

УДК 621.879.3:534.8

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА КОВШАХ ЭКСКАВАТОРОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С НАЛИПАНИЕМ ГРУНТОВ

© 2015 С.А. Зеньков, Н.А. Балахонов, К.А. Игнатъев

Братский государственный университет

Поступила в редакцию 23.03.2015

Рассмотрена возможность применения пьезокерамических излучателей (преобразователей) для борьбы с налипанием грунтов к ковшам экскаваторов. Установлены места наиболее интенсивного налипания грунта на ковши одноковшовых экскаваторов. Представлена планограмма распределения налипшего грунта на ковш. Рассмотрены основные конструкции пакетных пьезокерамических преобразователей, приведен пример технического решения устройства с применением пакетных преобразователей для ковша экскаватора «прямая лопата». Описаны преимущества пьезокерамических преобразователей. Проведен расчет удельной энергоемкости процесса сдвига грунта при намерзании в зависимости от температуры в плоскости сдвига. Сделан вывод о целесообразности применения пьезокерамических излучателей для снижения налипания и намерзания грунта на ковши экскаваторов.

Ключевые слова: *пьезокерамика, излучатель, налипание, ковш экскаватора, грунт*

При работе на влажных грунтах (особенно при минусовой температуре) происходит намерзание и налипание грунта на рабочие органы, что существенно снижает производительность экскаваторов [1-10]. Это снижение – результат уменьшения полезной емкости ковшей за счет неполной выгрузки, роста сопротивления при копании в результате налипания влажного грунта к ковшу, увеличения сопротивления входа в ковш, роста простоев экскаваторов ввиду необходимости очистки ковшей. Также возрастают энергетические потери из-за роста сил трения, и ухудшается качество выполняемых работ. Доля сил трения при копании и планировке достигает 30-70% от общего сопротивления копанью, а производительность снижается в 1,2- 2 раза [1, 2].

Интенсивность и характер налипания грунта на ковши экскаваторов (прямая лопата) вместимостью 4 м³ в производственных условиях исследовались НИИОГРом [11]. По результатам исследований построены планограммы распределения налипшей породы в ковше, с помощью которых определялись наиболее подверженные налипанию участки его поверхности (рис. 1.) Указанные исследования проведены на

экскаваторах, эксплуатировавшихся в различных климатических условиях разрезов Урала и Сибири. Экскавируемые породы были представлены суглинками и глинами с примесью песчаников и аргиллитов влажностью 19-22%, алевролитами с примесью суглинков влажностью 14-15%. Изучение полученных данных показало, что налипание породы на ковш начинается после 3-5 циклов, а по окончании погрузки локомотивосостава вместимостью 220-320 м³ (что соответствует 50-60 циклам) остаток породы достигает 6-9% вместимости ковша. Наибольшему налипанию подвержена поверхность оснований зубьев, а также передней стенки ковша независимо от его геометрических размеров. Максимум оставшейся породы (слой толщиной до 25-30 см) сосредотачивается в центре передней стенки ковша и по линии сопряжения ее с боковыми стенками (рис. 1). Днище ковша является механически подвижной деталью конструкции и налипанию практически не подвергается. Незначительное налипание наблюдалось и на внутренней поверхности задней стенки. Исходя из планограммы, делаем вывод, что грунт налипает неравномерно по всей поверхности ковша, и существуют области, наиболее подверженные налипанию. Именно в эти области необходимо устанавливать противoadгезионную защиту.

Известно, что наиболее эффективны для борьбы с адгезией грунта комбинированные методы [12-21], к которым относится применение пьезокерамических преобразователей. Пьезо-

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

Балахонов Никита Александрович, аспирант. E-mail: balaxon-off@mail.ru

Игнатъев Кирилл Андреевич, аспирант. E-mail: mf@brstu.ru

керамические преобразователи (актюаторы) обладают эффектом теплового и вибрационного воздействия и должны быть размещены в местах наибольшего проявления адгезионных сил. Их действие основано на явлении обратного пьезоэлектрического эффекта.

