

Вестник аграрной науки Дона. 2024. Т. 17. № 4 (68). С. 4–16.
Don agrarian science bulletin. 2024; 17-4 (68): 4–16.

Научная статья
УДК 631.363:636.085.6
DOI: 10.55618/20756704_2024_17_4_4–16
EDN: KGYPGB

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ КОРМОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Виктор Федорович Хлыстунов[1], Надежда Михайловна Удинцова[2].
[1]Аграрный научный центр «Донской», Ростовская область, г. Зерноград, Россия, vniptim@gmail.com
[2]Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия, achgaa@achgaa.ru

Аннотация. Как правило, числовые значения коэффициентов трения в справочной литературе представлены в довольно широких пределах. Перед исследователем всегда возникает задача, состоящая в однозначности выбора их конкретного численного значения в зависимости от целого ряда факторов, таких как относительная влажность, гранулометрический состав, вертикальная нагрузка – наиболее заметное место среди них отводят последней. В настоящее время кроме предположений о функциональной зависимости коэффициентов трения кормовых ингредиентов и кормосмесей от вертикальной нагрузки в специальной литературе другие методы не освещены. В данной статье предпринята попытка устранить этот существенный пробел. В результате натурного эксперимента на оригинальной установке для определения численных значений коэффициентов внешнего по стали и внутреннего трения для летнего и зимнего рационов получили полиномиальные зависимости второй степени означенных коэффициентов основных ингредиентов (свеклы кормовой, силоса кукурузного, зеленой массы зернобобовой смеси, ячменной дерти) и типичных кормосмесей для свиней в зависимости от вертикальной нагрузки. По результатам их структурирования по методике, предусматривающей анализ пошагового сравнения изменения вертикальной нагрузки со средним гипотетическим значением на всем интервале её трансформации с переходом к соответствующим вариациям коэффициентов трения установили интервалы, когда коэффициенты трения изменяются существенно при соответствующих интервалах изменения вертикальной нагрузки (давление). При этом выявили, в частности, следующее: стабилизация коэффициентов для внешнего трения по стали для основных ингредиентов кормовых материалов для свиней наступает в пределах давления [8,54; 9,29] кПа; для внутреннего – [8,54; 9,22] кПа, а для типичных кормосмесей для свиней эти интервалы составили соответственно [9,29; 9,50] кПа и [9,50; 9,82] кПа.

© Хлыстунов В.Ф., Удинцова Н.М., 2024

Ключевые слова: коэффициент, трение, зависимость, структурирование, интервал, нагрузка, стабилизация, кормовой материал, кормосмесь

Для цитирования: Хлыстунов В.Ф., Удинцова Н.М. Особенности изменения функциональной зависимости коэффициентов трения кормовых материалов от вертикальной нагрузки // Вестник аграрной науки Дона. 2024. Т. 17. № 4 (68). С. 4–16. DOI: 10.55618/20756704_2024_17_4_4–16. EDN: KGYPGB

Original article

FEATURES OF CHANGING THE FUNCTIONAL DEPENDENCE OF FRICTION COEFFICIENTS OF FEEDS ON THE VERTICAL LOAD

Victor Fedorovich Khlystunov[1], Nadezhda Mikhailovna Udintsova[2].
[1]Agrarian Scientific Center «Donskoy», Rostov region, Zernograd, Russia, vniptim@gmail.com
[2]Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia, achgaa@achgaa.ru

Abstract. As a rule, the numerical values of friction coefficients in reference literature are presented in fairly wide ranges. The researcher always faces the problem of unambiguous choice of their specific numerical value depending on a number of factors such as relative humidity, granulometric composition, vertical load, with the latter occupying the most prominent place among them. At the same time, at present, except for the assumptions about the functional dependence of the friction coefficients of feed ingredients and feed mixtures on the vertical load, nothing has been noted in the specialized literature. This article attempts to eliminate this significant gap. As a result of a full-scale experiment on an original installation for determining the numerical values of the coefficients of external and internal friction for summer and winter rations, polynomial dependencies of the second degree of the coefficients of the main ingredients (fodder beetroot, corn silage, green mass of grain legume mixture, barley meal) and typical feed mixtures for pigs were obtained depending on the vertical load. Based on the results of their structuring using the methodology that provides for the analysis of a step-by-step comparison of the change in the vertical load with the average hypothetical value over the entire interval of its transformation with a transition to the corresponding variations in the friction coefficients, there have been established some intervals when the friction coefficients significantly change at the corresponding intervals when changing in the vertical load (pressure). In particular, there has been revealed that stabilization of the coefficients for external friction on steel for the main ingredients of pig feed materials occurs within the pressure range of [8,54; 9,29] kPa, internal – [8,54; 9,22] kPa, and as for typical pig feed mixtures these intervals were, respectively, [9,29; 9,50] kPa and [9,50; 9,82] kPa.

