

УДК 621.879

С.А. Зеньков, Н.А. Балахонов, Д.С. Чубыкина

Братский государственный университет, Братск, Россия

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ АДГЕЗИИ ГРУНТА К МАШИНАМ

Рассматривается противообледенительная жидкость MAXFLIGHT 04 как средство для борьбы с адгезией системы «грунт – металл» при работе землеройных машин в северных условиях. Объектом исследования является контактирующая с грунтом металлическая поверхность машин с нанесенным на нее слоем противообледенительной жидкости. Целью исследования является повышение производительности и эффективности работы землеройных машин при разработке влажных связных грунтов в условиях отрицательных температур путем снижения адгезии грунта на поверхность рабочего органа. Основные задачи исследования: 1) установить характер изменения силы трения грунта о металлическую поверхность с учетом адгезии при смерзании, а также при профилактическом воздействии; 2) экспериментально оценить влияние внешних факторов (давления прижатия, температуры окружающей среды), определяющих адгезию грунтов при отрицательной температуре, на прочность смерзания грунта с металлической поверхностью рабочего органа; 3) провести экспериментальные исследования для установления закономерностей, определяющих влияние влажности грунта, времени контакта грунта, температуры окружающей среды с металлической поверхностью рабочего органа при образовании промежуточного слоя на границе контакта; 4) установить зависимости, определяющие влияние параметров оборудования профилактического действия, на прочность смерзания грунта с металлической поверхностью рабочего органа.

В данной работе приведены результаты эксперимента по применению противообледенительной жидкости как профилактического средства создания промежуточного слоя на границе контакта грунта с металлической поверхностью машин для снижения адгезии грунта. Получены регрессионные зависимости функции отклика – напряжения сдвига от действия нескольких факторов, а также квазиоднофакторные зависимости.

Ключевые слова: адгезия, жидкостный промежуточный слой, противообледенительная жидкость MAXFLIGHT 04, грунт, сдвиговой стэнд, напряжение сдвига, эксперимент.

S.A. Zenkov, N.A. Balakhonov, D.S. Chubykina

Bratsk State University, Bratsk, Russian Federation

ON THE QUESTION OF DEICING FLUID APPLICATION ON BEHALF OF SOIL ADHESION REDUCE TO MACHINES

The object of study in this work is the icing fluid MAXFLIGHT 04 as a means to combat the adhesion of the "ground to metal" with the earth-moving machinery in northern conditions. The aim of the research is to increase the productivity and efficiency of earthmoving machines in the development of cohesive soils in the humid conditions of negative temperatures by reducing the adhesion of soil on the surface of the working body. The main approaches to the study: 1) to establish the behavior of the frictional force on the metal surface of the soil with the adhesion of freezing, as well as a preventive effect; 2) to evaluate experimentally the effects of external factors (the pressure pressing, ambient temperature), determining the adhesion of soils at subzero temperatures, the strength of the soil freezing to the

metal surface of the working body; 3) to carry out pilot studies to establish the laws that determine the effect of soil moisture, ground contact time, the ambient temperature with the metal surface of the working body in the formation of the intermediate layer at the interface; 4) install depending defining influence of parameters of equipment preventive action, on the strength of the soil freezing to the metal surface of the working body.

This paper presents the results of the experiment on the application of deicing fluid as a preventive means of creating an intermediate layer at the interface with the metal surface of the ground vehicles to reduce the adhesion primer. Obtained regression dependence of the response function – as the shear stress from several factors and depending kvaziodnofaktornye.

Keywords: adhesion, the liquid intermediate layer, anti-icing fluid MAXFLIGHT 04, soil, shear stand, shear stress, experiment.

Причиной затруднения работы машин при взаимодействии с влажными грунтами и материалами является увеличение прилипания (адгезии) при копании, выгрузке, перемещении и планировке [1–3]. В результате резко снижается производительность (до двух раз) и возрастают энергетические затраты. Применяемые на практике методы снижения адгезии можно разделить на четыре группы [4–11]. Например, в качестве экранирующего слоя используют противообледенительные жидкости (ПОЖ). Рассмотрим применение ПОЖ MAXFLIGHT 04, которая представляет противообледенительную жидкость на основе пропиленгликоля [12].

