

УДК 624.132.3.002.5:621.879

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПРОТИВОНАЛИПАЮЩИХ ЛИСТОВ КАК СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ АДГЕЗИИ ГРУНТОВ К РАБОЧИМ ОРГАНАМ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН

© 2017 С.А. Зеньков

Братский государственный университет

Статья поступила в редакцию 13.03.2017

Выполнен анализ применения полимерных противоналипающих листов в качестве средства для снижения адгезии влажного связного грунта к рабочим органам землеройных машин при работе в условиях отрицательных температур. Проведен эксперимент с использованием полимерных покрытий ППЛ-ЭИ и ППЛ-УИ. На основе математической обработки результатов экспериментальных данных получены уравнения регрессии, анализ которых использован в техническом решении ковша экскаватора.

Ключевые слова: адгезия, грунт, математическая модель, противоналипающие листы, профилактическое воздействие

При разработке влажных связных грунтов происходит интенсивное налипание грунта к поверхностям рабочих органов землеройных машин [1-5]. Применяемые на практике методы борьбы с налипанием и намерзанием (адгезией) трудоёмки и малоэффективны, отрицательно сказываются на работоспособности рабочего оборудования землеройных машин [6-25]. Одним из методов борьбы с адгезией является создание промежуточного слоя на границе контакта грунта и рабочего органа (профилактическое воздействие) [6-9] с использованием футеровочных покрытий из полимерных материалов.

Футеровочные покрытия изготавливаются на основе сверхвысокомолекулярных полимеров. Опыт эксплуатации различного технологического оборудования в отраслях промышленности, занятых добычей и переработкой полезных ископаемых, доказывает, что наиболее эффективным средством борьбы с налипанием и намерзанием влажных горных масс, минерального сырья на контактирующие с ними узлы рабочего оборудования, является их защита (футеровка) полимерными покрытиями, обладающими гидрофобными, антиадгезионными свойствами [2, 3]. Это полимерные противоналипающие футеровочные пластины (ППФП) ООО «Ас-Тик КП» и полимерные противоналипающие листы (ППЛ), рекомендуемые группой компаний «Техно-текс». Разработанный НИИОГРом полимерный материал графитопласт успешно внедряется на предприятиях Минэнерго РФ в качестве профилактического средства, однако внедрение этого материала ограничено из-за недостаточной стойкости к ударным нагрузкам и отсутствием профилактического эффекта при отрицательных температурах. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее полно техническим требованиям отвечают модифицированный полиуретан, фторопласт марки Ф-3М [4].

В зависимости от режима работы наиболее эффективными полимерными антиадгезионными листами являются футеровочные листы ППЛ различных видов. Марки ППЛ: ППЛ-ЭИ: износостойкость - 400 ед.; ударопрочность - 9 ед.; эксплуатационный интервал температур -45+90°C; применение: для контакта с сырьем с коэффициентом f до 5 ед. [4]; ППЛ-УИ (ВМ): износостойкость - 200 ед.; ударопрочность - 25 ед.; эксплуатационный интервал температур -80+100°C; применение: для контакта с сырьем с коэффициентом f до 8 ед. Эффективность от использования сверхвысокомолекулярных полимеров достигается за счет следующих свойств: низкий износ, хорошие свойства скольжения, высокая ударная вязкость, химическая стойкость к кислотам, щелочам, солям и другим агрессивным средам, большой эксплуатационный интервал температур от -50°C до +90°C, высокая прочность при указанных температурах, шумопоглощение, трещиностойкость, водоотталкивающие свойства (гидрофобность), не позволяющие влагосодержащим материалам налипать или намерзать на поверхности полимерного покрытия.

Цель работы: для проверки достоверности приведенных данных провести эксперимент на специальном стенде сдвигового типа [6].

Метод решения задачи. Для поставленных задач экспериментальных исследований были использованы методы многофакторного планирования, что позволяет получить максимально полезную информацию об исследуемых процессах при минимальном количестве опытов. Эффект оценивался по величине отношения условно-мгновенного удельного коэффициента смятия (УМУКС), за который принимают напряжение сдвига τ , соответствующее началу перемещения образца грунта относительно рабочей поверхности, определяемое по формуле:

$$\tau = \frac{P_c}{S},$$

Зеньков Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент. E-mail: mf@brstu.ru

где P_c - нагрузка, необходимая для сдвига различных поверхностей относительно образца грунта, Н; S - площадь рабочей части примороженного образца грунта, m^2 .

