла внешнего трения от материала покрытия [9]. Лабораторная установка состоит из рамы 1, на которой закреплена ось 5, относительно которой поворачивается нижняя часть рычажного механизма 2.

Рычажный механизм соединен с рабочей поверхностью 3 и при его повороте происходит поворот рабочей поверхности. На рабочую поверхность закрепляется пластина из рассматриваемого материала 4 с помощью струбцин (на рисунке 2 не показаны).

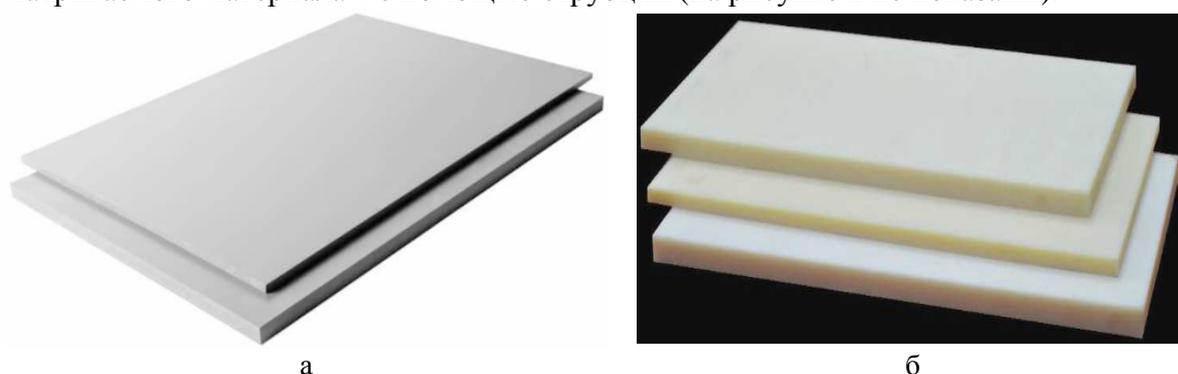


Рис. 1. Конструкционный полимер: а) СВМПЭ РЕ-1000; б) капролон ПА 6

Табл. 1. Технические характеристики полимерных покрытий

Характеристики	Полимерный материал				
	РЕ-1000 СВМПЭ	Капролон ПА-6	Капролон ПА-6 МГ	ПОМ-С	Римаид
Плотность, г/см ³	0,93	1,15...1,16	1,15...1,17	1,41	1,45
Водопоглощение (DIN EN ISO 62)	0,01%	1,5...2%	1,0...1,5%	0,2%	1,5%
Модуль упругости, МПа	700	3000	4600	3100	2800
Предел текучести, МПа	> 17	65...80	65...80	68	80
Ударная вязкость, кДж/м ² : без разреза, с надрезом	- ≥ 170	120 3	40 4	<150 7	- 25...40
Твердость по Шору (D)	66	76	80	81	80
Коэффициент трения скольжения в сухом виде	0,1...0,2	0,35	0,25	0,3	0,3
Износостойкость (песчаная суспензия), у.е.	100	180	160	700	160
Диапазон рабочих температур, °С	-200...+80	-40...+85	-40...+110	-50...+115	-40...+160

