

Устройство для определения динамического и статического коэффициентов трения сыпучих продуктов

*И.А. Хозяев, А.Д. Чистяков, Ю.А. Царев, О.Р. Кирищев, Д.Н. Савенков,
Ю.О. Кирищьева, Т.А. Вифлянцева*

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье представлено описание прибора для определения физико-механических характеристик сыпучих материалов - коэффициентов внешнего и внутреннего трения. В ДГТУ спроектировано и изготовлено устройство для определения фрикционных характеристик сыпучих материалов. Представлена методика определения коэффициентов статического и динамического трений. Предложенное устройство позволяет получить более точную информацию о фрикционных характеристиках одного или разных сыпучих материалов в статических и динамических условиях.

Ключевые слова: трение, динамический коэффициент трения, статический коэффициент трения, сыпучий материал.

Трение является одним из важнейших физико-механических свойств зерновых культур. Из всех физических явлений трение является практически самым распространенным.

При проектировании и эксплуатации сельскохозяйственных машин необходимо учитывать физико-механические свойства зерновых культур, с которыми рабочие органы машин непосредственно взаимодействуют. По этой причине существует необходимость определять фрикционные свойства сыпучих материалов.

Для определения фрикционных характеристик сыпучих материалов существуют различные аппараты и устройства, причем все они базируются на трех основных методах (метод «кручения», метод «насыпи» и метод наклонной плоскости).

В результате анализа данных методов [1-6], установлено, что, в конечном счете, они определяют либо статический коэффициент трения, либо динамический.

Задачи исследования:

- разработать теоретические предпосылки определению фрикционных характеристик сыпучих материалов;
- спроектировать и изготовить экспериментальный прототип устройства, позволяющий получить точные результаты исследований фрикционных характеристик сыпучих материалов.

При скольжении тела по той или иной поверхности, появляется сила, которая препятствует движению, называемая сила трения скольжения.

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N \quad (1)$$

где μ - коэффициент трения скольжения; N – сила реакции опоры [7,8].

При попытке сдвинуть тело с места начинает действовать сила трения. Тело нельзя сдвинуть с места, если произведение коэффициента трения скольжения μ на силу реакции опоры N меньше внешней силы F . Здесь присутствует сила трения покоя, которая мешает телу сдвинуться с места. Тело сдвинется только в том случае, если внешняя сила F превысит силу трения покоя [9,10].

Направление силы трения скольжения всегда противоположно направлению движения тела и изменение направления относительного тел скольжения влечет за собой изменение направления силы трения. Коэффициент трения между телами равен:

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N} \quad (2)$$

где, $F_{\text{тр}}$ – измеренное усилие на динамометре.

Коэффициент трения скольжения μ зависит от материала соприкасающихся поверхностей и качества его обработки. Вес тела на коэффициент μ влияния не имеет.

Фрикционные характеристики материалов определяют экспериментальным путем.

Количество повторностей опыта n , необходимых для получения точных результатов, вычисляется по формуле [11,12]

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{(\Delta_{\text{отн}} \cdot \bar{X})^2}, \quad (3)$$

где t – величина t-критерия Стьюдента;

$\Delta_{\text{отн}}$ – задаваемая относительная погрешность;

σ^2 – дисперсия генеральной совокупности величины времени истечения;

\bar{X} – средняя арифметическая величина времени истечения сыпучего материала.

По результатам предварительного эксперимента для числа степеней свободы $n-1=6$ и уровня значимости $\alpha = 0,05$, $t=2,447$ дисперсия генеральной совокупности величины времени истечения $\sigma^2 = 1,66$. Задаваемая относительная погрешность $\Delta_{\text{отн}} = 5\%$. Следовательно, число повторности опыта принимаем $n = 3$.

Для этого спроектировано и изготовлено довольно простое устройство для определения фрикционных характеристик сыпучих материалов [13]. В таком устройстве гарантированно происходит сдвиг и измерение силы сдвига в зазоре между вращающейся чашкой и обоймой. Это происходит благодаря исключению неконтролируемого сдвига относительно обоймы (рисунок 1).

Устройство для определения фрикционных характеристик сыпучих материалов [14,15] включает в себя корпус, установленный внутри привод вращения с регулируемой частотой. В чашке свободно прокручивается цилиндрическая обойма с образованием контактной плоскости. Неподвижная обойма связана с динамометром, закрепленным на корпусе. В обойме

имеются шесть неподвижных перегородок, расположенных вдоль оси и разделяющих внутреннее пространство обоймы на шесть зон.

