

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭКСКАВАТОРА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЛАЖНОГО ГРУНТА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Зеньков С.А., Дрюпин П.Ю., Высоцкий Е.С., Ревин Д.В.
Братский государственный университет, Братск

Ключевые слова: сдвиговое усилие, связный грунт, адгезионные силы, гибкий нагревательный элемент.

Аннотация. В процессе выполнения землеройных работ экскаватор взаимодействует с грунтом посредством рабочего органа – ковша. Проблема появления адгезионных сил, возникающих в области контакта влажного связного грунта и ковша, приводит к уменьшению производительности машины. В том случае, когда температура окружающей среды опускается ниже нулевой отметки, данная проблема приводит к более резкому снижению производительности. Так при продолжительности работы экскаватора 45 мин в летний период полезный объем ковша уменьшается на 10...11%, а в зимний период объем ковша уменьшается на 25...30%. Одним из наиболее эффективных способов снижения примерзания грунта к рабочим поверхностям является метод теплового воздействия. Источником теплового излучения выступает силиконовый пластинчатый нагревательный элемент с напряжением питания 24 и 220 В. Представлена сравнительная характеристика данного нагревательного элемента от разных источников питания. Проведен эксперимент и на основе полученных данных определена эффективность применения нагревательных элементов.

IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE EXCAVATOR WHEN DEVELOPING WET SOIL IN THE CONDITIONS OF THE NORTH

Zenkov S.A., Dryupin P. Yu., Vysotsky E.S., Revyn D.V.
Bratsk State University, Bratsk

Keywords: shear force, cohesive soil, adhesive forces, flexible heating element.

Abstract. In the process of excavation, the excavator interacts with the soil through the working body – the bucket. The problem of applying adhesive forces, gluing them in the area of contact between the wet joint of the soil and the bucket, transferring to a decrease in the productivity of machines. In the case where the ambient temperature is described below the zero point, a problem has been identified that leads to a more dramatic increase in performance. So, with an excavator operating time of 45 minutes in summer, the useful volume of the bucket decreases by 10...11%, and in winter, the volume of the bucket decreases by 25...30%. One of the most effective methods of application of thermal influence is the influence on soils. The thermal voltage source combines a silicone plate heating element with a supply voltage of 24 and 220 V. Offering a comparable characteristic of this element of various power sources. An experiment was carried out, and on the basis of the data obtained, the efficiency of using the accumulation of elements was determined.

Введение. Опыт эксплуатации землеройных машин показывает, что при разработке влажных связных грунтов налипание грунта на поверхности рабочего органа существенно снижает производительность машин. Существенное снижение производительности происходит тогда, когда температура окружающей среды ниже нулевой отметки. При отрицательной температуре окружающей среды весь прилипший грунт примерзает к рабочим органам (рис. 1), при этом адгезионные силы, возникающие в зоне контакта, достигают максимальных значений. Снижение производительности происходит из-за: уменьшения вместимости ковша; увеличения энергоемкости разработки грунта; увеличения времени простоя машины, затрачиваемое для очистки ковша [1-15].

Существует множество способов очистки ковша (теоретических и применяемых на практике) от прилипшего и примерзшего грунта. При необходимости очистить ковш от примерзшего грунта применяется метод теплового воздействия. Под воздействием теплового излучения цементационные связи льда снижаются или исчезают полностью, что приводит к уменьшению сил адгезии [3, 5, 9, 15].



а



б

Рис. 1. Ковш экскаватора с прилипшим (а) и примерзшим (б) грунтом

Цель эксперимента заключается в определении эффективности применения силиконовых гибких нагревательных элементов, как источника теплового воздействия при борьбе с примерзанием грунтов.

Материалы и методы исследования.

Источник теплового излучения – силиконовый пластинчатый гибкий нагревательный элемент (рис. 2). Силиконовый нагревательный элемент представляет собой греющую проволоку, которая изготовлена из высокорезистивного материала и изоляции из кремнийорганических соединений, образующих пластину. Пластина, благодаря своей гибкости и малой толщине, может размещаться в труднодоступных местах и применяться на оборудовании сложной формы. Основные технические характеристики [11]: напряжение питания – 24/220 В; удельная мощность – 0,45/0,8 Вт/см².