Были проведены экспериментальные исследования на сопротивление сдвигу грунта по металлической поверхности с использованием ПОЖ MAXFLIGHT 04 (при температурах окружающей среды: –35, –15 и +5 °С). Исследования проводились на стенде сдвигового типа [13, 14] с использованием аппарата математической теории планирования эксперимента [15, 16].

Принципиальная схема сдвигового стенда представлена на рис. 1. Стенд состоит из станины 1 с винтами 2, болтовых соединений 3, направляющих 4, каретки 5, снабженной катками 6 и установленной подвижно в направляющих 4, жестко закрепленной на каретке 5 емкости с ПОЖ 7 (с системой подачи ПОЖ 32), с теплоизолированным корпусом 8 и металлической поверхностью сдвига 9, цилиндрической обоймы 10 без дна, съемного кольца 11, штампа 12 и крышки 13. Штамп 12 с помощью резьбового соединения связан со штангой 14, которая может вертикально перемещаться в направляющей втулке 15 и соединена шарнирно с нагрузочным рычагом 16, на одном конце которого расположена подставка 17 со сменными грузами 18. Обойма 10 с помощью шпилек 19 с гайками 20 прикреплена к металлоконструкции 1, может регулироваться и снабжена теплоизоляционным кожухом 21. Съемное

кольцо 11 фиксируется в ней двумя болтами 22. Съемное кольцо 11 сделано из ударопрочного полиэтилена высокого давления. Внутренний диаметр кольца 11 равен внешнему диаметру штампа 12. Штамп внутри полый и снабжен отверстиями 23 и 24 для подвода и отвода хладагента (50%-ный раствор этиленгликоля) и имеет герметичную крышку 13 из материала с большей теплопроводностью, чем теплопроводность материала для штампа 12. Полость штампа 12 заполнена хладагентом (50%-ный раствор этиленгликоля), соединена теплоизолированными трубопроводами через трехходовой кран 25, охладитель 26, кран 27 с емкостью 28 для хладагента.

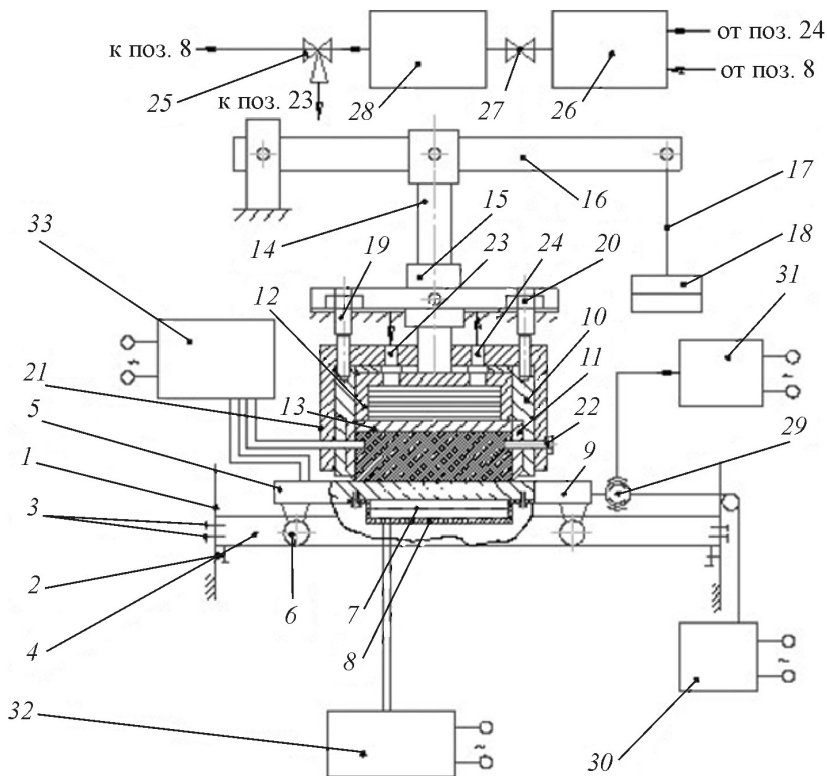


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального сдвигового стенда для исследования влияния жидкостного промежуточного слоя на прочность смерзания грунта

Каретка 5 с емкостью с ПОЖ 7 через тензодатчик (модели СТ) 29 связана с приводным механизмом 30, состоящим из тяговой лебедки, электродвигателя П-21 постоянного тока (питается от сети через трансформатор РНО-250-2 и выпрямитель на силовых диодах ВЛ-200),

червячного редуктора РЧ-3, клиноременной передачи, кулачковой муфты, расположенной на валу лебедки.

