

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛИКОНОВЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ БОРЬБЕ С НАМЕРЗАНИЕМ ГРУНТА К РАБОЧИМ ОРГАНАМ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН

*Зеньков С.А., Дрюпин П.Ю., Бондалет И.С.
Братский государственный университет, Братск*

Ключевые слова: гибкий нагревательный элемент, адгезия, связный грунт, напряжение сдвига.

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследований, подтверждающие эффективность применения гибкого пластинчатого силиконового нагревательного элементов для снижения адгезионных сил, возникающих при разработке влажных связных грунтов. Данный нагревательный элемент имеют ряд преимуществ, а, именно, плотное прилегание и равномерный нагрев по всей площади контакта; малый вес и толщину; возможность изготовления и использования от различных источников питания. Технические и габаритные особенности позволяют использовать данные нагревательные элементы в труднодоступных местах на оборудовании. В статье рассмотрен силиконовый нагревательный элемент от источника питания напряжением 12 В, представлен его технические характеристики. На специальном стенде экспериментальным путем установлено усилие сдвига грунта без теплового воздействия, а также определены усилия при использовании нагревательных элементов, при различных температурных условиях окружающей среды. По полученным экспериментальным данным, разработана математическая модель, описывающая зависимость влияния варьируемых факторов на прочность смерзания грунта. Так же определена эффективность использования данного нагревательного элемента.

THE USE OF SILICONE HEATING ELEMENTS IN THE FIGHT AGAINST SOIL FREEZING TO THE WORKING BODIES OF EARTH-MOVING MACHINES

*Zenkov S.A., Dryupin P.Yu., Bondalet I.S.
Bratsk State University, Bratsk*

Keywords: flexible heating element, adhesion, cohesive soil, shear stress.

Abstract. This paper presents the results of studies confirming the effectiveness of the use of a flexible lamellar silicone heating element to reduce the adhesive forces that arise during the development of wet cohesive soils. This heating element has a number of advantages, namely: snug fit and uniform heating over the contact area; light weight and thickness; the ability to manufacture and use from various power sources. Technical and overall features allow the use of these heating elements in hard-to-reach places of the equipment. The article considers a silicone heating element from a 12 V power supply, presents its technical characteristics. On a special stand, the soil shear force without thermal exposure was experimentally established, and the forces were determined when using heating elements, under various environmental temperature conditions. Based on the experimental data obtained, a mathematical model has been developed that describes the dependence of the influence of variable factors on the strength of soil freezing. The efficiency of using this heating element is also determined.

Введение. Разработка влажного связного грунта землеройными машинами затрудняется в силу налипания грунта к рабочим органам машин (рис. 1) [1-7].

В условиях, где температура окружающей среды опускается ниже нуля, адгезионные силы, которые препятствуют разъединению тел (грунта и рабочего органа), проявляют себя особенно сильно. Одним из наиболее эффективных способов борьбы с намерзанием грунта является тепловое воздействие на зону контакта грунта и металла [8-10].

Материалы и методы исследования. В данном исследовании в качестве источника тепла использован гибкий пластинчатый силиконовый нагревательный элемент от напряжения сети 12 В. Нагревательный элемент (рис. 2) представляет собой изолированную кремнийорганическими соединениями греющую высокорезистивную проволоку. Очень большая степень гибкости и небольшая толщина данного типа подогревателя допускает его использование даже в труднодоступных местах на оборудовании сложной формы.



Рис. 1. Ковш экскаватора с налипшим грунтом

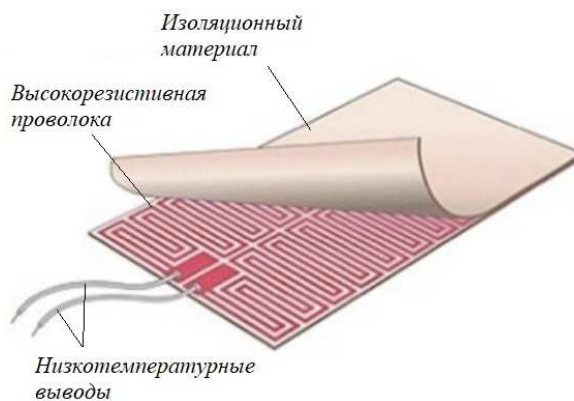


Рис. 2. Силиконовый гибкий нагревательный элемент

Техническая характеристика нагревательного элемента [1]:

- удельная мощность – $0,5 \text{ Вт/см}^2$;
- напряжение питания – 12 Вт;
- рабочая температура – 250°C ;
- изоляционное сопротивление – 4 Вт/см^2 ;
- натяжение проволоки – $15 \times 15 \text{ Н}$;
- возможные отклонения от мощности – 5%.

Температурно-временная характеристика силиконового нагревательного элемента, при температуре окружающей среды $+20^\circ\text{C}$ представлена на рисунке 3.