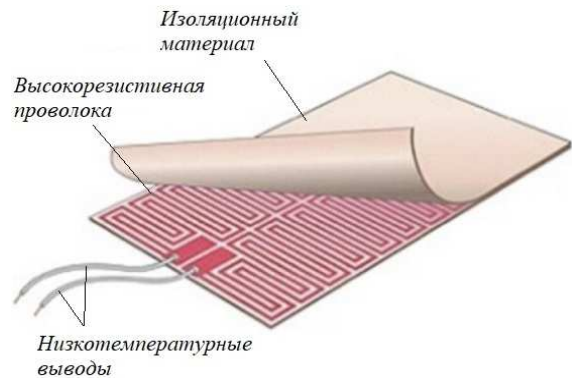


Рис. 2. Силиконовый гибкий нагревательный элемент

Эксперимент по определению эффективности применения данного нагревательного элемента при борьбе с примерзанием грунта к рабочим органам проводился на специальном сдвиговом стенде физического моделирования [7, 12]. Сдвиговой стенд дает возможность определить возникающее усилие при сдвиге грунта с поверхности имитатора рабочего органа. В исследовании использовался грунт со следующими свойствами: грунт – суглинок; дисперсность грунта, $D=7 \cdot 10^{-3}$ мм; весовая влажность, $W = 12,5\%$. Время контакта имитатора ковша и грунта составляло $t_k = 10$ мин.

Эксперимент проводился согласно плану полного факторного эксперимента [13], по которому реализуются все возможные сочетания уровней факторов. Число опытов определялось по формуле $N = p^k$, где p – число уровней факторов; k – число факторов. В качестве варьируемых факторов приняты: давление прижатия, кПа (x_1); продолжительность нагрева, мин (x_2). Уровни факторов и интервалы варьирования приведены в таблице 1.

Эксперимент проводился при температурах окружающей среды: -5; -15 и -25°C.

Для определения эффективности использования нагревательного элемента в ходе эксперимента было определено сдвиговое усилие грунта без теплового воздействия и при тепловом воздействии на зону контакта с варьированием исследуемых факторов.

Табл. 1. Уровни и интервалы варьирования

| Варьируемые факторы | Уровни варьирования | | | Интервалы варьирования |
|--|---------------------|----|----|------------------------|
| | -1 | 0 | 1 | |
| x_1 – давление прижатия, кПа | 30 | 20 | 10 | 10 |
| x_2 – продолжительность нагрева имитатора ковша, мин | 7 | 5 | 3 | 2 |

После проведения обработки полученных экспериментальных данных выявлены многофакторные уравнения регрессии для принятых температурных условий (табл. 2).

Табл. 2. Многофакторные уравнения регрессии

| Нагревательный элемент от 24 В | Нагревательный элемент от 220 В |
|--|--|
| При температуре окружающей среды, $T_{окр} = -5^{\circ}\text{C}$ | |
| $Y = 80,558 + 4,177 \cdot x_1 - 7,228 \cdot x_2 - 0,035 \cdot x_1^2 + 0,492 \cdot x_2^2 - 0,168 \cdot x_1 \cdot x_2$ | $Y = 105,320 + 2,822 \cdot x_1 - 11,993 \cdot x_2 - 0,029 \cdot x_1^2 + 0,677 \cdot x_2^2 - 0,043 \cdot x_1 \cdot x_2$ |
| При температуре окружающей среды, $T_{окр} = -15^{\circ}\text{C}$ | |
| $Y = 84,791 + 2,648 \cdot x_1 - 1,456 \cdot x_2 + 0,030 \cdot x_1^2 + 0,206 \cdot x_2^2 - 0,370 \cdot x_1 \cdot x_2$ | $Y = 91,917 + 5,544 \cdot x_1 - 20,738 \cdot x_2 - 0,082 \cdot x_1^2 + 1,642 \cdot x_2^2 - 0,094 \cdot x_1 \cdot x_2$ |
| При температуре окружающей среды, $T_{окр} = -25^{\circ}\text{C}$ | |
| $Y = -11,830 + 12,756 \cdot x_1 + 7,422 \cdot x_2 - 0,227 \cdot x_1^2 - 0,807 \cdot x_2^2 - 0,225 \cdot x_1 \cdot x_2$ | $Y = -28,421 + 16,560 \cdot x_1 - 3,012 \cdot x_2 - 0,301 \cdot x_1^2 - 0,159 \cdot x_2^2 - 0,449 \cdot x_1 \cdot x_2$ |

По полученным уравнениям регрессии построены графики зависимостей усилия сдвига для каждого температурного диапазона (рис. 3-5).