Стенд снабжен комплектом тензометрической аппаратуры 31 (динамометр электронный ДОР-3-5И) и устройством для измерения температуры и влажности 33 (термовлагомером CENTER 315).

В качестве функции отклика выбрана величина условно-мгновенного удельного коэффициента смерзания (УМУКС), за который принимают напряжение сдвига, соответствующее началу перемещения образца грунта по металлу. Сдвиг грунта по металлу без жидкостного промежуточного слоя осуществляется аналогично без подачи смазки. Для экспериментальных исследований был использован грунт – суглинок при влажности 7,5; 12,5 и 17,5 %, времени контакта 3, 5 и 7 мин (табл. 1).

Таблица 1

План и результаты эксперимента

План эксперимента в натуральных значениях			Результаты значений напряжения сдвига, Н	
Температура окружающей среды t_{cp} , °С	Влажность грунта W , %	Время контакта системы грунт – металл t , мин	Без воздействия	MAXFLIGHT 04
-35	7,5	3	92,73	30,4
	7,5	7	174,2	62,74
	12,5	5	186,54	78,91
	17,5	3	218,54	134,2
	17,5	7	400	159,89
-15	7,5	5	63,74	38,25
	12,5	3	78,45	50,01
	12,5	5	144,2	56,88
	12,5	7	240,3	58,84
	17,5	5	228,5	94,14
+5	7,5	3	11,6	4,2
	7,5	7	15,2	5,1
	12,5	5	17,9	8,3
	17,5	3	24,3	14,8
	17,5	7	31,7	17,4

В результате обработки экспериментальных данных были получены уравнения регрессии (табл. 2, 3). Без воздействия ПОЖ:

$$\begin{aligned}
 Y_{БВ} = & 134,3 + 1,026T_{cp} - 4,3W - 46,08t - 0,1T_{cp}^2 + \\
 & + 0,1074W^2 + 3,985t^2 - 0,4T_{cp} \cdot W - 0,8T_{cp} \cdot t + 1,3 \cdot W \cdot t.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

С использованием ПОЖ MAXFLIGHT 04:

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{Maxflight}} = & 41,22 + 0,66T_{\text{cp}} - 8,14W + 4,4t - 0,03T_{\text{cp}}^2 + \\
 & + 0,43W^2 - 0,27t^2 - 0,22T_{\text{cp}} \cdot W - 0,17T_{\text{cp}} \cdot t - 0,062 \cdot W \cdot t.
 \end{aligned}
 \quad (2)$$

Таблица 2

Однофакторные уравнения для напряжения сдвига
без применения ПОЖ

Без применения ПОЖ				
№ п/п	Натуральные значения факторов			Однофакторные уравнения
	A $t_{\text{cp}}, ^\circ\text{C}$	B $W, \%$	C $t, \text{мин}$	
Напряжение сдвига, Н				
1	–	17,5	7	$Y = 123,9 - 11,6 \cdot a - 0,1 \cdot a^2$
	–	12,5	5	$Y = 47,81 - 7,974 \cdot a - 0,1 \cdot a^2$
	–	7,5	3	$Y = 34,97 - 4,374 \cdot a - 0,1 \cdot a^2$
2	5	–	7	$Y = -18,365 + 2,8 \cdot b + 0,1074 \cdot b^2$
	–15	–	5	$Y = 25,635 + 8,2 \cdot b + 0,1074 \cdot b^2$
	–35	–	3	$Y = -42,485 + 13,6 \cdot b + 0,1074 \cdot b^2$
3	5	17,5	–	$Y = 59,57 - 27,33 \cdot c + 3,985 \cdot c^2$
	–15	12,5	–	$Y = 134,4 - 17,83 \cdot c + 3,985 \cdot c^2$
	–35	7,5	–	$Y = 54,7 - 8,33 \cdot c + 3,985 \cdot c^2$

