DOI: 10.17117/na.2016.06.02.078

<http://ucom.ru/doc/na.2016.06.02.078.pdf>

Поступила (Received): 24.06.2016

Киргизов Р.С., Бакшеев Ю.К.
Планирование эксперимента по определению
влияния высокочастотного воздействия на адгезию
грунтов к рабочим органам машин

Kirgizov R.S., Baksheev Yu.K.
Planning for an experiment to determine the
effect of high-frequency effects on the adhesion
of soil to the working bodies of cars

В данной статье рассмотрены методы снижения примерзания грунтов к рабочим органам машин. Приведен план проведения эксперимента по определению влияния высокочастотного воздействия на процесс примерзания грунта с применением математической теории планирования эксперимента. Определены факторы и предложены интервалы варьирования этих факторов при проведении эксперимента

Ключевые слова: адгезия грунта, планирование эксперимента, высокочастотное воздействие, сопротивление сдвигу грунта

This article describes methods to reduce soil freezing to the working bodies of machines. An outline of the experiment to determine the effect of high-frequency effects on soil freezing process with the use of mathematical experiment planning theory. The factors and suggested ranges of variation of these factors during the experiment

Key words: adhesion of soil, design of experiments, the high impact resistance of the ground shift

Киргизов Роман Сергеевич

Магистрант

Братский государственный университет
 г. Братск, ул. Макаренко, 40

Kirgizov Roman Sergeevich

Master

Bratsk state university
 Bratsk, Makarenko st., 40

Бакшеев Юрий Константинович

Студент

Братский государственный университет
 г. Братск, ул. Макаренко, 40

Baksheev Yuriy Konstantinovich

Student

Bratsk state university
 Bratsk, Makarenko st., 40

При разработке влажных грунтов землеройными машинами, особенно при отрицательной температуре, примерзание грунтов к рабочим органам существенно снижает производительность машин [1-3].

Анализ патентной и научно-технической информации показал [4], что все известные методы снижения адгезии грунтов можно разделить на четыре группы. К первой относится создание на границе контакта промежуточного слоя [5-9], который может служить экраном для молекулярного взаимодей-

ствия фаз и должен обладать малым когезионным или адгезионным взаимодействием. Такой слой может быть твердым, жидким и газообразным. Ко второй группе относятся методы, способствующие ослаблению адгезионных связей вследствие внешнего воздействия и приводящие к изменению свойств поверхностных слоев фаз [10-16]. К третьей группе относятся конструктивно-технологические и механические способы. И к последней группе относятся комбинированные способы борьбы с намерзанием грунта на поверхность рабочего органа [17-30].

Теоретические и экспериментальные исследования [31], показали возможность использования в экспериментах натурального грунта без изменения его физико-механических характеристик. При этом акустические и теплофизические характеристики грунта также остаются неизменными, соответствующими натурным.

Для поставленных задач экспериментальных исследований были использованы методы многофакторного планирования, что позволяет получить максимально полезную информацию об исследуемых процессах при минимальном количестве опытов. Это особенно важно, когда моделирование отдельных процессов (например, температурного режима) представляет определенные трудности.

В настоящем исследовании выбраны пять типов грунтов, характеризующихся различной дисперсностью, выраженной через эффективный диаметр частиц грунта, на основании его гранулометрического состава: глина, суглинок, супесь и две искусственные смеси из различных грунтов.

В экспериментах в основном будет использован суглинок как наиболее преобладающий на территории России [31]. По трудности разработки выбран грунт II категории трудности как грунт, на который должны рассчитываться оптимальные технические параметры универсальных землеройных машин, т.к. вероятность их разработки $P_i=0,63$ [31].

Подготовка к эксперименту грунта включает:

- доведение весовой влажности грунта до требуемой по условиям эксперимента согласно матрице планирования;
- уплотнение грунта в приборе Союздорнии для стандартного уплотнения по ГОСТ 22733-2002 до $C_{уд} = 3...6$ ударов ударника ДорНИИ.

Для эксперимента предполагается использовать пьезокерамический трансдюсер ПП-251 (мощность одного преобразователя – 60 Вт, резонансная частота – 28,150-29,700 кГц, удельная акустическая мощность – 14Вт/см²).

К числу контролируемых параметров грунта относятся: гранулометрический состав (дисперсность), влажность, температура.

Контролируемые параметры процесса сдвига: нормальная нагрузка на образец, температура в плоскости сдвига, скорость сдвига.

