

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЧНОСТЬ НАМЕРЗАНИЯ ГРУНТА НА РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН

Зеньков С.А., Дрюпин П.Ю., Ревин Д.В.

Братский государственный университет, Братск

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

Аннотация. Намерзание влажной связной грунтовой породы на рабочие органы землеройных машин затрудняет выполнение землеройных работ в условиях отрицательной температуры окружающей среды. Как показывает практика, наиболее эффективным методом борьбы с намерзанием грунта является метод теплового воздействия. В данной работе рассмотрен силиконовый пластинчатый нагревательный элемент, который выступает в качестве источника тепла, при борьбе с намерзанием грунтовой породы к поверхностям рабочих органов землеройных машин. Этот нагревательный элемент от источника питания напряжением 220В обладает рядом качеств, которые способствуют его применению на рабочих органах: плотное и полное прилегание по всей площади контакта и равномерный нагрев; малый вес и толщина. В ходе проведения исследований, на специальном экспериментальном сдвиговом стенде было определено усилие сдвига грунта без теплового воздействия, и определены усилия при использовании нагревательного элемента. На основе полученных данных разработана математическая модель, которая описывает влияние различных (варьируемых) факторов на прочность примерзания грунтовой породы к поверхности рабочих органов. Определена эффективность применения нагревателя: сдвиговое усилие уменьшилось в 1,65...7,0 раза.

THE INFLUENCE OF THERMAL IMPACT ON THE STRENGTH OF SOIL FREEZING ON THE WORKING BODIES OF EARTH-MOVING MACHINES

Zenkov S.A., Dryupin P. Yu., Revin D.V.

Bratsk State University, Bratsk

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

Abstract. Freezing of wet cohesive soil rock on the working bodies of earth-moving machines, which makes it difficult to carry out excavation work in conditions of negative ambient temperature. As practice shows, the most effective method of dealing with soil freezing is the method of thermal exposure. In this paper, a silicone plate heating element is considered, which acts as a heat source in the fight against freezing of soil rock to the surfaces of the working bodies of earth-moving machines. This heating element from a 220V power supply has a number of qualities that contribute to its use on working bodies: tight and complete fit over the entire contact area and uniform heating; light weight and thickness. In the course of the research, on a special experimental shear stand, the soil shear force was determined without thermal exposure, and the forces when using a heating element were determined. Based on the data obtained, a mathematical model has been developed that describes the influence of various (variable) factors on the strength of soil rock freezing to the surface of working bodies. The efficiency of the heater application was determined: the shear force decreased by 1.65...7.0 times.

Введение. Одна из основных причин снижения производительности землеройных машин при их эксплуатации в северных условиях, является налипание, а в дальнейшем примерзание грунта к поверхностям рабочих органов машин. Производительность снижается, помимо того, что уменьшается полезный объем ковша, так и возникает необходимость прерывать рабочий цикл машины для очистки ковша [1-11]. Очистка ковша затруднена тем, что возникшие адгезионные силы (силы, которые препятствуют разъединению двух разнородных фаз) в зоне контакта влажного грунта и рабочим органом, при отрицательной температуре, достигают максимальных значений [12-19].

Из множества способов очистки ковша, при намерзании грунта целесообразней и выгодней применять способ теплового воздействия на область контакта. Под воздействием теплового излучения адгезионные силы снижаются. Это обусловлено тем, что цементационные связи льда снижаются или исчезают полностью.

Цель исследования – определить температурные характеристики предложенного нагревательного элемента и определить его эффективность применения при борьбе с намерзанием грунта.

Материалы и методы исследования.

В данной работе источник тепла – силиконовый пластинчатый гибкий нагревательный элемент (рис. 1). Этот нагревательный элемент состоит из греющей высокорезистивной проволоки, которая изолирована кремнийорганическими соединениями. В качестве основных преимуществ данных пластин можно отметить: большую степень гибкости и малая толщина. Эти технические особенности позволяют их применять в труднодоступных местах и на оборудовании, обладающем сложной формой.