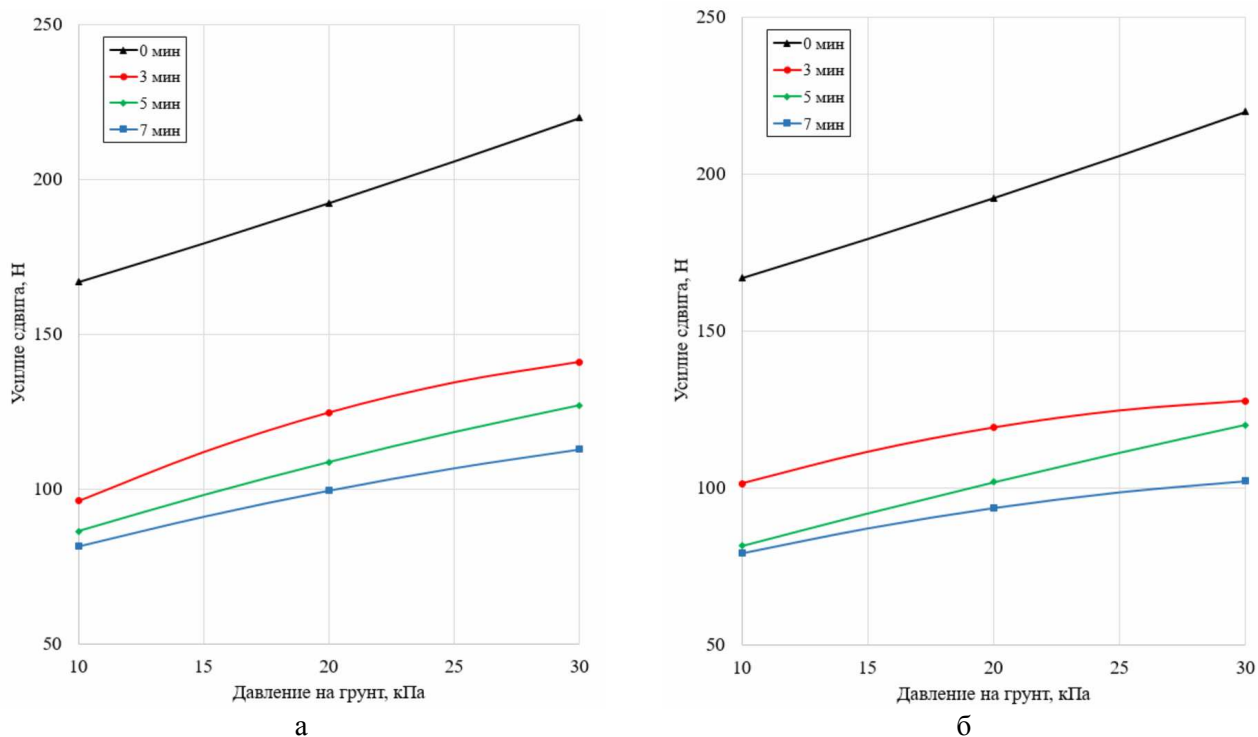


Рис. 3. Зависимость усилия сдвига от давления прижатия, при внешней температуре -5°C : а – 24 В; б – 220 В

