



Определение коэффициентов трения скольжения и покоя сыпучих органических удобрений

Ирина Владимировна Кокунова¹, Вячеслав Анатольевич Ружьев²

¹ Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, г. Великие Луки, Россия

² Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Санкт-Петербург-Пушкин, Россия

e-mail: i.kokunova@yandex.ru

Аннотация. Получить качественные органические удобрения можно используя технологию ускоренного (активного) компостирования на основе применения технических средств для аэрации компостных буртов. Производимые таким образом удобрения характеризуются значительным содержанием питательных веществ в доступной для растений форме и обладают хорошей сыпучестью. Цель проводимых исследований – изучение коэффициентов трения скольжения и покоя сыпучих органических компостов с различным базовым составом и возможности их внесения на поля с помощью технических средств, применяемых для внесения минеральных удобрений. Для определения статического и динамического коэффициентов трения нами разработана оригинальная экспериментальная установка, оснащенная электронными системами контроля и измерения. Исследованиям подвергались образцы компостов с различным базовым составом. Установлено, что самый большой коэффициент скольжения характерен для образца, взятого из бурта, состоящего из навоза крупного рогатого скота на соломенной подстилке, наименьшим коэффициентом скольжения обладает образец сапропеленавозного компоста. Установлено, что для всех исследуемых видов органических компостов разница в значениях коэффициентов трения скольжения и покоя незначительна.

Ключевые слова: органические удобрения; активное компостирование; коэффициент трения; коэффициенты трения сыпучих материалов.

Для цитирования: Кокунова И. В., Ружьев В. А. Определение коэффициентов трения скольжения и покоя сыпучих органических удобрений // Аграрный научный журнал. 2023. № 4. С. 126–129. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i4pp126-129>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Determination of friction coefficients of sliding and rest of bulk organic fertilizers

Irina V. Kokunova¹, Vyacheslav A. Ruzhev²

¹ State Agricultural Academy of Velikie Luki, Velikie Luki, Russia

² Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg-Pushkin, Russia

e-mail: i.kokunova@yandex.ru

Abstract. It is possible to obtain high-quality organic fertilizers using the technology of accelerated (active) composting based on the use of technical means for aeration of compost piles. Fertilizers produced in this way are characterized by a significant content of nutrients in a form accessible to plants and have good flowability. The purpose of the research is to study the sliding and resting friction coefficients of bulk organic compost with different basic composition and the possibility of their application to the fields using technical means used for the application of mineral fertilizers. To determine the static and dynamic coefficients of friction, we have developed an original experimental installation equipped with electronic monitoring and measurement systems. Samples of compost with different basic composition were subjected to research. It was found that the largest sliding coefficient is characteristic of a sample taken from a burt consisting of cattle manure on a straw litter, the smallest sliding coefficient is possessed by a sample of sapropelemanure compost. It was found that for all the studied types of organic compost, the difference in the values of the sliding and resting friction coefficients is insignificant.

Keywords: organic fertilizers; active composting; friction coefficient; friction coefficients of bulk materials.

For citation: Kokunova I.V., Ruzhev V. A. Determination of friction coefficients of sliding and rest of bulk organic fertilizers // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(4):126–129. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i4pp126-129>.



Введение. Отечественное сельское хозяйство развивается в последнее десятилетие стремительными темпами, внедряются новые экологически безопасные ресурсосберегающие технологии, применяются интеллектуальные технические средства, позволяющие не только контролировать технологический процесс и поддерживать необходимые параметры работы машин и оборудования, но и способствующие снижению антропогенной нагрузки на природную среду [1, 4].

Постепенный переход ряда отечественных предприятий на органическое земледелие предполагает полный отказ от использования при производстве продукции растениеводства минеральных удобрений и ядохимикатов, а также широкое применение органических удобрений и альтернативных способов защиты растений. В этом случае производство местных органических удобрений внутри самих хозяйств является не только экономически выгодным, но и позволяет утилизировать образующиеся органические отходы [5].