Таблица 3

Однофакторные уравнения для напряжения сдвига
с применением ПОЖ

С применением противообледенительной жидкости MAXFLIGHT				
№ п/п	Натуральные значения факторов			Однофакторные уравнения
	A $t_{\text{cp}}, ^\circ\text{C}$	B $W, \%$	C $t, \text{мин}$	
Напряжение сдвига, Н				
1	–	17,5	7	$Y = 40,43 - 4,4 \cdot a - 0,03 \cdot a^2$
	–	12,5	5	$Y = 18 - 2,94 \cdot a - 0,03 \cdot a^2$
	–	7,5	3	$Y = 13,7 - 1,5 \cdot a - 0,03 \cdot a^2$
2	5	–	7	$Y = 55,39 - 9,7 \cdot b + 0,43 \cdot b^2$
	–15	–	5	$Y = 52,57 - 5,15 \cdot b + 0,43 \cdot b^2$
	–35	–	3	$Y = 9,99 - 0,626 \cdot b + 0,43 \cdot b^2$

Окончание табл. 3

С применением противообледенительной жидкости MAXFLIGHT				
№ п/п	Натуральные значения факторов			Однофакторные уравнения
	A $t_{cp}, ^\circ C$	B $W, \%$	C $t, \text{ мин}$	
3	5	17,5	–	$Y = 13,8 + 2,465 \cdot c - 0,27 \cdot c^2$
	-15	12,5	–	$Y = 31,26 + 6,2 \cdot c - 0,27 \cdot c^2$
	-35	7,5	–	$Y = 2,26 + 9,9 \cdot c - 0,27 \cdot c^2$

Построены квазиоднофакторные зависимости, в которых два фактора были зафиксированы.

Анализ данных зависимостей показывает, что с понижением температуры окружающей среды напряжение сдвига увеличивается как с воздействием ПОЖ, так и без ее воздействия в 5–8 раз. С применением противообледенительной жидкости напряжение сдвига уменьшается в 2–2,5 раза (рис. 2).

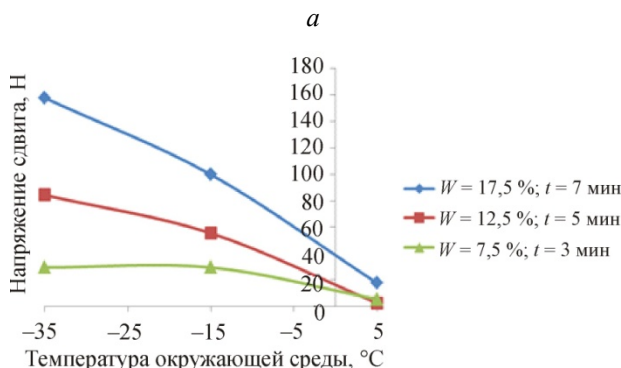
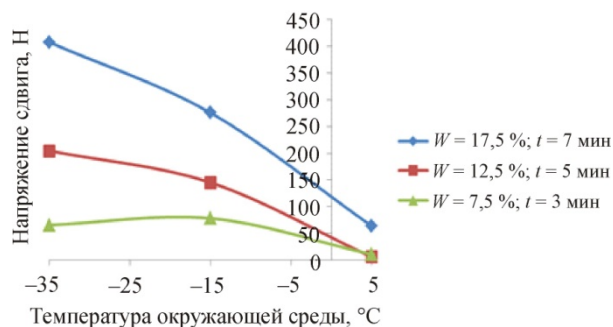
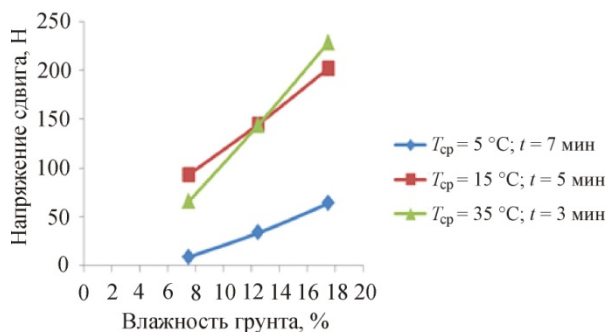
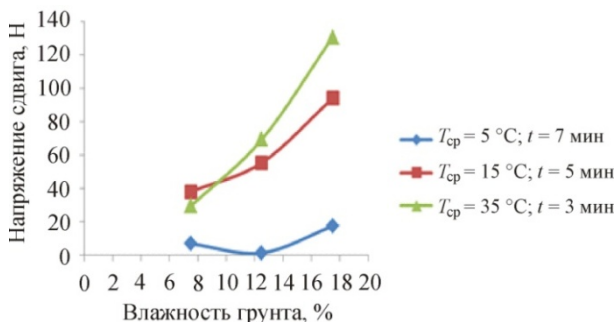