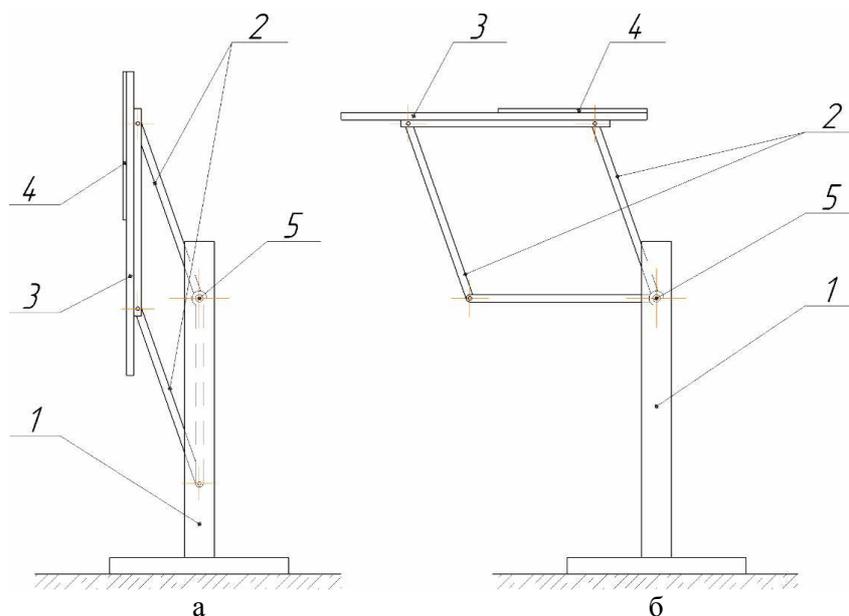


Рис. 2. Лабораторная установка: а) рабочая поверхность повернута на 90° к опорной поверхности; б) рабочая поверхность параллельна опорной поверхности; 1 – рама; 2 – рычажный механизм; 3 – рабочая поверхность; 4 – рассматриваемый материал; 5 – ось

Экспериментальное исследование проводилось следующим образом: в качестве поверхности трения поочередно использовались полимерные покрытия (капролон ПА 6, капролон ПА 6-МГ, ПОМ-С, СВМПЭ-1000, римамид) и сталь 3. Затем на экспериментальной установке были определены углы внешнего трения θ по которым были установлены коэффициенты трения (определяются как $\operatorname{tg} \theta$).

Величина угла наклона измерена цифровым электронным угломером IP54 (точность $\pm 0,3^\circ$).

В эксперименте использовался грунт – суглинок, дисперсностью $D = 5 \cdot 10^{-3}$ мм, с весовой влажностью 12,5; 17,5 и 22,5%, при постоянной температуре внешней среды $T = 17^\circ\text{C}$. Для каждого образца и для каждой влажности опыт повторялся 3 раза. Количество повторных опытов определялось по методике [1].

На рисунке 3 представлена рабочая поверхность с одним из рассматриваемых материалов (сталь 3).



Рис. 3. Рабочая поверхность при определении угла внешнего трения грунта

Результаты и обсуждение. По результатам проведенных испытаний получены углы внешнего трения грунта, по которым определены коэффициенты трения (табл. 2).

По полученным данным построен график зависимостей (рис. 4) коэффициента трения грунта от его влажности грунта для разных поверхностей.

Табл. 2. Коэффициент внешнего трения грунта для различных покрытий в зависимости от влажности грунта

Материал образца	Коэффициент трения в зависимости от влажности грунта								
	12,5%			17,5%			22,5%		
Капролон ПА 6	0,466	0,510	0,445	0,90	1,0	0,810	1,963	1,732	2,145
Капролон ПА 6-МГ	0,554	0,510	0,727	1,332	1,284	0,972	5,185	6,485	5,633
ПОМ-С	0,554	0,532	0,60	0,649	0,70	0,727	1,664	1,376	1,540
СВМПЭ-1000	0,445	0,384	0,425	0,510	0,554	0,577	1,111	1,235	1,072
Римамид	0,532	0,532	0,577	1,483	1,540	1,376	1,732	1,483	1,540
ППЛ-УИ (10 мм)	0,675	0,625	0,727	1,664	1,0	1,235	4,705	3,732	3,732
ППЛ-ЭИ (6 мм)	0,650	0,635	0,675	1,428	1,235	1,280	3,731	2,748	3,078
Сталь 3	0,554	0,70	0,650	2,05	2,145	2,05	3,271	4,332	3,487