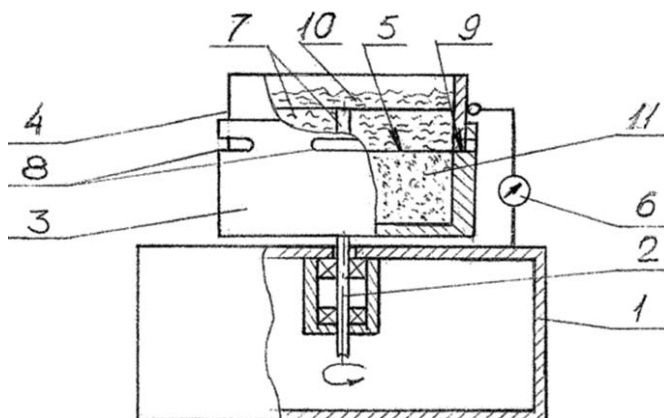


Рис. 1 - Схема устройства для определения динамического и статического коэффициентов трения сыпучих продуктов

1 – корпус; 2 – вертикальный вал; 3 – чашка; 4 – цилиндрическая обойма; 5 – контактная плоскость; 6 – динамометр; 7 – неподвижные перегородки; 8 – отверстия в боковой поверхности; 9 – внутренняя кольцевая ступень; 10 – проба материала; 11 – проба материала.

Для образования контактной поверхности чашка имеет внутреннюю кольцевую ступень, на которую опирается обойма. Сыпучий материал засыпают в чашку, а затем в обойму, при этом образуется контактная поверхность между пробами. При относительном перемещении слоев сыпучих материалов возможно попадание излишков сыпучих материалов в зазор между взаимодействующими торцами чашки и обоймы. Для выведения сыпучего материала из зазора между поверхностями обоймы и чашки в последней предусмотрены отверстия в боковой поверхности на уровне контактной плоскости.

На рисунке 2 представлен общий вид устройства для определения фрикционных свойств сыпучих продуктов. Основная задача, которую обеспечивает устройство – обеспечение точности результатов определения фрикционных свойств сыпучих материалов, а именно статических коэффициентов внутреннего и внешнего (о различные жесткие материалы)

трения покоя; динамических коэффициентов внутреннего и внешнего трения; внутреннего трения движения однородного и разнородных сыпучих материалов.

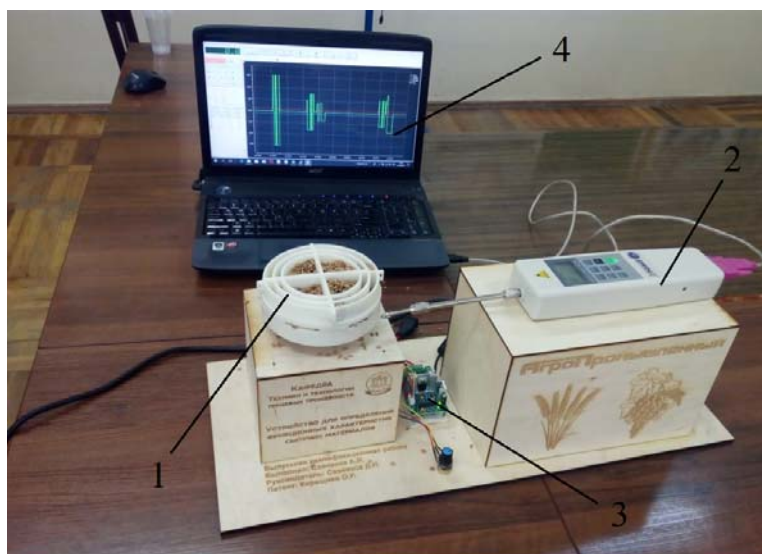


Рис. 2 - Общий вид устройства для определения динамического и статического коэффициентов трения сыпучих продуктов

1 – фрикционное устройство; 2 – динамометр; 3 – регулятор скорости вращения чашечки; 4 – программа Force gauge software v6.0 для визуализации показания динамометра в режиме online.

Установка содержит электронный динамометр, показания которого выводятся на его дисплей и экспортируются через USB на ПК в программу Forcegauge software v6.0. Программа в режиме реального времени отображает показания силы взаимодействия слоев на контактной поверхности.

Методика определения коэффициента статического и динамического трения.