Рис. 2. Зависимости напряжения сдвига от температуры окружающей среды в натуральных значениях: а – без воздействия; б – с применением ПОЖ

Анализ данных зависимостей показывает, что с увеличением влажности грунта напряжение сдвига повышается. С применением противообледенительной жидкости напряжение сдвига уменьшается в 1,5–2 раза (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Зависимости напряжения сдвига от влажности грунта в натуральных значениях: а – без воздействия; б – с применением ПОЖ

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 4, показывает, что с увеличением времени контакта грунта с металлической поверхностью напряжение сдвига повышается (за исключением эксперимента с влажным грунтом при $W = 17,5\%$, $T_{\text{ср}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) в среднем в 1,2–2,3 раза. С применением противообледенительной жидкости напряжение сдвига уменьшается по сравнению с напряжением без жидкости в 1,4–3 раза.

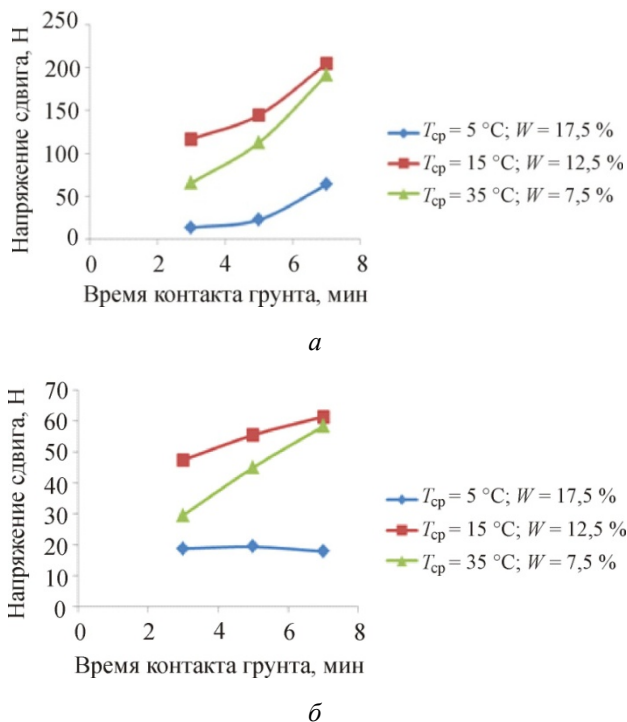


Рис. 4. Зависимости напряжения сдвига от времени контакта грунта в натуральных значениях: *а* – без воздействия; *б* – с применением ПОЖ

Таким образом, применение противообледенительной жидкой смазки MAXFLIGHT 04 на границе контакта позволяет снизить напряжение сдвига в 2–3 раза. ПОЖ предотвращает образование адгезионного слоя мерзлой влаги на границе контакта, которая выделяется при давлении груза на грунт. ПОЖ также растапливает адгезионный слой, преобразуя воду из замерзшего состояния в свободную, и при взаимодействии со свободной водой образует защитный слой на границе контакта, препятствующий примерзанию влажных масс при отрицательных температурах.

Список литературы

1. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Игнатьев К.А. Анализ возможного повышения производительности экскаваторов при устранении адгезии грунта к ковшу // Вестник МГСУ. – 2014. – № 2. – С. 98–104.
2. Заднепровский Р.П. Теория трения скольжения. – Волгоград: Офсет, 2005. – 51 с.

3. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties // *Journal of Terramechanics*. – 1999. – No. 36. – P. 39–49.

4. Wang X L., Ito N., Kito K. Study on reducing soil adhesion to machines by vibration // *Proceedings of the 12th International Conference of ISTVS, 7–10 October, 1996 / Ed. by Q. Yu, L. Qiu*. – Beijing, China: China Machine Press, 1996. – P. 539–545.