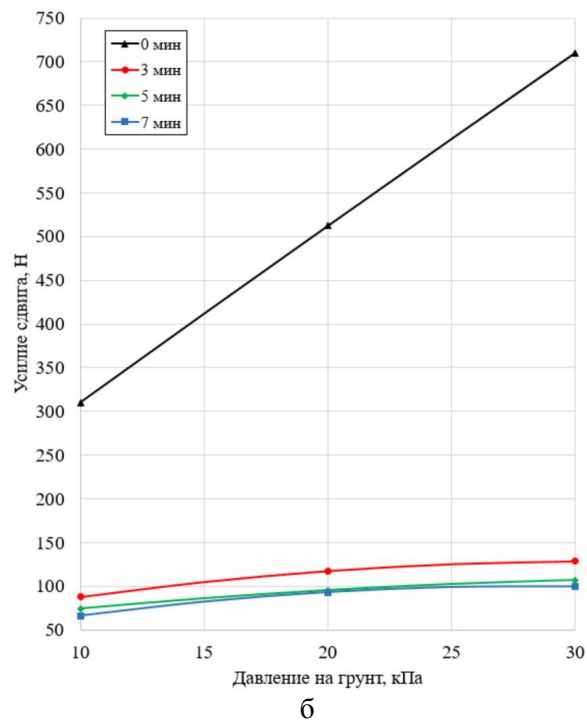
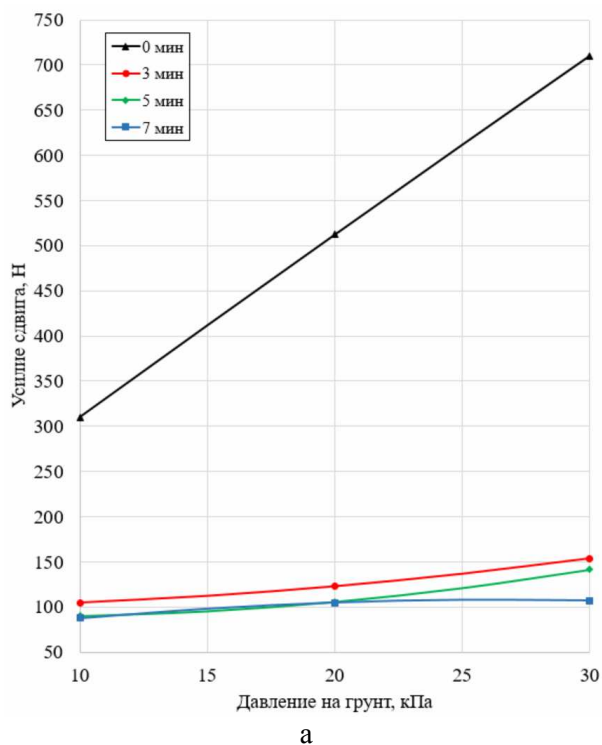


Рис. 4. Зависимость усилия сдвига от давления прижатия, при внешней температуре -15°C :
а – 24 В; б – 220 В

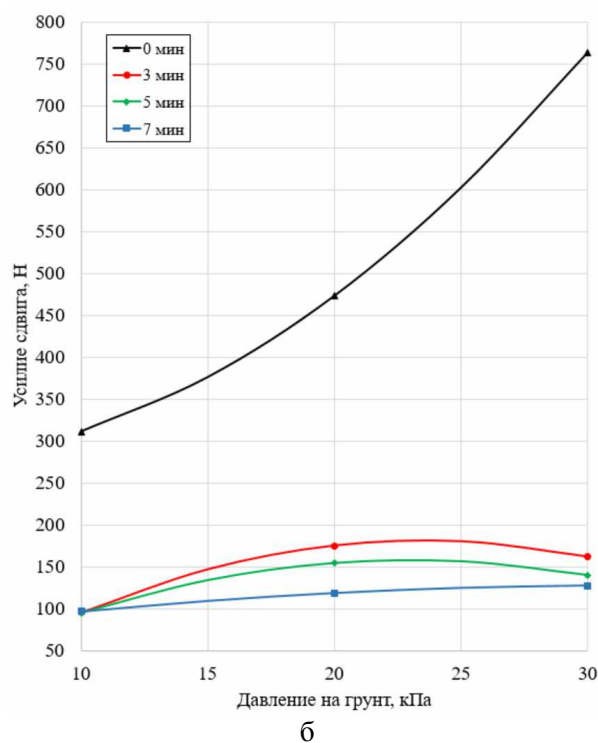
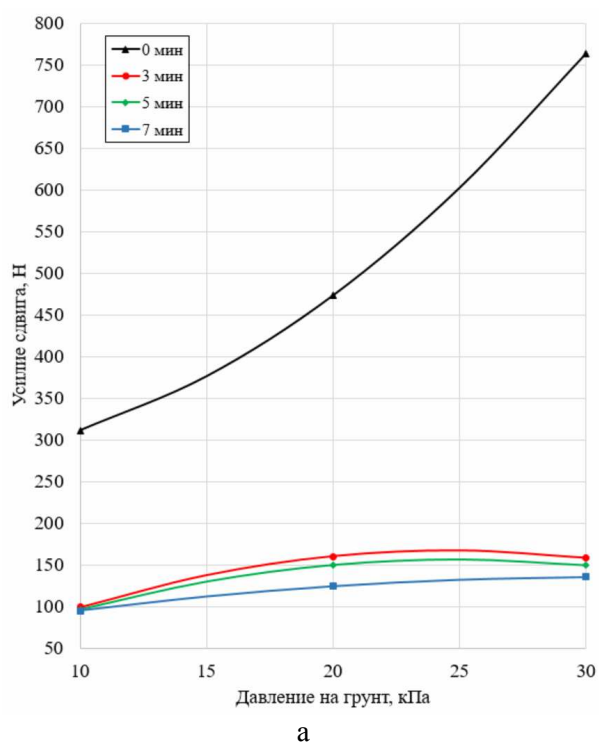