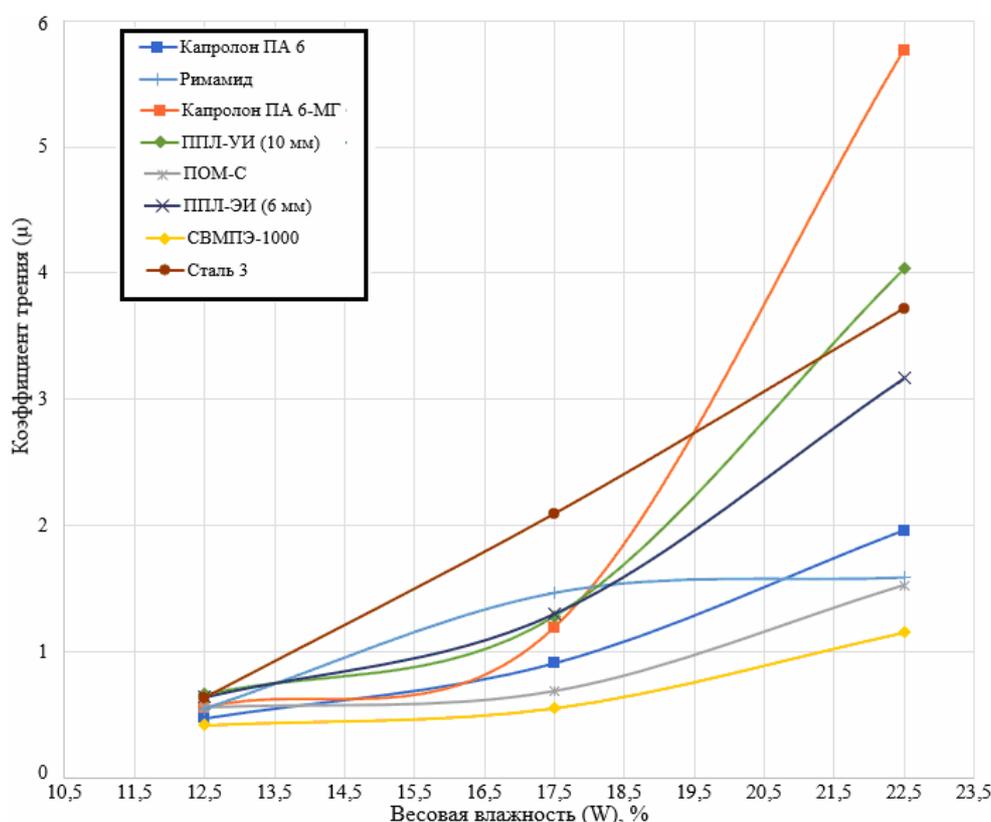


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от влажности грунта для различных покрытий

Выводы. По полученным зависимостям (рис. 4) видно, что используемые материалы СВМПЭ-1000, ПОМ-С, римамид, капролон ПА 6 и ППЛ-ЭИ на всех рассматриваемых влажностях грунта обладают меньшим коэффициентом трения, чем сталь 3. Кроме этого материалы- капролон ПА 6-МГ и ППЛ-УИ показали меньший коэффициент трения при влажности грунта от 12,5% до 19,5% (капролон ПА 6-МГ) и 21% (ППЛ-УИ), чем сталь 3, однако при влажности выше 19,5% и 21% коэффициент трения стали 3 ниже.

Наиболее эффективно себя показал материал СВМПЭ-1000, у которого при 12,5% влажности грунта коэффициент трения в 1,5 раза меньше, при влажности 17,5% коэффициент трения в 3,75 раза меньше, а при влажности 22,5% коэффициент трения в 3,21 раза меньше, чем у стали 3.