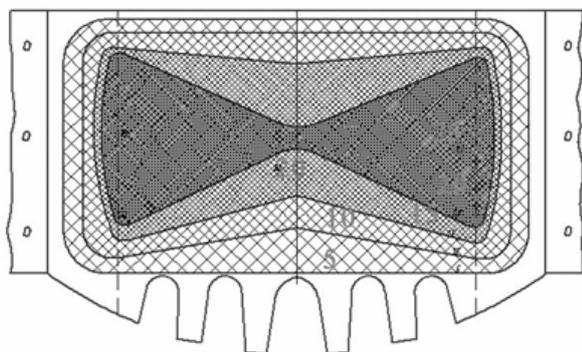


Рис. 1. Планограмма распределения грунта, налипшего на ковш экскаватора с оборудованием прямой лопаты вместимостью 4 м³ (цифрами обозначена толщина налипшего слоя, см)

Пьезоэлектрический эффект может наблюдаться в кристаллах, не имеющих центра симметрии. Если элементарная ячейка кристаллической решетки такова, что «центр тяжести» положительных ионов не совпадает с центром тяжести отрицательных зарядов, то создается постоянный «диполь», и ячейка становится

электрически асимметричной. Пьезоэлектрический эффект может наблюдаться и при отсутствии исходного диполя решетки, поскольку диполь может появиться вследствие поляризации под действием внешнего электрического поля или механической нагрузки. Так ведут себя кристаллы кварца. Макроскопическая поляризация появляется, если диполи ориентированы преимущественно в одном направлении. Внешняя механическая нагрузка изменяет поляризацию диполей, и на поверхности кристалла появляются электрические заряды. Это называют прямым пьезоэлектрическим эффектом.

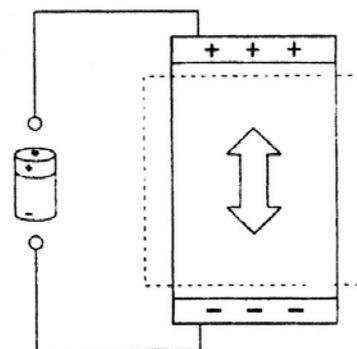


Рис. 2. Схематическое изображение обратного пьезоэлектрического эффекта

Таблица 1. Основные физико-механические характеристики пьезокерамических материалов

Обозначение	ЦТС-19	ЦТС-26	ЦТС-36	НЦТСБС-1
температура точки Кюри, $T_k - ^\circ\text{C}$	290	350	350	140
относительная диэлектрическая проницаемость, $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	1750	1700	670	5700
тангенс угла диэлектрических потерь в слабых полях при $E=25 \text{ кВ/м}$, $\text{tg } \delta$, не более	2,5	2,0	2,5	2,8
механическая добротность, Q_m	80	70	80	40
скорость звука, $v^{E1} - 10^3 \text{ м/с}$	3,0	3,0	3,0	3,0
планарный коэффициент Пуассона, σ_p	0,37	0,36	0,30	0,38
коэффициент планарной моды, k_p	0,55	0,60	0,57	0,62
коэффициент моды растяжения-сжатия по толщине, k_{33}	0,67	0,68	0,70	-
пьезоэлектрический модуль, $d_{31} - 10^{-12} \text{ Кл/Н}$	-160	-170	-90	-310
пьезоэлектрический модуль, $d_{33} - 10^{-12} \text{ Кл/Н}$	350	350	220	650
электрическая константа по напряжению, $g_{31} - 10^{-3} \text{ В*м/Н}$	-10,3	- 11,3	-15,2	-6,2
Электрическая константа по напряжению, $g_{33} - 10^{-3} \text{ В*м/Н}$	22,6	23,3	37,1	12,9
планарной моды, (ООЧ) _p ;	0,8	-	3,0	-
сдвиговой моды, (ООЧ) _{сд} ;	0,9	-	1,1	-
моды растяжения-сжатия по толщине, (ООЧ) _{сж} .	1,0	-	2,0	-
рекомендуемая повышенная температура, $T_{\text{раб}} - ^\circ\text{C}$	200	250	200	85
удельное объемное электрическое сопротивление, ρ_v , не менее $- 10^8 \text{ Ом*м}$ при 100°C	1,0	1,0	1,0	1,0
плотность, $\rho - 10^5 \text{ кг/м}^3$	7,5	7,6	7,7	7,7

Наоборот, приложение к кристаллу внешнего электрического поля деформирует диполи, в результате чего появляется деформация кристалла, которая изменяет его размеры. Это явление называют обратным пьезоэлектрическим эффектом (рис. 2).