Рис. 1. Силиконовый гибкий нагревательный элемент

Основные технические характеристики [2]: – напряжение питания, В – 220; мощность, удельная, Вт/см² – 0,8; рабочая температура, °С – 250; сопротивление изоляции, Вт/см² – 4; натяжение проволоки, Н – 15x15; отклонения мощности, % – не более 5.

Опытным путем установлена зависимость температуры нагрева элемента от продолжительности нагрева. Данная зависимость выявлялась при температуре окружающей среды +20°С. Температурно-временная характеристика силиконового нагревательного элемента, приведена на рисунке 2.

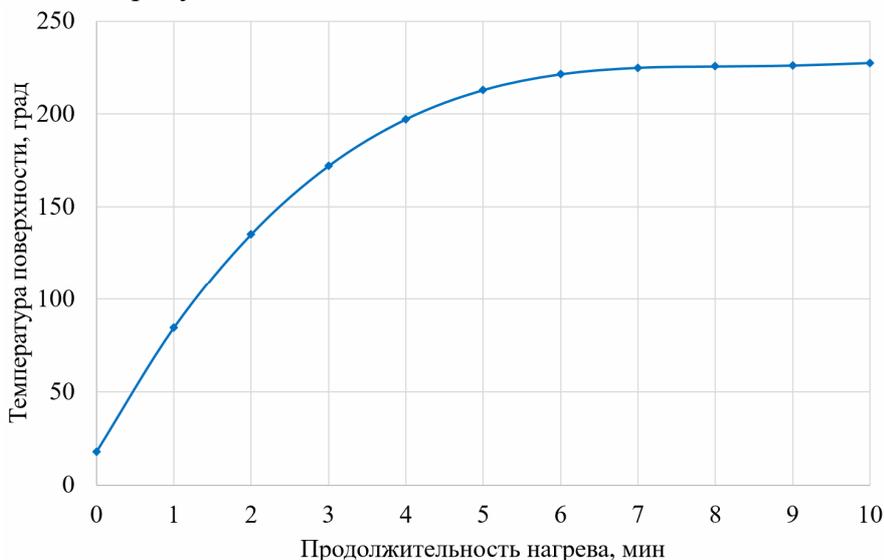


Рис. 2. Зависимость температуры поверхности нагревателя от продолжительности нагрева

На лабораторной установке – сдвиговом стенде (рис. 3, а) проведено экспериментальное исследование по определению эффективности применения данной нагревательной пластины при борьбе с намерзанием грунтовой породы к рабочим органам землеройных машин. Данный стенд состоит из рамы 1 (рис. 3, б), на которой, в направляющих 6, установлена подвижная каретка 2, с имитатором ковша. Каретка через тензометрический датчик 5 связана с приводным механизмом 10. Также на раме установлена обойма 3, в которую помещается грунт. Обойма имеет возможность вертикально перемещаться в жестко закрепленной на раме втулке 8. Для того чтобы была возможность поместить грунт на стенд для замера, обойма имеет небольшой ход в вертикальном направлении, перемещение происходит во втулке, которая жестко закреплена на раме. Обойма и нагрузочный рычаг, на одном конце которого подвешивается груз, соединены шарнирно [3, 10].