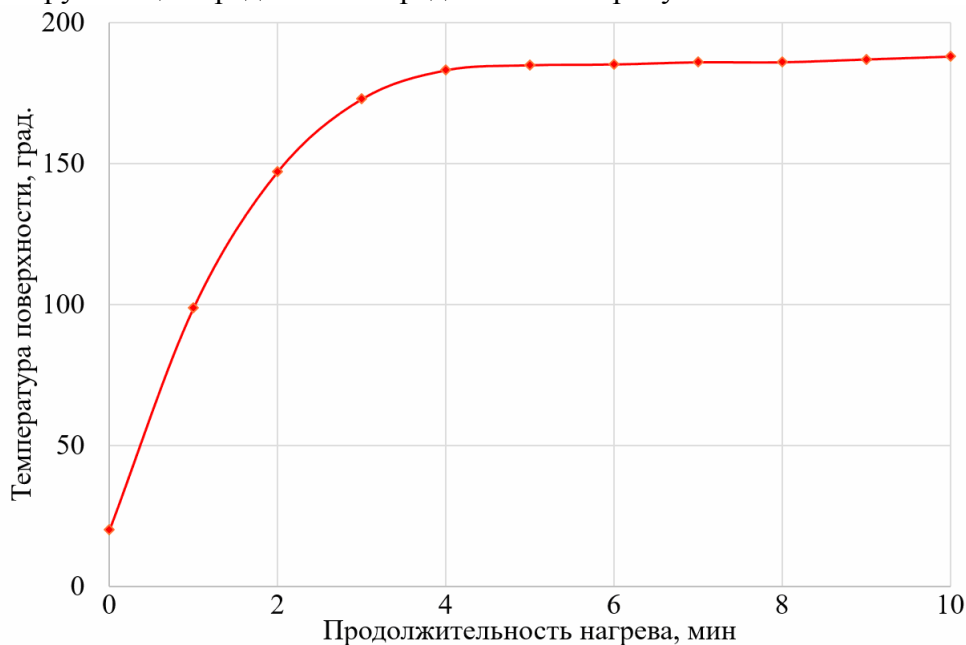


Рис. 3. Зависимость температуры поверхности нагревателя от продолжительности нагрева

Для проведения эксперимента по определению усилия сдвига грунта и определения эффективности нагревательного элемента применялся специальный сдвиговой стенд [2,3]. В качестве грунта использовалась глина дисперсностью $D=7 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ и весовой влажностью $W=12,5\%$. Продолжительность контакта грунта и имитатора ковша составляло $t_k=10 \text{ мин}$. При планировании экспериментов выбран план трехфакторной модели 3^3 . Варьируемые факторы, уровни и интервалы варьирования представлены в таблице 1.

Было определено усилие сдвига грунта без теплового воздействия (табл. 2) при различной температуре окружающей среды и разном давлении на грунт.

В ходе проведения эксперимента были получены следующие данные (табл. 3).

Табл. 1. Уровни и интервалы варьирования

Варьируемые факторы	Уровни варьирования			Интервалы варьирования
	-1	0	1	
x_1 – температура окружающей среды, °С	-25	-15	-5	10
x_2 – давление на грунт, кПа	30	20	10	10
x_3 – продолжительность нагрева, мин	7	5	3	2

Табл. 2. Усилия сдвига без использования теплового воздействия

Температура окр. среды, °С	Давление на грунт, кПа	Результаты измерений, кг		
		1-ый замер	2-ой замер	3-ий замер
-5	10	16,5	18,4	16,1
	20	19,3	19,1	20,2
	30	22,1	23,0	22,2
-15	10	29,1	34,1	31,6
	20	52,1	49,1	55,4
	30	71,6	68,2	77,5
-25	10	30,5	33,6	31,2
	20	48,3	47,1	49,2
	30	77,5	79,1	76,8

Табл. 3. Результаты эксперимента

Температура окружающей среды, °С	Давление на грунт, кПа	Продолжительность нагрева, мин	Среднее усилие сдвига, кг
-5	10	3	11,2
		5	8,9
		7	8,5
	20	3	16,2
		5	14,7
		7	12,5
	30	3	17,5
		5	15,6
		7	14,1
-15	10	3	10,5
		5	9,1
		7	8,7
	20	3	16,1
		5	15,4
		7	14,1
	30	3	19,6
		5	15,5
		7	14,0
-25	10	3	9,8
		5	9,1
		7	9,0
	20	3	15,3
		5	14,8
		7	13,6
	30	3	15,8
		5	14,3
		7	14,2