Список литературы

1. Заднепровский Р.П. Теория трения скольжения. – Волгоград: Ofset, 2005. – 51 с.
2. Заднепровский Р.П. Рабочие органы землеройных и мелиоративных машин и оборудования для разработки грунтов и материалов повышенной влажности. – М.: Машиностроение, 1992. – 176 с.
3. Сладкова Л.А., Григорьев П.А. Физико-математическая модель налипания грунта на поверхность рабочих органов землеройно-транспортных машин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2021. – №4. – С. 381-388.
4. Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю. Налипание грунта к металлоконструкциям экскаваторов: о современном состоянии проблемы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № S50. – С. 204-215.
5. Зеньков С.А., Лханаг Д. О применении полимерных противоналипающих листов для повышения эффективности выемочных машин // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2020. – Т. 1. – С. 226-231.
6. Zenkov S.A., Kirichenko O.P., Mineev D.A. Reducing adhesion of soil to the earth-moving machines using piezoceramic transducers // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2017. – № 4. – С. 56-58.
7. Зеньков С.А., Балахонов Н.А. Повышение эффективности технологических машин при взаимодействии с адгезивными материалами при отрицательных температурах // Системы. Методы. Технологии. – 2019. – № 2(42). – С. 49-54.
8. Сладкова Л.А., Григорьев П.А. Физико-математическое моделирование процессов трения, адгезии и когезии в проблеме липкости грунта // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2022. – №4. – С. 339-347.
9. Патент №2460989 РФ. Стенд сдвиговый / С.А. Зеньков, Д.Ю. Кобзов, Е.В. Курмашев. – Заявка №2010139838/28 от 28.09.2010; опубл. 10.09.2012, Бюл. №25.
10. Tong J., Ren L., Yan J., Ma Y., Chen B. Adhesion and abrasion of several materials against soil // International Agricultural Engineering Journal. 1999, vol. 8, no. 1, pp. 1-22.
11. Azadegan B., Massah J. Effect of temperature on adgesion of clay soil to steel // Cercetări Agronomiceîn Moldova. 2012, vol. XLV, no. 2(150), pp. 21-27.

References

1. Zadneprovskij R.P. Theory of sliding friction. – Volgograd: Ofset, 2005. – 51 p.
2. Zadneprovskij R.P. The working bodies of earth-moving and reclamation machines and equipment for the development of soils and materials of high humidity. – M.: Mechanical Engineering, 1992. – 176 p.
3. Sladkova L.A., Grigorev P.A. Physical-mathematical model of ground adhesion on the surface of the excavating parts of earth-moving machines // Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University. 2021, no. 4, pp. 381-388.
4. Pobegailo P.A., Kritsky D.Yu. Soil sticking to metal structures of excavators: about the current state of the problem // Mining information and analytical bulletin. 2018, no. S50, pp. 204-215.
5. Zenkov S.A., Lkhanag D. On the use of polymer anti-stick sheets to increase the efficiency of mining machines // Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and engineering sciences. 2020, vol. 1, pp. 226-231.
6. Zenkov S.A., Kirichenko O.P., Mineev D.A. Reducing adhesion of soil to the earth-moving machines using piezoceramic transducers // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2017, iss. 4, pp. 56-58.
7. Zenkov S.A., Balakhonov N.A. Increasing the efficiency of technological machines when interacting with adhesive materials at negative temperatures // Systems. Methods. Technologies. 2019, no. 2(42), pp. 49-54.
8. Sladkova L.A., Grigoriev P.A. Physico-mathematical modeling of processes of friction, adhesion and cohesion in the problem of soil stickiness // Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University. 2022, no. 4, pp. 339-347.
9. Patent No. 2460989 RU. Shear stand / S.A. Zenkov, D.Yu. Kobzov, E.V. Kurmashev. – Appl. No. 2010139838/28 from 28.09.2010; publ. 10.09.2012, Bull. No. 25.
10. Tong J., Ren L., Yan J., Ma Y., Chen B. Adhesion and abrasion of several materials against soil // International Agricultural Engineering Journal. 1999, vol. 8, no. 1, pp. 1-22.
11. Azadegan B., Massah J. Effect of temperature on adgesion of clay soil to steel // Cercetări Agronomiceîn Moldova. 2012, vol. XLV, no. 2(150), pp. 21-27.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Зеньков Сергей Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой СДМ	Zenkov Sergey Alekseevich – candidate of technical sciences, associate professor, head of Department SDM
Дрюпин Павел Юрьевич – аспирант	Dryupin Pavel Yurievich – postgraduate student
Бондалет Иван Сергеевич – аспирант	Bondalet Ivan Sergeevich – postgraduate student
Высоцкий Егор Станиславович – студент	Vysotsky Egor Stanislavovich – student
Медведев Сергей Николаевич – студент	Medvedev Sergey Nikolaevich – student
mf@brstu.ru	

Получена 11.04.2024