Проведение экспериментальных исследований с уменьшением размеров объекта исследований приводит к уменьшению трудоемкости экспериментов, снижению материальных затрат и сокращению сроков исследования. В первом приближении эти расходы можно считать пропорциональными кубу линейного размера или объему исследуемого объекта.

Анализ априорной информации предполагает описание процесса полным квадратным уравнением [32]:

$$y = b_0 x_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_i x_i^2 \quad (1)$$

где: y – расчетное значение функции отклика; $b_0 x_0$ – свободный член; b_i – линейные коэффициенты; b_{ij} – коэффициенты парного взаимодействия факторов; $x_i x_j$ – эффект парного взаимодействия.

Для проведения активного эксперимента с целью получения математической модели вида (1), в соответствии с рекомендациями [30] и особенностями данных экспериментальных исследований выбираем ротатабельный центральный композиционный план (РЦКП) для пятифакторной модели с линейным ядром плана на полуреплике 2^{5-1} и общим числом точек $N = 32$ (выбор плана РЦКП вместо плана Хартли, являющегося также оптимальным для $n = 5$ обусловлен тем, что для планов РЦКП параллельные опыты проводить не требуется, план имеет "звездные точки" с плечом $\alpha = \pm 2$).

Кодирование уравнений факторов производится с помощью следующих соотношений [33]:

$$\bar{x}_{ib} = \frac{X_{ib} - X_{i0}}{\Delta X_i} = +1; \quad \bar{x}_{in} = \frac{X_{in} - X_{i0}}{\Delta X_i} = -1;$$

где: $\bar{x}_{ib}, \bar{x}_{in}$ – значения i -го фактора в кодированном виде; X_{in}, X_{i0}, X_{ib} – соответственно нижний, средний и верхний уровни фактора в натуральном значении; ΔX_i – интервал варьирования фактора, равный:

$$\Delta X_i = \frac{(X_{ib} - X_{in})}{2}.$$

Для перехода от кодированного вида к натуральным значениям необходимо воспользоваться следующим соотношением [33]:

$$X_i = x_i \cdot \Delta X_i + X_{i0},$$

где: X_i – натуральное значение фактора.

Таблица 1. Уровни факторов и интервалы варьирования при высокочастотном воздействии

Факторы	Уровни факторов					Интервалы варьирования
	-2	-1	0	1	2	
X_1 – дисперсность грунта, D_3 , 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

Уровни и интервалы варьирования факторов определены на основе анализа априорной информации и представлены в табл. 1.

Для исключения влияния систематических ошибок, опыты проводились в случайном порядке, т.е. экспериментальные исследования были рандомизированы.

Статистическая оценка значимости коэффициентов математической модели проводилась с помощью t – критерия.

Для проведения эксперимента разработан и изготовлен специальный сдвиговой стенд, позволяющий проводить эксперименты на моделях рабочих органов землеройных машин.

Список используемых источников:

1. Зеньков С.А., Батуро А.А., Булаев К.В. Теоретические предпосылки повышения производительности экскаваторов при устранении адгезии грунта к ковшу // *Механики XXI века*. 2006. № 5. С. 79-81.
2. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Игнатъев К.А. Анализ возможного повышения производительности экскаваторов при устранении адгезии грунта к ковшу // *Вестник МГСУ*. 2014. № 2. С. 98-104.
3. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties. // *Journal of Terramechanics* 36 (1999) P. 39-49.
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., Булаев К.В., Батуро А.А. Планирование эксперимента для определения влияния жидкостного слоя на сопротивление сдвигу грунта по металлической поверхности при отрицательной температуре // *Механики XXI века*. 2006. № 5. С. 84-87.
6. Зеньков С.А., Козик А.С., Буйлов О.А. Применение полимерных противоналипающих листов для снижения адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин // *Механики XXI века*. 2010. № 9. С. 112-114.
7. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Игнатъев К.А., Кожевников А.С. Неметаллические покрытия как профилактическое средство снижения адгезии на отвальных рабочих органах землеройных машин // *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. 2013. Т. 2. С. 30-35.
8. Зеньков С.А., Плеханов Г.Н., Балахонов Н.А., Чубыкин А.С. Оборудование для определения влияния жидкостного промежуточного слоя на адгезию грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // *Вестник Таджикского технического университета*. 2014. Т. 2. № 26. С. 28-32.
9. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Чубыкин А.С., Кожевников А.С. Анализ применения жидкостного промежуточного слоя для снижения адгезии грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. 2014. Т. 1. С. 189-195.
10. 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 государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. 2014. Т. 1. С. 195-202.
11. Зеньков С.А., Игнатъев К.А., Филонов А.С., Балахонов Н.А. Определение рациональных параметров оборудования теплового действия к рабочим органам землеройных машин для разработки связных грунтов // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2013. Т. 2. № 2с (71). С. 124-129.
12. Зеньков С.А., Жидовкин В.В., Ничаев А.Н., Курмашев Е.В. Применение оборудования теплового воздействия для снижения адгезии грунтов // *Механики XXI века*. 2010. № 9. С. 129-132.
13. Зеньков С.А., Игнатъев 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.
14. 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.