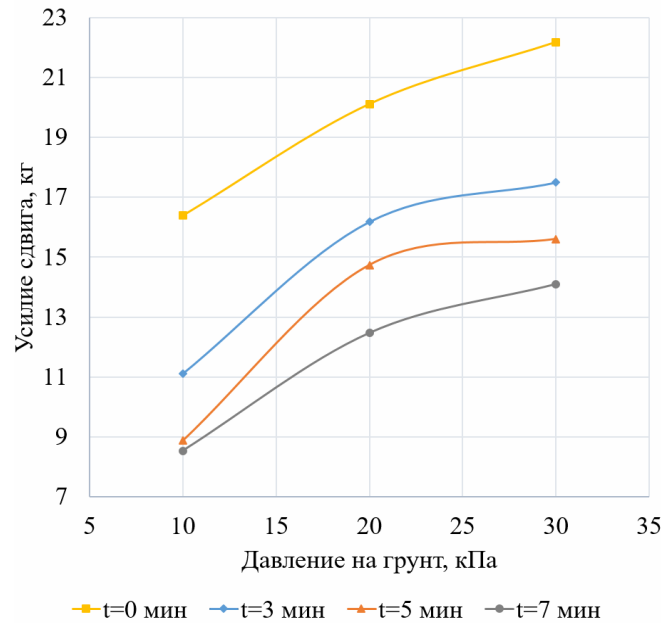
Трехфакторное уравнение, описывающее воздействие варьируемых факторов на усилие сдвига, имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2 + b_6x_3^2 + b_7x_1x_2 + b_8x_1x_3 + b_9x_2x_3. \quad (1)$$

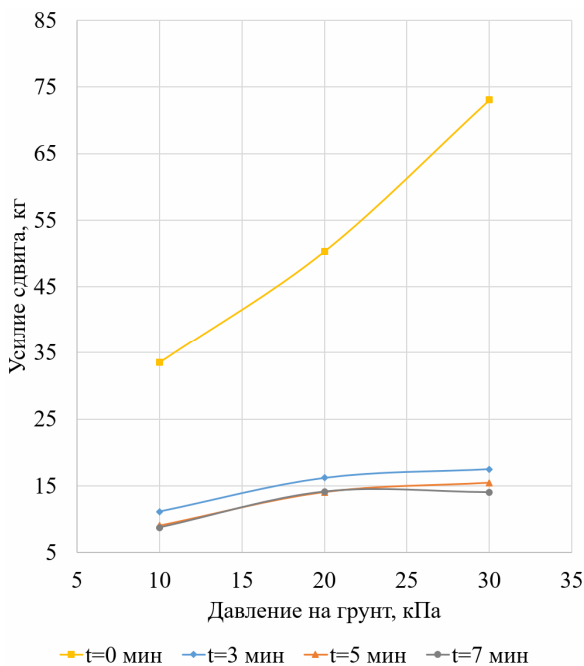
В программе “MODEL“ произведена обработка экспериментальных данных и построено трехфакторное уравнение:

$$Y_{12B} = 2,765 - 0,084x_1 + 1,348x_2 - 1,325x_3 - 0,006x_1^2 - 0,022x_2^2 + 0,079x_3^2 + 0,002x_1x_2 - 0,023x_1x_3 - 0,023x_2x_3. \quad (2)$$

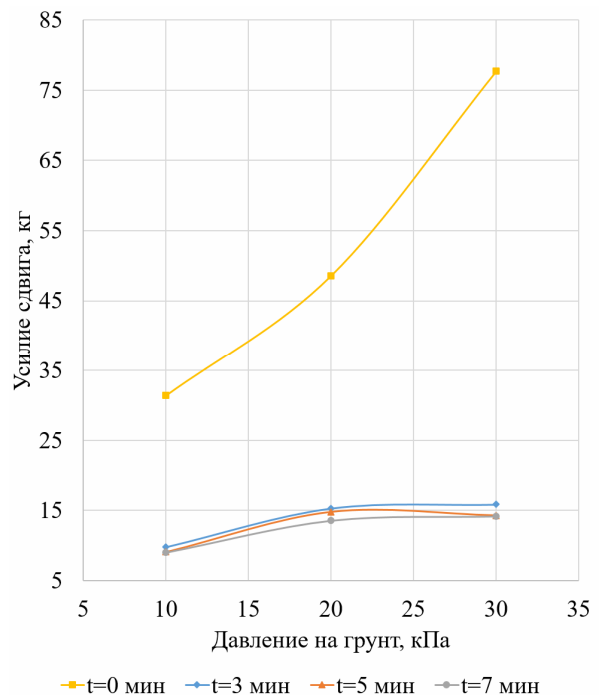
По полученным экспериментальным данным построены графики (рис. 4) зависимости усилия сдвига от давления на грунт, при различных температурах окружающей среды и различной продолжительности нагрева.