Рис. 5. Зависимость усилия сдвига от давления прижатия, при внешней температуре -25°C :
а – 24 В; б – 220 В

Выводы. По данным, полученным экспериментальным путем, видно, что применение силиконовых гибки нагревательных элементов в качестве источника теплового излучения приводит к уменьшению адгезионных сил.

Так для пластины работающей от источника питания 24 В при температуре окружающей среды -5°C усилие сдвига снижается в 1,54...2,70 раза; при температуре окружающей среды -15°C усилие сдвига снижается в 2,96...6,64 раза; а при температуре

окружающей среды -25°C усилие сдвига снижается в 3,13...5,62 раза. Для пластины работающей от источника питания 220 В при температуре окружающей среды -5°C усилие сдвига снижается в 1,65...2,15 раза; при температуре окружающей среды -15°C усилие сдвига снижается в 3,55...7,0 раза; а при температуре окружающей среды -25°C усилие сдвига снижается в 2,71...6,03 раза.

Список литературы

1. Заднепровский Р.П. Рабочие органы землеройных и мелиоративных машин и оборудования для разработки грунтов и материалов повышенной влажности. – М.: Машиностроение, 1992. – 176 с.
2. Buturovich I., Kim Han Duc. Calculation curved concentrators // Trudy LPI. 1969, vol. 309, 169 p.
3. Зеньков С.А., Игнат'ев К.А., Филонов А.С. Эффективность гибких нагревательных элементов для борьбы с адгезией грунтов к землеройным машинам // Труды Братского гос. ун-та. Сер.: Естественные и инженерные науки. – 2013. – Т. 1. – С. 134-137.
4. Tong J. Study on reducing adhesion and resistance of soil to soil engaging components of machinery for land locomotion by bionics: PhD Dissertation. – Jilin University of Technology, Changchun, China (in Chinese), 1993.
5. Зеньков С.А., Игнат'ев К.А., Филонов А.С., Баншиков М.С. Исследование влияния теплового воздействия на адгезию грунтов к рабочим органам землеройных машин // Механика XXI века. – 2013. – №12. – С. 228-232.
6. Sharma V.K., Drew L.O., Nelson L. High Frequency Vibrational Effects on Soil-Metal Friction // Transactions of the ASAE. 1977, no. 20(1), pp. 0046-0051. doi: 10.13031/2013.35490.
7. А.с. №1310696 СССР. Сдвиговой стенд / В.И. Баловнев, Ю.П. Бакагин, С.А. Зеньков, С.В. Журавчук. – Заявка №3992052 от 12.12.1985; опубл. 15.05.1987, Бюл. №18.
8. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties // Journal of Terramechanics. 1999, vol. 36, pp. 39-49.
9. Зеньков С.А., Кожевников А.С., Баев А.О., Дрюпин П.Ю. Определение мест установки электронагревательных гибких ленточных элементов для борьбы с намерзанием грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Труды Братского гос. ун-та. Сер.: Естественные и инженерные науки. – 2014. – Т. 1. – С. 195-202.
10. Заднепровский Р.П. Теория трения скольжения. – Волгоград: Ofset, 2005. – 51 с.
11. Гибкие поясные и плоские силиконовые нагреватели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tvoynagrev.ru/catalog/gibkie-nagrevateli/gibkie-silikonovye-nagrevateli/>.
12. Патент №2460989 РФ. Стенд сдвиговой / С.А. Зеньков, Д.Ю. Кобзов, Е.В. Курмашев. – Заявка №2010139838/28 от 28.09.2010; опубл. 10.09.2012, Бюл. №25.
13. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных: пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с.
14. 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. – China Machine Press, Beijing, China, 1996. – P. 539-545.
15. 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.