Для проведения активного эксперимента с целью получения математической модели в соот-

ветствии с рекомендациями [6] и особенностями данных экспериментальных исследований, выбираем ротатальный центральный композиционный план (РЦКП). Уровни факторов и интервалы варьирования при проведении эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1. Уровни факторов и интервалы варьирования при проведении эксперимента

Факторы	Уровни факторов					Интервалы варьирования
	-2	-1	0	1	2	
X_1 – дисперсность грунта, D_Φ , мм	$9 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
X_2 – нормальное давление на грунт P , кПа	0	10	20	30	40	10
X_3 – влажность грунта весовая, W , %	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	5,0
X_4 – температура внешней среды, T , °C	5	-5	-15	-25	-35	10
X_5 – продолжительность контакта грунта с металлом, t , мин	0,5	10,5	20,5	30,5	40,5	10

Для определения необходимого числа повторных опытов в проводимом исследовании была специально поставлена серия пробных экспериментов, в которую были включены эксперименты по сдвигу всех применяемых в экспериментальном исследовании типов грунтов. Эксперименты проводились с профилактическим воздействием и без воздействия при температуре внешней среды $T = -15^\circ\text{C}$, продолжительности контакта грунта с поверхностью $t_k = 20,5$ мин., весовой влажности грунта $W = 17,5\%$, нормальном давлении на грунт $P = 20$ кПа. Эксперименты проводились на сдвиговом стенде (рис. 1), используя два ППЛ с различными характеристиками. ППЛ зажимаются стробцинами, что делает их неподвижными относительно каретки. Использовались два вида ППЛ, наиболее рациональные по параметрам и рекомендуемые группой компаний «Технотекс»: ППЛ-УИ (10 мм) и ППЛ-ЭИ (6 мм).

В результате обработки экспериментальных данных получены следующие уравнения регрессии, определяющие количественный и качественный характер изменения функции отклика от исследуе-

мых факторов при реализации матрицы эксперимента. Напряжение сдвига грунта без применения ППЛ листов:

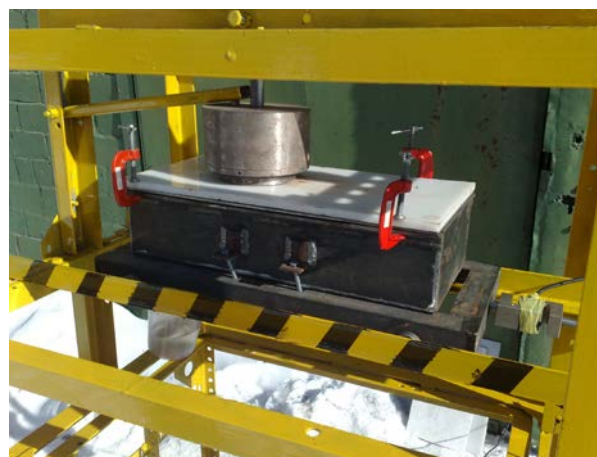


Рис. 1. Сдвиговой стенд

$$R_{\sigma_{\theta}} = 20.28 + 0.74x_1 + 1.69x_2 - 1.91x_3 - 1.24x_4 - 1.01x_5 - 0.88x_1^2 - 1.49x_2^2 - 0.31x_3^2 - 0.163x_4^2 - 0.51x_5^2 + 1.42x_1x_2 - 0.283x_1x_3 - 0.046x_1x_4 - 1.058x_1x_5 - 0.092x_2x_3 + 1.47x_2x_4 - 4.167x_2x_5 + 0.02x_3x_4 + 2.183x_3x_5 - 3.254x_4x_5$$

Напряжение сдвига грунта по ППЛ-ЭИ:

$$R_{\sigma_{\text{ЭИ}}} = 2.596 + 0.06x_1 + 0.225x_2 - 0.627x_3 - 0.152x_4 + 0.007x_5 - 0.158x_1^2 + 0.203x_2^2 + 0.053x_3^2 - 0.171x_4^2 - 0.103x_5^2 + 0.025x_1x_2 - 0.679x_1x_3 + 0.058x_1x_4 - 0.225x_1x_5 - 0.236x_2x_3 - 0.09x_2x_4 - 0.333x_2x_5 - 0.679x_3x_4 + 0.08x_3x_5 - 0.225x_4x_5$$

Напряжение сдвига грунта по ППЛ УИ:

$$R_{\sigma_{\text{УИ}}} = 3.028 + 0.506x_1 + 0.127x_2 - 0.247x_3 - 0.522x_4 + 0.289x_5 - 0.103x_1^2 + 0.308x_2^2 + 0.058x_3^2 - 0.203x_4^2 - 0.241x_5^2 + 0.334x_1x_2 - 0.203x_1x_3 + 0.178x_1x_4 - 0.290x_1x_5 - 0.159x_2x_3 - 0.090x_2x_4 - 0.771x_2x_5 - 0.128x_3x_4 + 0.359x_3x_5 - 0.334x_4x_5$$

По данным уравнениям регрессии были построены квазиоднофакторные зависимости напряжения сдвига от внешних факторов при фиксации остальных переменных факторов.