Получить качественные органические удобрения можно используя технологию ускоренного (активного) компостирования на основе применения специальных технических средств для аэрации компостных буртов. Известно, что в компостных смесях обычно один из компонентов (торф, древесные опилки, солома) выступает в роли поглотителя влаги, аммиака и диоксида углерода, а другой (навоз, навозная жижа, птичий помет и др.) – обогащает компостируемую массу микрофлорой. Итогом такого процесса является получение высококачественных органических удобрений, характеризующихся наличием в них значительного количества питательных веществ в доступной для растений форме и обладающих хорошей сыпучестью. Для внесения таких удобрений на поля можно использовать технические средства, применяемые для внесения минеральных удобрений [3, 7].

Цель исследования – изучение коэффициентов трения скольжения и покоя сыпучих органических компостов с различным базовым составом.

Методика исследований. Одним из важнейших физико-механических свойств органических удобрений является коэффициент трения, от которого зависит способность материала скользить по поверхностям рабочих органов технологических машин. От величины этого коэффициента зависят регулировочные параметры сельскохозяйственной техники.

Коэффициент трения находится в пропорциональной зависимости между максимальным значением силы трения и силы нормального давления, то есть:

$$F_{\max} = fN, \quad (1)$$

где $F_{\max}$ – максимальное значение силы трения, Н; f – коэффициент трения; N – сила нормального давления, Н.

Силы $F_{\max}$ и N можно определить экспериментально и зная их, можно вычислить коэффициент трения:

$$f = \frac{F_{\max}}{N}. \quad (2)$$

Коэффициент трения покоя органической массы (статический коэффициент трения) можно определить исходя из условия, что материал переходит из состояния покоя в состояние движения, если движущая сила достигает максимального значения силы трения $F_{\max}$.

Для более точного определения статического и динамического коэффициентов трения нами была разработана экспериментальная установка (рис. 1), оснащенная электронными системами контроля и измерения. Исследования проводили следующим образом. На рабочую металлическую поверхность наклонной плоскости 4 устанавливали пластиковое кольцо, заполненное исследуемым органическим материалом. В данном случае кольцо играет роль ограничителя, предотвращающего рассыпание органической массы. Из-за своей минимальной толщины и веса кольцо не оказывает значимого сопротивления сдвигу исследуемого образца. Предпочтительно, что бы ограничительное кольцо было темного цвета, для его лучшей фиксации инфракрасными датчиками.

С помощью винтовой пары 6 производили постепенный подъем рабочей плоскости 4. В начальный момент соскальзывания исследуемого образца прекращали дальнейший подъем плоскости. Момент отрыва образца фиксировался верхним 5 оптическим инфракрасным датчиком ИК LM 393, который запускал таймер 8 в микроконтроллере ArduinoNanoATmega 328P. После прохождения образца через зону контроля нижнего 3 инфракрасного датчика LM 393, установленного в конце рабочей поверхности, происходила автоматическая остановка таймера. На мониторе контролера 8 отображалось время прохождения исследуемого образца по рабочей поверхности и угол наклона самой плоскости. Контр-

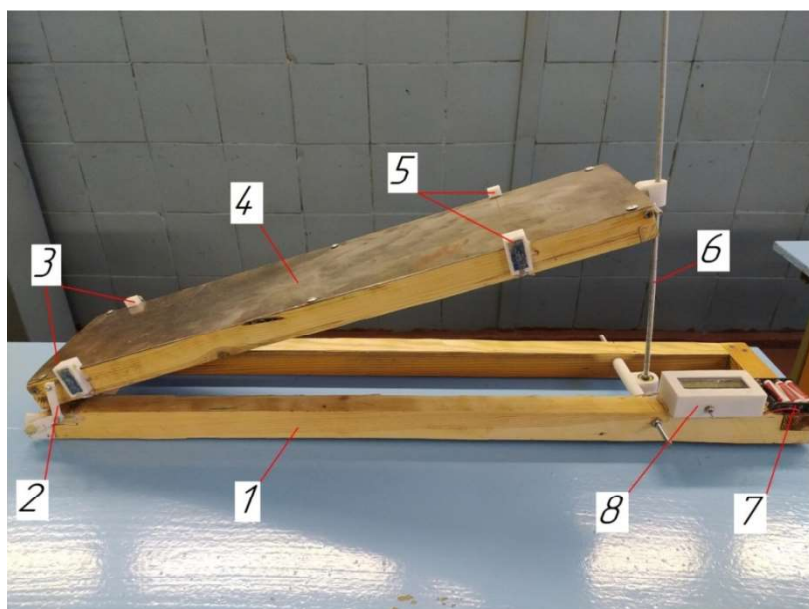


Рис. 1. Установка для исследования коэффициентов трения скольжения и покоя органических компостов:

- 1 – рама; 2 – потенциометр с параллелограммным механизмом;
3 – нижний ИК датчик; 4 – наклонная плоскость;
5 – верхний ИК датчик; 6 – винтовая пара; 7 – блок питания;
8 – блок дисплея контроллера

Из выражения (4) следует, что $at^2 = 2S$, $a = \frac{2S}{t^2}$, тогда:

$$a = g (\sin(\varphi) - f \cos(\varphi)), \quad (5)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

Следовательно, коэффициент трения скольжения равен:

$$f_{\text{ск}} = \text{tg}(\varphi) - \frac{a \sec(\varphi)}{g}, \text{ при } g \cos(\varphi) \neq 0. \quad (6)$$

Результаты исследований. Исследованиям подвергались пять видов образцов органической массы трехмесячного хранения, полученной путем компостирования навоза крупного рогатого скота на соломенной подстилке и четырех видов дополнительных компонентов. В процессе компостирования все бурты, за исключением контрольного, подвергались аэрированию (перемешиванию) через 10 дней. Контрольный бурт состоял только из навоза. Во втором бурте в качестве второго компонента был использован верховой торф, в третьем – сапрпель влажностью 45 %, в четвертом – древесные опилки, в пятом – измельченная на отрезки длиной 30–50 мм ржаная солома.

На основании проведенных исследований были получены необходимые данные, используемые в дальнейшем для вычисления коэффициентов трения покоя и скольжения. Нами была принята пятикратная повторность каждого опыта. Полученные результаты расчетов представлены в таблице.

Результаты определения коэффициентов трения скольжения и покоя органических компостов с различным базовым составом

Показатель	Контрольный образец	Торфонавозный компост	Сапрпель-навозный компост	Опилочно-навозный компост	Соломонавозный компост
Коэффициент трения покоя	1,15	0,87	0,717	0,853	0,801
Коэффициент трения скольжения	1,23	0,93	0,726	0,869	0,809

Как видно из данных, представленных в таблице, наибольший коэффициент скольжения $f_{\text{с}} = 1,23$ имеет образец из контрольного бурта, состоящего только из навоза КРС. Наименьшее значение коэффициента скольжения характерно для сапрпельенавозного компоста $f_{\text{с}} = 0,726$.

оль угла наклона рабочей плоскости осуществлялся потенциометром 2 с параллелограммным механизмом. Путь, проходимый исследуемым образцом по наклонной поверхности, являлся фиксированным отрезком, равным 500 мм.

Зная угол отрыва образца $\varphi_{\text{п}}$, можно вычислить коэффициент трения покоя по следующей формуле:

$$f_{\text{п}} = \text{tg} \varphi_{\text{п}}. \quad (3)$$

Коэффициент трения скольжения вычисляем исходя из полученных в ходе эксперимента данных о времени и расстоянии:

$$S = \frac{at^2}{2}, \quad (4)$$

где a – ускорение, м/с^2 ; t – время, пройденное исследуемым образцом, с; S – путь, пройденный образцом, мм.



Из представленного материала видно, что коэффициенты трения покоя у всех исследуемых образцов немного ниже, чем соответствующие коэффициенты скольжения, но данная разница незначительна. Исследования, проводимые другими учеными [2, 6] также подтверждают такую закономерность. Очевидно, что поэтому значения коэффициентов трения скольжения и покоя органических материалов в большинстве справочной литературы приравняются.