Для определения фрикционных характеристик сыпучих материалов необходимо:

1) Динамометром замерить усилие сдвига вращающейся чашки относительно неподвижной обоймы без засыпки сыпучего материала (на холостом ходу).

2) Пробу сыпучего материала загрузить в чашку до контактной плоскости.

3) Установить обойму в чашку и досыпать сыпучий материал.

4) Включить расположенный в корпусе привод вращения вала мотор – редуктора. При включении мощность привода минимальна, чашка неподвижна.

5) Плавно увеличивая мощность привода замерить усилие в момент начала сдвига чашки (относительного сдвига слоев сыпучего материала). По этому значению силы определяем статический коэффициент трения.

6) Увеличиваем частоту вращения чашки и замеряем усилие сдвига на разных значениях частоты. По этим значениям силы определяем динамический коэффициент трения при разных линейных скоростях перемещения слоев.

Зная частоту вращения чашки, определяем линейную скорость относительного перемещения слоев:

$$g = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R \nu \quad (4)$$

где ν – частота вращения чашки; T – период вращения чашки; R – радиус вращения сыпучего материала в чашке.

Поскольку сыпучий материал в контактной поверхности расположен расстоянии от оси вращения от 0 до R , то берем усредненный радиус вращения частиц $R/2$. Тогда зависимость (4) приобретает вид:

$$g = \frac{\pi R}{T} = \pi R \nu \quad (5)$$

На основе замеров усилия сдвига слоев определяем фрикционные характеристики сыпучих материалов, а именно статические коэффициенты внутреннего и внешнего трений покоя; динамических коэффициентов

внутреннего трения движения однородных (или разнородных) сыпучих материал; динамического коэффициента внешнего трения движения разных сыпучих материалов о различные жесткие материалы.

Анализ результатов показывает, что заложенные при разработке универсального устройства для определения фрикционных характеристик сыпучих материалов решения позволяют реализовать задачи практического определения искомых коэффициентов трения.

Предложенное устройство позволяет получить более точную информацию о фрикционных характеристиках одного или разных сыпучих материалов в статических и динамических условиях.

Литература

1. Патент РФ № 2458750, МПК G01N 19/02. Способопределения динамического коэффициента внешнего трения с удержанием образца на наклонной поверхности упругим элементом / Иванов А.А., Сосыев Н.Я., Гостев В.Н., Крылов И.М. –Опубл. 27.09.2015, Бюл. № 27.
2. Патент РФ № 2458965, МПК G01N 19/02. Способопределениякоэффициента внешнего трения / Иванов А.А., Сосыев Н.Я., Гостев В.Н. –Опубл. 10.08.2012, Бюл. № 22.
3. Патент РФ № 1573397, МПК G01N 3/56. Способопределениякоэффициента внешнего трения / Джетымов А.М., Джетымов М.А. –Опубл. 10.12.1997. Бюл. № 22.
4. Патент РФ № 2213442, МКИ7 A01F12/44, B07B4/02. Зерноочистительная машина / Бурков А.И., Сайтов В.Е., Глушков А.Л.– Опубл. 10.10.2003, Бюл. Хо28.
5. Рылякин Е.Г.Обзор технических средств приготовления плющеного зерна, представленных на российском рынке сельхозтехники // Инженерный

вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1954/.

6. Рылякин Е.Г. Развитие современных технических средств в технологии приготовления плющенного зерна // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2027/.

7. Savenkov D.N., Timolyanov K.A., Gorgadze L.N. Features of designing feeding hoppers of loose materials of low productivity in agriculture // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018) Sevastopol, Russia, September 10–14, MATEC Web of Conferences 224, 05023 (2018). URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2018/83/matecconf_icmtmte2018_05013/matecconf_icmtmte2018_05013.html.

8. Doroshenko A.A., Butovchenko A.B., Gorgadze L.N. The modeling of the process of grain material outflow from a hopper bin with a lateral outlet // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018) Sevastopol, Russia, September 10–14, MATEC Web of Conferences 224, 05023 (2018). URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2018/83/matecconf_icmtmte2018_05013/matecconf_icmtmte2018_05013.html.

9. Савенков Д.Н., Тимолянов К.А. Обоснование профиля днища бункера с боковым выпускным отверстием, обеспечивающего устойчивое и полное опорожнение бункера // Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2015. Т. 10. – № 2 (36) – С. 82–86.

10. Кунаков В.С., Савенков Д.Н., Испанов В.В. Скорость истечения зерновых материалов из бункера с боковым выпускным отверстием // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2014. – № 2. – С. 73–75.