Анализ полученных результатов. Анализ полученных результатов показывает, что исследуемые поверхности имеют различные значения напряжений. Характер изменения напряжения сдвига по ППЛ ЭИ и по стали 3 аналогичны друг другу, но отличающиеся усилием в среднем на 17 КПа и наибольшее напряжение возникает при 17,5% влажности. Для всех покрытий с уменьшением температуры увеличивается напряжение сдвига. При понижении температуры на 10 градусов напряжение сдвига в среднем увеличивается на 1 КПа, для всех поверхностей. Разница в напряжении сдвига по полимерным покрытиям и по стали в среднем составляет 18 КПа. Различие между ППЛ ЭИ и ППЛ УИ незначительно, и составляет в среднем 0,5 КПа. Для поверхности ППЛ ЭИ при температуре -25 градусов напряжение сдвига перестает увеличиваться и остается практически неизменным.

Зависимость напряжение сдвига от времени контакта для всех поверхностей различна. Для стали напряжение сдвига возрастает при увеличении времени контакта до 20,5 минут, а при дальнейшем увеличении времени практически неизменно. Для полимерных покрытий напряжение сдвига на протяжении всего интервала времени изменяется незначительно.



Рис. 2. Ковш экскаватора ЕК-18 с ППЛ ЭИ до эксплуатации

Выводы и рекомендации. ППЛ различны по химическому составу, с различной структурой, эффективность каждого проверена экспериментально. Из двух полимерных покрытий наиболее подходящим для сдвига грунта по своим характеристикам является ППЛ ЭИ. Анализ полученных результатов показывает, что разница в напряжении сдвига по ППЛ и по стали очевидна, и составляет в среднем 17-18 КПа, что было доказано экспериментально.



Рис. 3. Ковш экскаватора ЕК-18 с ППЛ ЭИ после эксплуатации

В качестве практического применения результатов исследования, ППЛ ЭИ были установлены на ковш экскаватора ЕК-18 на муниципальном предприятии «Дирекция городской инфраструктуры» г. Братска (рис. 2, 3). Применение ППЛ ЭИ к ковшу экскаватора ЕК-18 в течение двух лет эксплуатации позволило сократить время цикла при разработке влажных связных грунтов при отрицательных температурах за счет снижения налипания и намерзания грунта на рабочий орган экскаватора на 17%; снизить энергоемкость в процессе работы за счет лучшей очистки ковша от грунта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Заднепровский, Р.П.* Об эффективных методах снижения адгезии и трения при разработке и транспортировке влагосодержащих материалов // *Механизация строительства*. 2013. №10 (832). С. 32-37.
2. *Кузнецов, В.Г.* Повышение эффективности использования строительной техники на увлажненных грунтах / *В.Г. Кузнецов, Е.В. Кочетов, И.П. Кузнецов* // *Строительные и дорожные машины*. 2012. № 4. С. 2-4.
3. *Зеньков, С.А.* Теоретические предпосылки повышения производительности экскаваторов при устранении адгезии грунта к ковшу / *С.А. Зеньков, А.А. Батууро, К.В. Булаев* // *Механики XXI века*. 2006. № 5. С. 79-81.
4. *Дунаевская, М.П.* Исследование возможности применения полимерных материалов для предотвращения прилипания и примерзания горных пород // *Уголь*. 1997. № 1. С. 48-50.
5. *Rajaram, G.* Effect of wetting and drying on soil physical properties // *G. Rajaram, D.C. Erbach* // *Journal of Teramechanics*. 1999. V. 36. P. 39-49.
6. *Зеньков, С.А.* Планирование эксперимента для определения влияния жидкостного слоя на сопротивление сдвигу грунта по металлической поверхности при отрицательной температуре / *С.А. Зеньков, К.В. Булаев, А.А. Батууро* // *Механики XXI века*. 2006. № 5. С. 84-87.
7. *Зеньков, С.А.* Применение полимерных противоналипающих листов для снижения адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин / *С.А. Зеньков, А.С. Козик, О.А. Буйлов* // *Механики XXI века*. 2010. № 9. С. 112-114.