Reference

1. Zadneprovskij R.P. The working bodies of earth-moving and reclamation machines and equipment for the development of soils and materials of high humidity. – М.: Mechanical Engineering, 1992. – 176 p.
2. Buturovich I., Kim Han Duc. Calculation curved concentrators // Trudy LPI. 1969, vol. 309, 169 p.
3. Zen'kov S.A., Ignat'ev K.A., Filonov A.S. The effectiveness of flexible heating elements to combat soil adhesion to earthmoving machines // Proceeding Bratsk state un-ty. Ser.: Natural and engineering sciences. 2013, vol. 1, pp. 134-137.
4. Tong J. Study on reducing adhesion and resistance of soil to soil engaging components of machinery for land locomotion by bionics: PhD Dissertation. – Jilin University of Technology, Changchun, China (in Chinese), 1993.
5. Zen'kov S.A., Ignat'ev K.A., Filonov A.S., Banshchikov M.S. Investigation of the effect of thermal effects on soil adhesion to the working bodies of earth-moving machinery // Mechanics XXI age. 2013, no. 12, pp. 228-232.
6. Sharma V.K., Drew L.O., Nelson L. High Frequency Vibrational Effects on Soil-Metal Friction // Transactions of the ASAE. 1977, no. 20(1), pp. 0046-0051. doi: 10.13031/2013.35490.
7. A.c. No. 1310696 USSR. Shear stand / V.I. Balovnev, Yu.P. Bakatin, S.A. Zenkov, S.V. Zhuravchuk. – Appl. No. 3992052 from 12/12/1985; publ. May 15, 1987, Bull. No. 18.
8. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties // Journal of Terramechanics. 1999, vol. 36, pp. 39-49.
9. Zen'kov S.A., Kozhevnikov A.S., Baev A.O., Dryupin P.Yu. Determination of installation places for electric heating flexible tape elements to combat soil freezing to metal surfaces of working bodies of earthmoving machines // Proceeding Bratsk state un-ty. Ser.: Natural and engineering sciences. 2014, vol. 1, pp. 195-202.

10. Zadneprovskij R.P. Theory of sliding friction. – Volgograd: Ofset, 2005. – 51 p.
11. Flexible belt and flat silicone heaters [Electronic resource]. – Access Mode: <https://tvoy-nagrev.ru/catalog/gibkie-nagrevateli/gibkie-silikonovye-nagrevateli/>;
12. Patent No. 2460989 RU. Shear stand / S.A. Zenkov, D.Yu. Kobzov, E.V. Kurmashev. – Appl. No. 2010139838/28 from 09.28.2010; publ. 09.10.2012, Bull. No. 25.
13. Design and analysis of experiments / Douglas C. Montgomery (New York ect.), 1980 – 384 p.
14. 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. – China Machine Press, Beijing, China, 1996. – P. 539-545.
15. 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.

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 – postgraduate student |
| Высоцкий Егор Станиславович – студент | Vysotsky Egor Stanislavovich – student |
| Ревин Дмитрий Васильевич – студент | Revin Dmitry Vasilievich – student |
| mf@brstu.ru | |

Получена 10.08.2023