15. 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 // *Механики XXI века*. 2014. № 13. С. 156-160.
16. Зеньков С.А., Диппель Р.А., Булаев К.В., Батура А.А. Планирование эксперимента по исследованию влияния параметров теплового воздействия на сопротивление сдвигу грунта // *Механики XXI века*. 2005. № 4. С. 52-56.
17. Зенков С.А., Ереско С.П. Моделирование процесса копания грунта вибрирующим ковшовым рабочим органом при отрицательной температуре // *Горное оборудование и электромеханика*. 2008. № 12. С. 44-49.
18. Зеньков С.А. Методика расчета оборудования с акустическим воздействием для снижения адгезии грунтов к ковшам экскаваторов // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2006. Т. 26. № 2-1. С. 67-72.
19. Зеньков С.А., Курмашев Е.В. Определение параметров вибрационного оборудования к ковшам экскаваторов для снижения адгезии грунтов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2009. № 89-2. С. 90-94.
20. Зеньков С.А., Игнатъев К.А., Филонов А.С. Применение пьезокерамических трансдюсеров для снижения адгезии при разработке связных грунтов // *Вестник Таджикского технического университета*. 2013. № 4 (24). С. 17-22.
21. Зеньков С.А., Игнатъев К.А. Влияние ультразвукового воздействия на адгезию грунтов к рабочим органам землеройных машин // *Системы. Методы. Технологии*. 2012. № 2. С. 43-45.
22. Зеньков С.А., Игнатъев К.А., Филонов А.С., Балахонов Н.А. Устранение налипания грунта на рабочие органы землеройных машин с использованием пьезокерамических излучателей // *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе*. 2013. Т. 1. С. 64-72.
23. Зеньков С.А., Батура А.А. Комбинированное устройство снижения адгезии грунта к ковшу экскаватора // *Механики XXI века*. 2007. № 6. С. 76-78.
24. Зеньков С.А., Козик А.С., Буйлов О.А. Снижение адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин при помощи высокочастотного воздействия // *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. 2011. Т. 2. С. 88-92.
25. Зеньков С.А., Козик А.С., Буйлов О.А., Зеньков А.С. Устранение адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин при помощи ультразвукового воздействия // *Механики XXI века*. 2011. № 10. С. 146-148.
26. Зеньков С.А., Игнатъев К.А., Филонов А.С. Планирование эксперимента по применению пьезокерамических излучателей для борьбы с адгезией грунтов к рабочим органам землеройных машин // *Механики XXI века*. 2012. № 11. С. 399-402.
27. Зеньков С.А., Товмасын Э.С. Математическая модель для определения параметров оборудования высокочастотного действия при проектировании ковшей экскаваторов // *Современные проблемы теории машин*. 2014. № 2. С. 41-44.
28. Зеньков С.А., Курмашев Е.В., Красавин О.Ю. Анализ повышения производительности экскаваторов при использовании пьезокерамических трансдюсеров // *Системы. Методы. Технологии*. 2009. № 4. С. 38-41.
29. Зеньков С.А., Курмашев Е.В. Анализ возможного повышения производительности экскаваторов при термоакустическом воздействии для устранения адгезии грунта к ковшу // *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. 2008. № 2. С. 137-140.
30. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Игнатъев К.А. Пьезокерамические излучатели на ковшах экскаваторов для борьбы с налипанием грунтов // *Аспирант*. 2015. № 3 (8). С. 26-30.
31. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. М., Машиностроение, 1994. 432 с.
32. Баловнев В.И., Завадский Ю.В., Мануйлов В.Ю. Применение математической теории планирования эксперимента при исследовании дорожных машин. М., МАДИ, 1985. 104 с.
33. Завадский Ю.В. Планирование эксперимента в задачах автомобильного транспорта. М., МАДИ, 1978. 156 с.