а



б)



в)

Рис. 4. График зависимости усилия сдвига от давления на грунт при температуре окружающей среды: а) -5°C; б) -15°C; в) -25°C

Выводы. По полученным экспериментальным данным видно, что использование гибких силиконовых нагревательных элементов приводит к снижению адгезионных сил. Так при использовании нагревательной пластины от источника питания 12 В при температуре окружающей среды -5°C усилие сдвига снижается в 1,21...2,0 раза; при температуре окружающей среды -15°C усилие сдвига снижается в 3,04...5,17 раза; а при температуре окружающей среды -25°C усилие сдвига снижается в 3,15...5,47 раза.

Список литературы

1. Гибкие поясные и плоские силиконовые нагреватели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tvoy-nagrev.ru/catalog/gibkie-nagrevateli/gibkie-silikonovye-nagrevateli/>
2. Патент № 2460989 РФ. Стенд сдвиговой / Зеньков С.А., Кобзов Д.Ю., Курмашев Е.В. – Заявка № 2010139838/28 от 28.09.2010; опубл. 09.10.2012, Бюл. № 10.
3. Патент № 1310696 РФ. Сдвиговой стенд / Баловнев В.И., Бакатин Ю.П., Зеньков С.А., Журавчук С.В. – Заявка № 3992052 от 12.12.1985; опубл. 15.05.1987.
4. Заднепровский Р.П. Рабочие органы землеройных и мелиоративных машин и оборудования для разработки грунтов и материалов повышенной влажности. – М.: Машиностроение, 1992. – 176 с.
5. Зеньков С.А., Кожевников А.С., Кутимский Г.М. Использование электронагревательных гибких ленточных элементов для борьбы с намерзанием грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Механика XXI века. – 2014. – № 13. – С. 156-160.
6. Buturovich I., Kim Han Duc. Calculation curved concentrators // Trudy LPI. 1969. Vol. 309. 169 p.
7. Зеньков С.А., Игнатьев К.А., Филонов А.С. Эффективность гибких нагревательных элементов для борьбы с адгезией грунтов к землеройным машинам // Труды Братского государственного университета. Серия Естественные и инженерные науки. – 2013. – Т. 1. – С. 134-137.
8. Tong J. Study on reducing adhesion and resistance of soil to soil engaging components of machinery for land locomotion by bionics: Ph.D. Dissertation. – Changchun, China: Jilin University of Technology, 1993.
9. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties // Journal of Terramechanics. 1999, no. 36, pp. 39-49.
10. Sharma V.K., Drew L.O., Nelson G.L. High Frequency Vibrational Effects on Soil-Metal Friction // Transactions of the ASAE. 1977, vol. 20(1), pp. 46-51.

References

1. Flexible belt and flat silicone heaters [Electronic resource]. Access Mode: <https://tvoy-nagrev.ru/catalog/gibkie-nagrevateli/gibkie-silikonovye-nagrevateli/>
2. Patent No. 2460989 RU. Shift stand / Zenkov S.A., Kobzov D.Yu., Kurmashev E.V. – Application No. 2010139838/28 from 28.09.2010; publ. 09.10.2012, Bul. No. 10.
3. Patent No. 1310696 RU. Shift stand / Balovnev V.I., Bakatin Yu.P., Zenkov S.A., Zhuravchuk S.V. – Application No. 3992052 from 12.12.1985; publ. 15.05.1987.
4. Zadneprovsky R.P. 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.
5. Zenkov S.A., Kozhevnikov A.S., Kutimsky G.M. The use of electric heating flexible tape elements to combat soil freezing to metal surfaces of the working bodies of earth-moving machines // Mechanics of the XXI century. – 2014. – No. 13. – P. 156-160.
6. Buturovich I., Kim Han Duc. Calculation curved concentrators // Trudy LPI. 1969. Vol. 309. 169 p.
7. Zenkov S.A., Ignatiev K.A., Filonov A.S. Efficiency of flexible heating elements to combat soil adhesion to earth-moving machines // Proceedings of the Bratsk State University. Natural and Engineering Sciences Series. 2013, vol. 1, pp. 134-137.
8. Tong J. Study on reducing adhesion and resistance of soil to soil engaging components of machinery for land locomotion by bionics: Ph.D. Dissertation. – Changchun, China: Jilin University of Technology, 1993.
9. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties // Journal of Terramechanics. 1999, no. 36, pp. 39-49.
10. Sharma V.K., Drew L.O., Nelson G.L. High Frequency Vibrational Effects on Soil-Metal Friction // Transactions of the ASAE. 1977, vol. 20(1), pp. 46-51.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Зеньков Сергей Алексеевич – кандидат технических наук, доцент	Zenkov Sergey Alekseevich – candidate of technical sciences, associate professor
Дрюпин Павел Юрьевич – аспирант	Dryupin Pavel Yurievich – post-graduate student
Бондалет Иван Сергеевич – магистрант	Bondalet Ivan Sergeevich – undergraduate
mf@brstu.ru	

Получена 15.06.2022