Важным классом пьезоэлектриков являются сегнетоэлектрики. Примером сегнетоэлектрика, сыгравшего важную роль в изучении этого явления, является титанат бария ($BaTiO_3$). Этот кристалл имеет структуру перовскита. При высоких температурах он имеет симметричную кубическую структуру. Атомы кислорода находятся в вершинах пирамиды, в центре которой находится атом Ti. Когда температура снижается до $120^\circ C$ (температуры Кюри), симметрия кристалла понижается и решетка становится тетрагональной. В результате перехода элементарная ячейка становится вытянутой вдоль одной из осей, и положительно и отрицательно заряженные ионы

смещаются в противоположных направлениях. Смещение ионов противоположного знака вызывает появление электрического диполя. Основные физико-механические характеристики пьезокерамических материалов приведены в табл. 1.

При работе пьезокерамические преобразователи нагреваются, что в сочетании с высококачественной вибрацией дает на выходе комбинированное воздействие (термоакустическое). Конструкции пакетных пьезокерамических преобразователей, наиболее подходящих для использования их на рабочих органах строительно-дорожных машин, приведены на рис. 3 [23]. Преобразователь включает две керамических пластины 1, верхнюю накладку 2 из дюралюминия Д16Т, нижнюю накладку 4 из стали 45 и прокладки 3 высотой 0,2-0,3 мм из фольги. Центральный болт 5 проходит в отверстия в пьезокерамических пластинах и накладках.

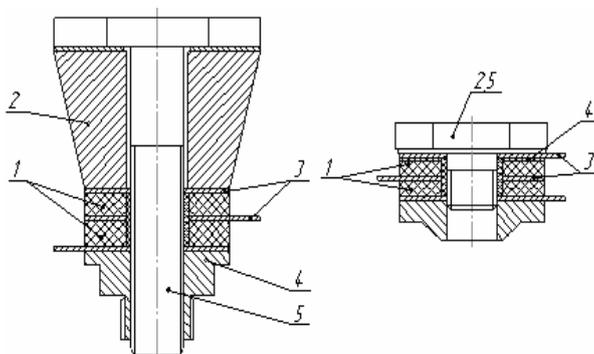


Рис. 3. Конструкции пакетных преобразователей с центральным болтом на частоту 18 и 44 кГц

Пример технического решения устройства с применением пакетных пьезокерамических преобразователей, установленных на ковше экскаватора прямая лопата, показан на рис. 4. В конструкции использованы низкочастотные пьезокерамические преобразователи 1 (ПП1-01/18), размещенные в выфрезерованных отверстиях передней стенки 2 ковша и закрепленные на ней центральным болтом 3. Кроме продольных колебаний пакета, передающихся центральному болту 3, происходит его нагрев в результате разогрева пьезокерамики. Таким образом, поверхность центрального болта $\varnothing 50$ мм является одновременно источником теплового и колебательного воздействия, что значительно снижает адгезию грунта на внутреннюю поверхность передней стенки ковша. Количество пакетных излучателей (например, типа ПП1-01/18, резонансная частота 18 кГц, мощность одного пакета – 0,25 кВт) для ковша экскаватора вместимостью 4 м^3 составляет 24 единицы. Преимуществом использования пьезокерамических преобразователей

является их компактность и равномерность размещения по поверхности ковша, чем, к примеру, применение известных в настоящее время устройств для обогрева ковша или вибрационного воздействия. Преобразователи размещены в основных местах налипания грунта (см. рис. 1, 4), что дает наибольший эффект в борьбе с адгезией. Суммарные затраты мощности при комбинированном термоакустическом воздействии определяются следующим выражением [23]:

$$N_{ТАВ} = N_{ТИ} \cdot K_B + N_{ИС} + N_{СДВ},$$

где $N_{ТИ}$ – суммарная мощность термоакустических излучателей, кВт; $N_{ИС}$ – мощность источника (генератора) ультразвуковых колебаний, кВт; K_B – коэффициент, учитывающий эффективное время работы элементов; $N_{СДВ}$ – мощность, затрачиваемая на сдвиг, кВт.