11. Ермольев Ю.И. Основы научных исследований в сельскохозяйственном машиностроении: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – С. 82–85.

12. Савенков Д.Н. Обоснование формы выпускного отверстия бункера, обеспечивающей равномерную подачу зернового материала // Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2014. Т. 9. – № 1 (31). – С. 79–83.

13. Кирищев О.Р., Рудой Д.В., Николаева К.А., Перебейнос Ю.С. Вибрационно–тарельчатый дозатор сыпучих материалов // В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения сборник статей 9–й международной научно–практической конференции в рамках 19–й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш–2016". 2016. – С. 132–134.

14. Патент РФ № 2638393, МПК G01N 3/56. Устройство для определения фрикционных характеристик материалов / Кирищев О.Р. // – Оpubл. 13.12.2017, Бюл. – № 35.

15. Зубрилина, Е.М., Маркво И.А., Новиков В.И. Методика определения коэффициента трения семян на приборе «CF–1». Ставрополь: Изд–во СтГАУ «АГРУС», 2018 – с. 219–224.

References

1. Patent RU № 2458750, МПК G01N 19/02. Sposob opredeleniya dinamicheskogo koefficienta vneshnego triniya s yderganiem obrazca na naklonnoi pverkhnosti ypryгим elementom [The method of determining the dynamic coefficient of external resistance with the retention of the sample on an inclined surface by the elastic component] Ivanov A.A., Sosiev N., Gostev B.H, Krilov I.M. - Public. 27.09.2015., Biyl. № 27.

2. Patent RU № 2458965, МПК G01N 19/02. Способ определения коэффициента внешнего трения [The method for determining the coefficient of external friction] Ivanov A.A., Sosiev N., Gostev B.N. Public. 10.08.2012., Biyl. № 22.
3. Patent RU № 1573397, МПК G01N 3/56. Способ определения коэффициента внешнего трения [The method for determining the coefficient of external friction] Dgetimov A.M., Dgetimov M.A. Public. 10.12.1997., Biyl. № 22.
4. Patent RU № 2213442, МКІ7 А01F12/44, B07B4/02. Zernooshistitelnaya machina [Grain cleaning machine] Byrkov A.I., Saitov B.E., Glyshkov A.L. Public. 10.10.2003., Biyl. №28.
5. Rilyakin E.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1954/.
6. Rilyakin E.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2027/.
7. Savenkov D.N., Timolyanov K.A., Gorgadze L.N. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018) Sevastopol, Russia, September 10–14, MATEC Web of Conferences 224, 05023 (2018). URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2018/83/matecconf_icmtmte2018_05020/matecconf_icmtmte2018_05020.html.
8. Doroshenko A.A, Butovchenko A.B., Gorgadze L.N. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018) Sevastopol, Russia, September 10–14, MATEC Web of Conferences 224, 05023 (2018). URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2018/83/matecconf_icmtmte2018_05013/matecconf_icmtmte2018_05013.html.
9. Savenkov D.N., Timolyanov K.A. Vestnik Kazanskogo gosydarstvennogo



agrarnogo universiteta, 2015. V. 10. №2 (36). pp. 82–86.

10. Kynakov B.S., Savenkov D.N., Ispanov B.B. Vestnik Kyrskoi gosydarstvennoy selskochozyaistvennoi akademii, 2014. № 2. pp. 73–75.

11. Ermol'ev Y.I. Uchebnoe posobie – Rostov-on-Don. Izdatelskiy centr DGTU, 2003.pp. 82–85.

12. SavenkovD.N. Vestnik Kazanskogo gosydarstvennogo agrarnogo universiteta, 2014. V. 9. №1 (31). pp. 79–83.

13. Kirishiev O.P., Rudoi D.V., Nicolaeva K.A., Perebeinos Y.S. 2016. pp. 132–134.

14. Patent RU № 2638393, MPK G01N 3/56. Ustroistvo dlya opredeleniya frikcionnich characteristic materialov [Device for determining frictional characteristics of materials], Kirishchiev O.P. Public. 13.12.2017, №. 35.

15. Zubrilina, E.M., Markvo I.A., Novikov V.I. Metodica opredeleniyyz koeffecienta treniya cemyan na pribore «CF-1» [Method of determining the coefficient of friction of seeds on the device "CF-1"]. Stavropol': Izdatel'stvo StGAU «AGRUS», 2018. pp. 219–224.