8. Зеньков, С.А. Неметаллические покрытия как профилактическое средство снижения адгезии на отвальных рабочих органах землеройных машин / С.А. Зеньков, Н.А. Балахонов, К.А. Игнатьев, А.С. Кожевников // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2013. Т. 2. С. 30-35.
9. Зеньков, С.А. Анализ применения жидкостного промежуточного слоя для снижения адгезии грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин / С.А. Зеньков, Н.А. Балахонов, А.С. Чубыкин, А.С. Кожевников // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 189-195.
10. Зеньков, С.А. Применение оборудования теплового воздействия для снижения адгезии грунтов / С.А. Зеньков, В.В. Жидовкин, А.Н. Ничаев, Е.В. Курмашев // Механики XXI века. 2010. № 9. С. 129-132.
11. Зеньков, С.А. Исследование влияния теплового воздействия на адгезию грунтов к рабочим органам землеройных машин / С.А. Зеньков, К.А. Игнатьев, А.С. Филонов, М.С. Банищikov // Механики XXI века. 2013. № 12. С. 228-232.
12. Зеньков, С.А. Определение мест установки электронагревательных гибких ленточных элементов для борьбы с намерзанием грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин / С.А. Зеньков, А.С. Кожевников, А.О. Баев, П.Ю. Дрюпин // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 195-202.
13. Зеньков, С.А. Оборудование для определения влияния жидкостного промежуточного слоя на адгезию грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин / С.А. Зеньков, Г.Н. Плеханов, Н.А. Балахонов, А.С. Чубыкин // Вестник Таджикского технического университета. 2014. Т. 2. № 26. С. 28-32.
14. Зеньков, С.А. Снижение адгезии грунтов с помощью ремонтно-восстановительных составов / С.А. Зеньков, В.В. Жидовкин, А.Н. Ничаев // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2010. Т. 2. С. 127-131.
15. Зеньков, С.А. Планирование эксперимента по применению пьезокерамических излучателей для борьбы с адгезией грунтов к рабочим органам землеройных машин / С.А. Зеньков, К.А. Игнатьев, А.С. Филонов // Механики XXI века. 2012. № 11. С. 399-402.
16. Зеньков, С.А. Анализ повышения производительности экскаваторов при использовании пьезокерамических трансдюсеров / С.А. Зеньков, Е.В. Курмашев, О.Ю. Красавин // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 4. С. 38-41.
17. Зеньков, С.А. Анализ возможного повышения производительности экскаваторов при термоакустическом воздействии для устранения адгезии грунта к ковшу / С.А. Зеньков, Е.В. Курмашев // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2008. № 2. С. 137-140.
18. Зеньков, С.А. Анализ структуры рабочего органа ковшевого типа с устройством внешнего интенсифицирующего воздействия для снижения адгезии грунта / С.А. Зеньков, А.А. Батуро, К.В. Булаев, Р.А. Диппель // Механики XXI века. 2005. № 4. С. 49-52.
19. Зеньков, С.А. 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. 2013. Т. 1. С. 64-72.
20. Зеньков, С.А. Комбинированное устройство снижения адгезии грунта к ковшу экскаватора / С.А. Зеньков, А.А. Батуро // Механики XXI века. 2007. № 6. С. 76-78.
21. Зеньков, С.А. Снижение адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин при помощи высокочастотного воздействия / С.А. Зеньков, А.С. Козик, О.А. Буйлов // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2011. Т. 2. С. 88-92.
22. Зеньков, С.А. Устранение адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин при помощи ультразвукового воздействия / С.А. Зеньков, А.С. Козик, О.А. Буйлов, А.С. Зеньков // Механики XXI века. 2011. № 10. С. 146-148.
23. Зеньков, С.А. Математическая модель для определения параметров оборудования высокочастотного действия при проектировании ковшей экскаваторов / С.А. Зеньков, Э.С. Товмасын // Современные проблемы теории машин. 2014. № 2. С. 41-44.
24. Зеньков, С.А. Перспективы применения гибких нагревательных ленточных элементов для снижения адгезии грунта к рабочим органам ковшевого типа / С.А. Зеньков, Е.В. Курмашев, А.В. Елохин, Д. Дэлэг // Механики XXI века. 2009. № 8. С. 164-167.
25. Зеньков, С.А. Моделирование процесса копания грунта вибрирующим ковшевым рабочим органом при отрицательной температуре / С.А. Зеньков, С.П. Ереско // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 12. С. 44-49.

USE OF THE POLYMERIC ANTISTICKING SHEETS AS MEANS OF DECREASE IN ADHESION OF SOIL TO WORKING BODIES OF DIGGING MACHINES

© 2017 S.A. Zenkov

Bratsk State University

The analysis of application the polymeric antisticking sheets as means for decrease in adhesion of damp coherent soil to working bodies of digging machines during the work in the conditions of negative temperatures is made. The experiment with use of polymeric coverings of PPL-EI and PPL-UI is made. On the basis of mathematical processing of experimental data results the regression equations which analysis is used in technical solution of a bucket of the excavator are received.

Key words: *adhesion, soil, mathematical model, the antisticking sheets, preventive influence*

Sergey Zenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor. E-mail: mf@brstu.ru