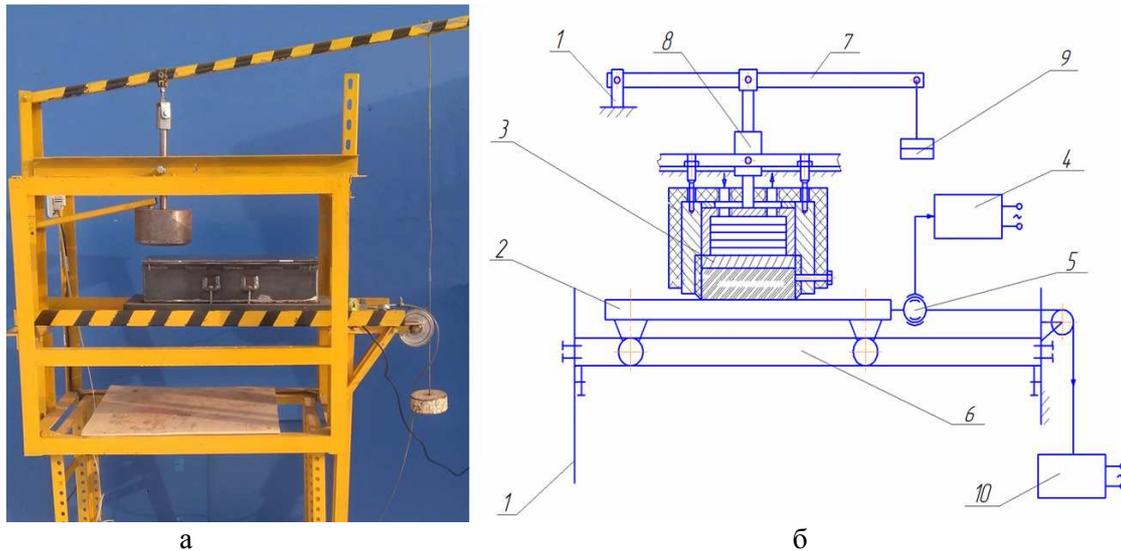


Рис. 3. Сдвиговой стенд: а – лабораторная установка; б – принципиальная схема: 1 – рама; 2 – каретка; 3 – обойма; 4 – тензометрическая аппаратура; 5 – тензометрический датчик; 6 – направляющая; 7 – нагрузочный рычаг; 8 – втулка; 9 – груз; 10 – приводной механизм

Сдвиговой стенд позволяет определить сдвиговое усилие, которое возникает при взаимодействии грунта с имитатором ковша. В исследовании использовался грунт со следующими свойствами: грунт – глина; дисперсность грунта, $D=7 \cdot 10^{-3}$ мм; весовая влажность, $W=12,5\%$. Время контакта имитатора ковша и грунта составляло $t_k=10$ мин.

Для проведения исследования принят план трехфакторной модели 3^3 . При такой модели три рассматриваемых фактора варьируются на трех уровнях. К варьируемым факторам относятся: внешняя температура (x_1), °С; давление прижатия (x_2), кПа; время нагрева имитатора ковша (x_3), мин. Уровни варьирования, а также интервал варьирования получены на основе анализа априорной информации и представлены в таблице 1.

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 прижатия, кПа	30	20	10	10
x_3 – продолжительность нагрева имитатора ковша, мин	7	5	3	2

Для того, чтобы определить эффективность нагревательного элемента необходимо определить сдвиговое усилие, которое возникает между грунтовой породой и имитатором ковша, когда на зону контакта не действует тепловое излучение, при различной внешней температуре и различном давлении прижатия. Среднее значения сдвигового усилия приведены в таблице 2.

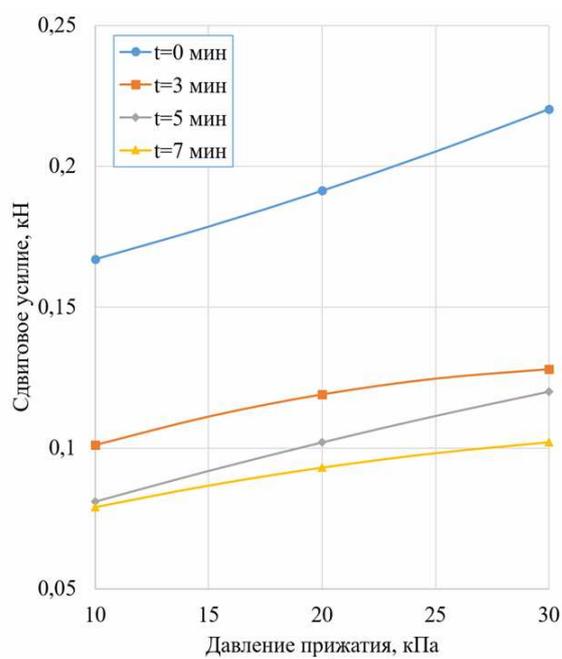
В результате проведения экспериментального исследования, по получению значений сдвигового усилия грунтовой породы и имитатора ковша при воздействии тепла на зону контакта были определены сдвиговые усилия и после их обработки получено уравнение регрессии для данной нагревательной пластины:

$$Y_{220B} = 7,440 + 0,513x_1 + 0,775x_2 - 0,774x_3 + 0,02x_1^2 - 0,014x_2^2 + 0,06x_3^2 - 0,005x_1x_2 + 0,0075x_1x_3 - 0,019x_2x_3.$$