Результаты расчетов удельной энергоёмкости процесса сдвига грунта по металлической поверхности при смерзании от температуры в

плоскости сдвига представлены в виде графиков зависимостей $N_{уд} = f(T)$ на рис. 5. Из графика видно, что при температуре ниже минус 15°C удельная энергоёмкость процесса сдвига при термоакустическом воздействии в 2-2,5 раза меньше удельной энергоёмкости без внешнего воздействия.

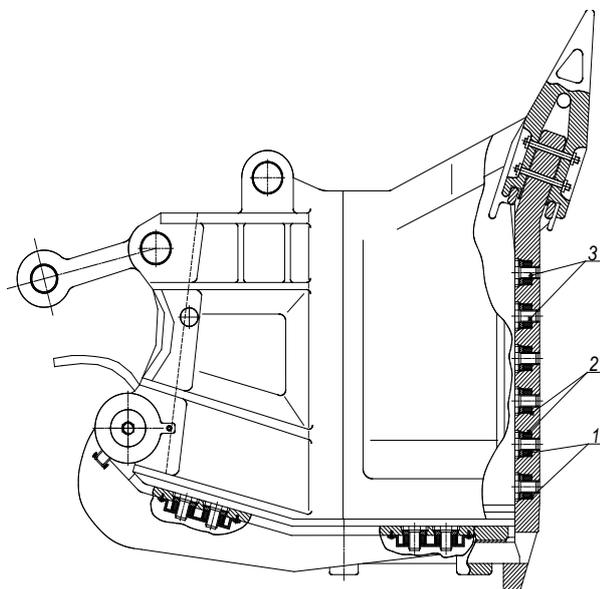


Рис. 4. Ковш экскаватора с пакетными пьезокерамическими преобразователями

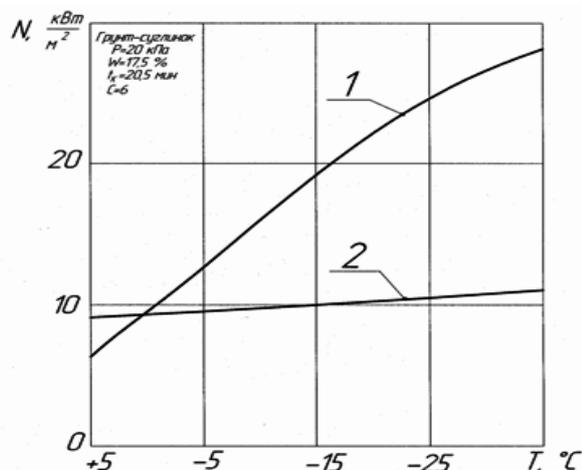


Рис. 5. Зависимость удельной энергоёмкости процесса сдвига грунта по металлической поверхности от температуры в плоскости сдвига: 1 – без внешнего воздействия; 2 – при термоакустическом воздействии ($F=21,8\text{МПа}$; $A=0,005\text{ мм}$; $T=20^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{возд}}=15\text{ с}$)

Выводы: удельная энергоёмкость сдвига при термоакустическом воздействии в 2-2,5 раза меньше, а техническая производительность экскаватора с пакетными пьезокерамическими преобразователями для снижения налипания грунтов при работе на связных грунтах при отрицательной температуре на 20-40% больше, чем у