5. Azadegan B., Massah J. Effect of temperature on adhesion of clay soil to steel // *Cercetări Agronomice în Moldova*. – 2012. – Vol. XLV, no. 2 (150). – P. 21–27.

6. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties // *Journal of Terramechanics*. – 1999. – No. 36. – P. 39–49.

7. Research on the reducing adhesion and scouring of soil of lugs by using unsmoothed surface electro-osmosis method / B. Chen, D. Liu, S. Ning, Q. Cong // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. – 1995. – No. 11(3). – P. 29–33.

8. Definitions of time from the surface soil breakout body work in a high impact / K.A. Ignatyev, A.S. Filonov, D. Lkhanag, I. Battseren // *Scientific transactions*. – Ulaanbaatar, Mongolia, MUST, 2013. – No. 3/139. – P. 144–146.

9. Неметаллические покрытия как профилактическое средство снижения адгезии на отвальных рабочих органах землеройных машин / С.А. Зеньков, Н.А. Балахонов, К.А. Игнатъев, А.С. Кожевников // *Труды Братского государственного университета. Сер.: Естественные и инженерные науки*. – 2013. – Т. 2. – С. 30–35.

10. Ignatyev K.A., Filonov A.S., Zarubin D.A. Application of piezoceramic radiators for combating adhesion of soils to excavating part of an earthmoving machine // *Science and Education: materials of the II International research and practice conference, Munich, 18–19th December*. – Munich-Germany: Vela Verlag Waldkraiburg, 2012. – Vol. I. – P. 251–256.

11. Жидовкин В.В., Нечаев А.Н., Красавин О.Ю. Применение гибких нагревательных элементов для снижения адгезии грунта к рабочим органам СДМ // *Строительство: материалы, конструкции, технологии: материалы I (VII) Всерос. науч.-техн. конф.* – Братск, 2009. – С. 154–158.

12. Противообледенительные жидкости [Электронный ресурс] / ЗАО «ОКТАФЛЮИД». – URL: <http://octafluid.com/products/pozh/> (дата обращения: 01.07.2015).

13. Пат. 2460989 Российская Федерация, МПК G01N19/00, G01N33/24. Стенд сдвиговый / С.А. Зеньков, Д.Ю. Кобзов, Е.В. Курмашев; ГОУ ВПО «Братский государственный университет»; № 2010139838/28, заявл. 28.09.2010; опубл. 10.09.2012.

14. Пат. 2349801 Российская Федерация, МПК F15B21/04. Устройство для очистки масла гидросистем / Г.Н. Плеханов; ГОУ ВПО «Братский государственный университет»; № 2007139496/06, заявл. 24.10.2007; опубл. 20.03.2009.

15. Устранение налипания грунта на рабочие органы землеройных машин с использованием пьезокерамических излучателей / С.А. Зеньков, К.А. Игнатьев, А.С. Филонов, Н.А. Балахонов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – Т. 1. – С. 64–72.

16. Баловнев В.И., Завадский Ю.В., Мануйлов В.Ю. Применение математической теории планирования эксперимента при исследовании дорожных машин. – М.: МАДИ, 1985. – 104 с.

References

1. Zen'kov S.A., Balakhonov N.A., Ignat'ev K.A. Analiz vozmozhnogo povysheniia proizvoditel'nosti ekskavatorov pri ustranении adgezii grunta k kovshu [Analysis of possible productivity of excavators in eliminating adhesion of soil to the bucket]. *Vestnik MGSU*, 2014, no. 2, pp. 98-104.

2. Zadneprovskii R.P. Teoriia treniia skol'zheniia [The theory of sliding friction]. Volgograd: Ofset, 2005. 51 p.

3. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties. *Journal of Terramechanics*, 1999, no. 36, pp. 39-49.

4. Wang X L., Ito N., Kito K. Study on reducing soil adhesion to machines by vibration. *Proceedings of the 12th International Conference of ISTVS*. Ed. Q. Yu, L. Qiu. Beijing, China: China Machine Press, 1996, pp. 539-545.

5. Azadegan B., Massah J. Effect of temperature on adhesion of clay soil to steel. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 2012, vol. XLV, no. 2 (150), pp. 21-27.

6. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties. *Journal of Terramechanics*, 1999, no. 36, pp. 39-49.