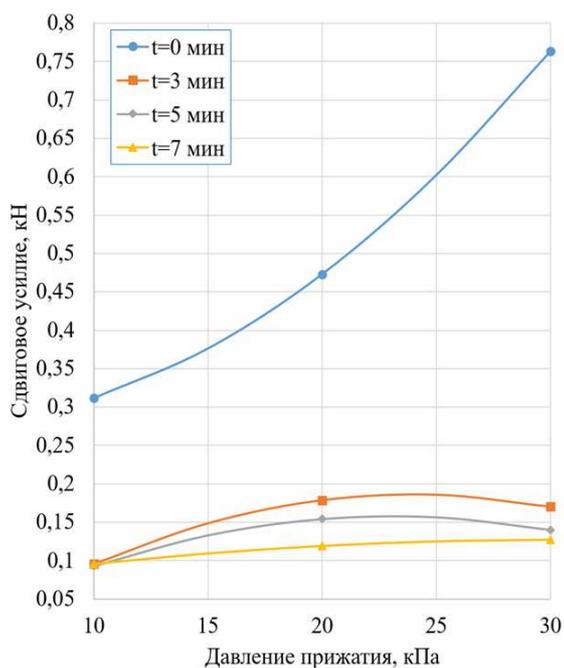
Для рассмотренного нагревательного элемента построены графики зависимостей сдвигового усилия от давления прижатия, при различной внешней температуре (рис. 4). Данные графики наглядно отражают эффективность применения нагревательной пластины при различном времени нагрева.

Табл. 2. Сдвиговое усилие, без воздействия тепла на зону контакта

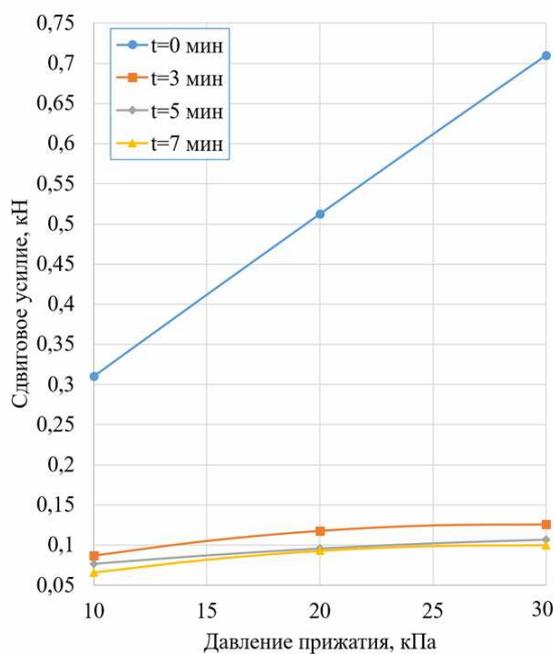
Внешняя температура, °С	Давление прижатия, кПа	Сдвиговое усилие, кН
-5	10	0,167
	20	0,191
	30	0,220
-15	10	0,310
	20	0,512
	30	0,710
-25	10	0,311
	20	0,473
	30	0,763



а)



б)



в)

Рис. 4. Зависимость сдвигового усилия от давления прижатия: а – при внешней температуре -5°C ; б – при внешней температуре -15°C ; в – при внешней температуре -25°C

Как видно из графиков, зависимость сдвиговое усилие от давления прижатия без нагрева имитатора ковша носит прямопропорциональный характер – чем больше давление прижатия, тем выше сдвиговое усилие.

Выводы. По полученным данным, которые были получены при проведении экспериментального исследования и по построенным графикам видно, что применение данной силиконовой нагревательной пластины приводит к уменьшению сдвигового усилия.