экскаваторов, не оснащенных подобным устройством. Экономический эффект от внедрения данных устройств обусловлен увеличением производительности экскаваторов, поэтому целесообразно применение пьезокерамических преобразователей для снижения адгезии грунтов к рабочим органам экскаваторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Заднепровский, Р.П.* Рабочие органы землеройных и мелеративных машин и оборудование для разработки грунтов и материалов повышенной влажности. – М.: Машиностроение, 1992. 176 с.
2. *Зеньков, С.А.* Теоретические предпосылки повышения производительности экскаваторов при устранении адгезии грунта к ковшу / *С.А. Зеньков, А.А. Батуро, К.В. Булаев* // Механики XXI века. 2006. № 5. С. 79-81.
3. *Rajaram, G.* Effect of wetting and drying on soil physical properties / *G. Rajaram, D.C. Erbach* // Journal of Terramechanics. 1999. V. 36. P. 39-49.
4. *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. Батуро* // Механики XXI века. 2006. № 5. С. 84-87.
5. *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.
6. *Зеньков, С.А.* Неметаллические покрытия как профилактическое средство снижения адгезии на отвалных рабочих органах землеройных машин / *С.А. Зеньков, Н.А. Балахонов, К.А. Игнатъев, А.С. Кожевников* // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2013. Т. 2. С. 30-35.
7. *Зеньков, С.А.* Определение рациональных параметров оборудования теплового действия к рабочим органам землеройных машин для разработки связных грунтов / *С.А. Зеньков, К.А. Игнатъев, А.С. Филонов, Н.А. Балахонов* // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. Т. 2. № 2с (71). С. 124-129.
8. *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.
9. *Зеньков, С.А.* Исследование влияния теплового воздействия на адгезию грунтов к рабочим органам землеройных машин / *С.А. Зеньков, К.А. Игнатъев, А.С. Филонов, М.С. Банициков* // Механики XXI века. 2013. № 12. С. 228-232.
10. *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.

11. Средства и способы предотвращения прилипания и примерзания горной массы к металлическим рабочим поверхностям // Сборник научных трудов. – Челябинск: НИИОГР, 1972. 36 с.
12. Зеньков, С.А. Применение пьезокерамических трансдюсеров для снижения адгезии при разработке связных грунтов / С.А. Зеньков, К.А. Игнатьев, А.С. Филонов // Вестник Таджикского технического университета. 2013. № 4 (24). С. 17-22.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Зеньков, С.А. Влияние ультразвукового воздействия на адгезию грунтов к рабочим органам землеройных машин / С.А. Зеньков, К.А. Игнатьев // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 2. С. 43-45.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Уорден, К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и применение. – М.: Техносфера, 2006. 224 с.
23. Донской, А.В. Ультразвуковые электротехнологические установки / А.В. Донской, О.К. Келлер, Г.С. Кратыш – Л.: Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1982. 208 с.

PROSPECTS OF USING THE OF PIEZOCERAMICAL RADIATORS ON EXCAVATOR SHOVEL BUCKETS FOR FIGHT AGAINST SOILS STICKING

© 2015 S.A. Zenkov, N.A. Balakhonov, K.A. Ignatyev

Bratsk State University

Possibility of using the piezoceramic radiators (converters) for fight against soils sticking on excavator shovel buckets is considered. Places of the most intensive soils sticking on excavator buckets of one-scoop shovel are established. The planogram of distribution of the stuck soil to excavator bucket is presented. The main designs construction of piezoceramic package of converters are considered, the example of technical solution of the device with use the package converters for a bucket of the "direct shovel" excavator is given. Advantages the piezoceramic converters are described. Calculation of specific power consumption of soils shift process when icing depending on temperature is carried out to the shift planes. The conclusion is drawn on expediency of using the piezoceramic radiators for decrease in soils sticking and icing on buckets of excavators.

Key words: *piezoceramics, radiator, sticking, bucket of the excavator, soil*

Sergey Zenkov, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor. E-mail: mf@brstu.ru
Nikita Balakhonov, Post-graduate Student. E-mail:
balaxon-off@mail.ru
Kirill Ignatyev, Post-graduate Student. E-mail:
mf@brstu.ru