7. Chen B., Liu D., Ning S., Cong Q. Research on the reducing adhesion and scouring of soil of lugs by using unsmoothed surface electro-

osmosis method. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 1995, no. 11(3), pp. 29-33.

8. Ignatyev K.A., Filonov A.S., Lkhanag D., Battseren I. Definitions of time from the surface soil breakout body work in a high impact. *Scientific transactions*, 2013, no. 3/139, pp. 144-146.

9. Zen'kov S.A., Balakhonov N.A., Ignat'ev K.A., Kozhevnikov A.S. Nemetallicheskie pokrytiia kak profilakticheskoe sredstvo snizheniia adgezii na otval'nykh rabochikh organakh zemleroinykh mashin [Non-metallic coating as a prophylactic to reduce the adhesion of the working bodies of dump earthmover]. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i inzhenernye nauki"*, 2013, vol. 2, pp. 30-35.

10. Ignatyev K.A., Filonov A.S., Zarubin D.A. Application of piezoceramic radiators for combating adhesion of soils to excavating part of an earthmoving machine. *Materials of the II International research and practice conference "Science and Education"*. Munich, Germany: Vela Verlag Waldkraiburg, 2012, vol. I, pp. 251-256.

11. Zhidovkin V.V., Nechaev A.N., Krasavin O.Iu. Primenenie gibkikh nagrevatel'nykh elementov dlia snizheniia adgezii grunta k rabochim organam SDM [The use of flexible heating elements for reducing the adhesion of soil to the working bodies of SDM]. *Materialy I (VII) Vserossiyskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Stroitel'stvo: materialy, konstruksii, tekhnologii"*. Bratsk, 2009, pp. 154-158.

12. Protivoobledenitel'nye zhidkosti [The anti-icing fluid], available at: <http://octafluid.com/products/pozh/> (accessed 01 July 2015).

13. Zen'kov S.A., Kobzov D.Iu., Kurmashev E.V. Stend sdvigovyi [Booth shift]. *Patent 2460989 Russian Federation, MPK: G01N19/00, G01N33/24*.

14. Plekhanov G.N. Ustroistvo dlia ochistki masla gidrosistem [Device for cleaning oil hydraulic]. *Patent 2349801 Russian Federation, MPK: F15B21/04*.

15. Zen'kov S.A., Ignat'ev K.A., Filonov A.S., Balakhonov N.A. Ustranenie nalipaniia grunta na rabochie organy zemleroinykh mashin s ispol'zovaniem p'ezokeramicheskikh izluchatelei [Removing soil buildup on the working bodies of earthmoving equipment with piezoceramic radiators]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse"*. Perm: Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politechnicheskii universitet, 2013, vol. 1, pp. 64-72.

16. Balovnev V.I., Zawadzki J.V., Manuilov V.Y. Primenenie matematicheskoi teorii planirovaniia eksperimenta pri issledovanii dorozhnykh mashin [The application of mathematical theory of the planning experiment in road cars]. Moscow: MADI, 1985. 104 p.

Получено 1.10.2015

Об авторах

Зеньков Сергей Алексеевич (Братск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, декан механического факультета Братского государственного университета (665709, г. Братск, ул. Макаренко 40, e-mail: mf@brstu.ru).

Балахонов Никита Александрович (Братск, Россия) – аспирант кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование» Братского государственного университета (665709, г. Братск, ул. Макаренко 40, e-mail: balaxon-off@mail.ru).

Чубыкина Дарья Сергеевна (Братск, Россия) – магистрант кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование» Братского государственного университета (665709, г. Братск, ул. Макаренко 40, e-mail: d_aria@mail.ru).

About the authors

Sergei A. Zenkov (Bratsk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Mechanical Faculty, Bratsk State University (40, Makarenko st., Bratsk, 665709, Russian Federation, e-mail: mf@brstu.ru).

Nikita A. Balakhonov (Bratsk, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Hoisting Transport, Building and Road Machines and Equipment, Bratsk State University (40, Makarenko st., Bratsk, 665709, Russian Federation, e-mail: balaxon-off@mail.ru).

Daria S. Chubykina (Bratsk, Russian Federation) – Master Student, Department of Hoisting Transport, Building and Road Machines and Equipment, Bratsk State University (40, Makarenko st., Bratsk, 665709, Russian Federation, e-mail: d_aria@mail.ru).