Так 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. Гибкие поясные и плоские силиконовые нагреватели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tvoynagrev.ru/catalog/gibkie-nagrevateli/gibkie-silikonovye-nagrevateli/>
2. 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.
3. Заднепровский Р.П. Рабочие органы землеройных и мелиоративных машин и оборудования для разработки грунтов и материалов повышенной влажности. – М.: Машиностроение, 1992. – 176 с.
4. Vuturovich I., Kim Han Duc. Calculation curved concentrators // Trudy LPI. 1969, vol. 309, 169 p.
5. Зеньков С.А., Игнатъев 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.
6. Tong J. Study on reducing adhesion and resistance of soil to soil engaging components of machinery for land locomotion by bionics: Ph. D. Dissertation, Jilin University of Technology, Changchun, China (in Chinese), 1993.
7. Зеньков С.А., Игнатъев К.А., Филонов А.С., Банщиков М.С. Исследование влияния теплового воздействия на адгезию грунтов к рабочим органам землеройных машин // Механики XXI века. – 2013. – №12. – С. 228-232.
8. Зеньков С.А., Курмашев Е.В., Елохин А.В., Дэлэг Д. Перспективы применения гибких нагревательных ленточных элементов для снижения адгезии грунта к рабочим органам ковшевого типа // Механики XXI века. – 2009. – №8. – С. 164-167.
9. Патент №1310696 СССР. Сдвиговой стенд / В.И. Баловнев, Ю.П. Бакатин, С.А. Зеньков, С.В. Журавчук. – Заявка №3992052 от 12.12.1985; опубл. 15.05.1987, Бюл. №18.
10. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties // Journal of Terramechanics. 1999, vol. 36, pp. 39-49.
11. 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.
12. Заднепровский Р.П. Теория трения скольжения. – Волгоград: Ofset, 2005. – 51 с.
13. 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.
14. Tong J., Ren L.Q., Yan J.L., Ma Y., Chen B.C. Adhesion and abrasion of several materials against soil // International Agricultural Engineering Journal. 1999, no. 8(1), pp. 1-22.
15. Wang X.L., Ito N., Kito K., Garcia P.P. Study on use of vibration to reduce soil adhesion // Journal of terramechanics. 1998, no. 35(2), pp. 87-101.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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. Ulaanbaatar, Mongolia, MUST. 2013, no. 3/139, pp. 144-146.

References

1. Flexible belt and flat silicone heaters [Electronic resource]. – Access Mode: <https://tvoynagrev.ru/catalog/gibkie-nagrevateli/gibkie-silikonovye-nagrevateli/>
2. Patent No. 2460989 RF. 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.

3. Zadneprovskij R.P. The 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.
4. Buturovich I., Kim Han Duc. Calculation curved concentrators // Trudy LPI. 1969, vol. 309, 169 p.
5. 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.
6. Tong J. Study on reducing adhesion and resistance of soil to soil engaging components of machinery for land locomotion by bionics: Ph. D. Dissertation, Jilin University of Technology, Changchun, China (in Chinese), 1993.
7. 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.
8. Zen'kov S.A., Kurmashev E.V., Elohin A.V., Deleg D. Prospects for the use of flexible heating tape elements to reduce soil adhesion to bucket-type working bodies // Mechanics XXI age. 2009, no. 8, pp. 164-167.
9. Patent 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.
10. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties // Journal of Terramechanics. 1999, vol. 36, pp. 39-49.
11. 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.
12. Zadneprovskij R.P. Theory of sliding friction. – Volgograd: Ofset, 2005. – 51 p.
13. 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.
14. Tong J., Ren L.Q., Yan J.L., Ma Y., Chen B.C. Adhesion and abrasion of several materials against soil // International Agricultural Engineering Journal. 1999, no. 8(1), pp. 1-22.
15. Wang X.L., Ito N., Kito K., Garcia P.P. Study on use of vibration to reduce soil adhesion // Journal of terramechanics. 1998, no. 35(2), pp. 87-101.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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. Ulaanbaatar, Mongolia, MUST. 2013, no. 3/139, pp. 144-146.

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
Ревин Дмитрий Васильевич – студент	Revin Dmitry Vasilievich – student
mf@brstu.ru	

Получена 29.11.2022