Заключение. Исследования органических компостов, полученных на основе навоза крупного рогатого скота с различными компонентами, показали, что самый большой коэффициент скольжения характерен для контрольного образца, взятого из навозного бурта, не подвергнувшегося перемешиванию в процессе его хранения. Наименьшее значение коэффициента скольжения присуще сапропеленавозному компосту. Кроме того, проведенные исследования показали и то, что коэффициенты трения покоя у всех исследуемых образцов органических компостов немного ниже, чем соответствующие коэффициенты скольжения, но данная разница незначительна.

Полученные значения коэффициентов трения скольжения и покоя сыпучих органических компостов могут быть использованы при проектировании технических средств для внесения органических удобрений поверхностным и локальным (внутрипочвенным) способами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асадов Х. Г. Построение математической модели внесения удобрения в сельскохозяйственные поля в точном земледелии // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 11. С. 8–11. DOI 10.28983/asj.y2021i11pp8-11.
2. Исследование коэффициента внутреннего и внешнего трения гранулированных органических удобрений из подстильного навоза / Д. В. Гурьянов [и др.] // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2017. № 2. С. 114–121.
3. Кокунова И. В., Немчинова Т. В. Исследование влияния базового состава органических компостов на основе навоза на однородность компостных смесей // *Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 4. С. 37–43.
4. Кокунова И. В., Ружьев В. А., Григорьева В. А. Технические особенности современных разбрасывателей минеральных удобрений // *Аграрный научный журнал*. 2022. № 6. С. 99–103. DOI 10.28983/asj.y2022i6pp99-103.
5. Никандров Ю. К. Рециклинг отходов животноводства и их использование в органическом земледелии // *Основы и перспективы органических биотехнологий*. 2020. № 1. С. 25–28. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42900090> (дата обращения: 09.01.2023).
6. Устройство для определения коэффициента трения сыпучих материалов / Д. Н. Савенков [и др.] // *Актуальные проблемы науки и техники: Материалы нац. науч.-практ. конф. Ростов н/Д*. 2019. С. 813. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39451638> (дата обращения: 09.01.2023).
7. Samarin G. N., Kokunova I. V., Vasilyev A. N., Kudryavtsev A. A., Normov D. A. (2021) Optimization of Compost Production Technology. *Intelligent Computing and Optimization. ICO 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1324. Springer, Cham, Pp. 1319–1327. DOI 10.1007/978-3-030-68154-8_113.

REFERENCES

1. Asadov H.G. Construction of a mathematical model of fertilization in agricultural fields in precision farming. *Agrarian scientific journal*. 2021; 11: 8–11. DOI 10.28983/asj.y2021i11pp8-11.
2. Investigation of the coefficient of internal and external friction of granular organic fertilizers from litter manure / D.V. Guryanov et al. *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*. 2017; 2: 114–121.
3. Kokunova I.V., Nemchinova T.V. Investigation of the effect of the basic composition of organic compost based on manure on the uniformity of compost mixtures. *Proceedings of the Velikiye Luki State Agricultural Academy*. 2019; 4: 37–43.
4. Kokunova I.V., Ruzhev V.A., Grigorieva V.A. Technical features of modern mineral fertilizer spreaders. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; 6: 99–103. DOI 10.28983/asj.y2022i6pp99-103.
5. Nikandrov Yu.K. Recycling of animal husbandry waste and their use in organic farming. *Fundamentals and prospects of organic biotechnologies*. 2020; 1: 25–28. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42900090> (accessed: 09/01/2023).
6. A device for determining the coefficient of friction of bulk materials / D.N. Savenkov et al. *Actual problems of science and technology: Materials of the National Scientific and Practical Conference*. Rostov-on-Don. 2019: 813. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39451638> (accessed: 09/01/2023).
7. Samarin G.N., Kokunova I.V., Vasilyev A.N., Kudryavtsev A.A., Normov D.A. Optimization of Compost Production Technology. *Intelligent Computing and Optimization. ICO 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021; 1324: 1319–1327. DOI 10.1007/978-3-030-68154-8_113.

*Статья поступила в редакцию 12.01.2023; одобрена после рецензирования 06.02.2023; принята к публикации 18.02.2023.
The article was submitted 12.01.2023; approved after reviewing 06.02.2023; accepted for publication 18.02.2023.*