Keywords: coefficient, friction, dependence, structuring, interval, load, stabilization, feed material, feed mixture

For citation: Khlystunov V.F., Udintsova N.M. Features of changing the functional dependence of friction coefficients of feeds on the vertical load. Vestnik agrarnoy nauki Dona = Don agrarian science bulletin. 2024; 17-4 (68): 4–16. DOI: 10.55618/20756704_2024_17_4_4–16. EDN: KGYPGB

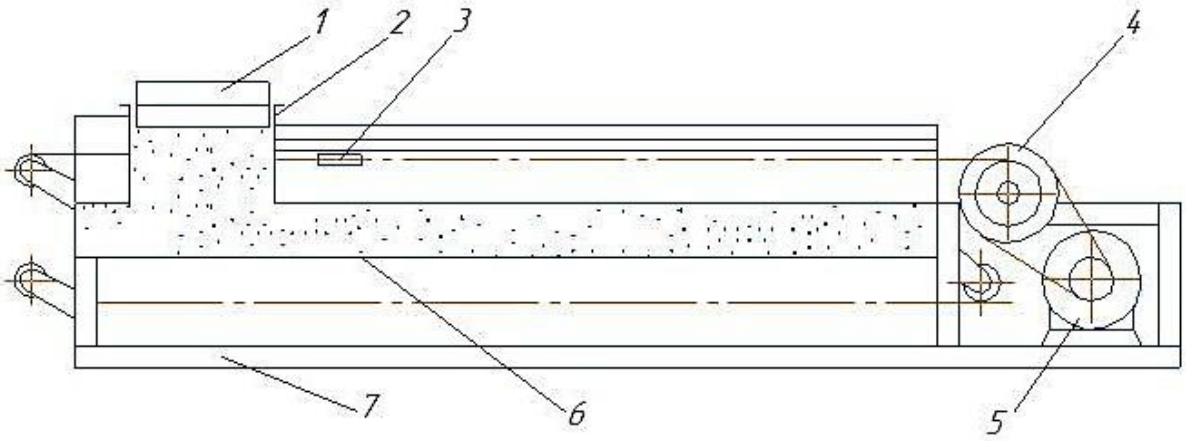
Введение. При обосновании [1–5] параметров и режимов рабочих органов машин и оборудования для кормопроизводства и кормоприготовления и других сельскохозяйственных материалов используют [6–12] численные значения коэффициентов внешнего трения по различным поверхностям (чаще металлическим) и внутреннего трения в зависимости от различных факторов и условий, среди которых влажность, гранулометрический состав, вертикальная нагрузка. Учет последнего из них необходим и связан с изменением геометрических размеров рабочих органов, например, при их физическом моделировании для сни-

жения возможных ошибок и для повышения точности расчетов при определении параметров и режимов создаваемого оборудования.

Вместе с тем должен быть разумный предел изменения рассматриваемых значений коэффициентов трения, когда с ростом давления, создаваемого вышележащими слоями кормового материала, их численное значение изменяется существенно, что и может быть использовано в практических расчетах.

Цель работы – установление границы существенного изменения функциональных зависимостей коэффициентов внешнего (по стали) и внутреннего трения кормовых материалов (ингредиентов) от вертикальной нагрузки.

Материалы и методы исследования. Коэффициенты трения определили на лабораторной установке (рисунок 1), включающей раму с неподвижным коробом с направляющими для перемещения подвижной каретки посредством электродвигателя постоянного тока с клиноременной передачей через тензометрическое звено и цепной контур.



1 – груз уплотняющий; 2 – подвижная каретка; 3 – тензометрическое звено;
4 – клиноременная передача; 5 – электродвигатель;
6 – неподвижный короб с направляющими; 7 – неподвижная рама

Рисунок 1 – Схема установки для определения коэффициентов трения кормов и кормосмесей

1 – sealing load; 2 – movable carriage; 3 – strain gauge link; 4 – V-belt transmission; 5 – electric motor;
6 – fixed box with guides; 7 – fixed frame

Figure 1 – Schematic diagram of the setup for determining the friction coefficients of feed and feed mixtures

В неподвижном коробе длиной 2000 мм с поперечным сечением 300×300 мм днище выполнено из стали. Вдоль боковых стенок по всей длине расположены направляющие, по которым перемещается каретка посредством четырех колесиков (по два с каждой боковой поверхности), установленных на полуосях с шариковыми подшипниками.

Подвижная каретка площадью 0,05 м^2 выполнена без дна и приводится в движение через тензозвено от электродвигателя постоянного тока мощностью 0,185 кВт клиноременной передачей с линейной скоростью 0,1 м/с.

Перед началом эксперимента при определении коэффициента внутреннего трения в неподвижный короб засыпали кормовой материал до уровня нижней кромки подвижной каретки, включали электродвигатель и через тензозвено, используя усилитель тензометрический МДУ-8 и самописец, фиксировали сдвигающее усилие, необходимое для пре-

одоления холостого хода каретки. Ход каретки регулировали конечными выключателями.

После этого в каретку засыпали исследуемый кормовой материал определенной массы, который уплотняли определенным грузом и записывали общее сдвигающее усилие.

При определении коэффициента внешнего трения фиксировали усилие передвижения каретки на холостом ходу. Устанавливали пластину из стали на уровне нижней кромки каретки. Потом при минимально возможном зазоре между этой пластиной в коробе и кареткой засыпали в неё кормовой материал, уплотненный при необходимости грузом определенной массы.

Сбор данных об усилиях производили при частоте 50 Гц. Полученный за опыт массив данных преобразовали по прилагаемым к использованному внешнему устройству аналоговому цифровому преобразователю ЛА-50 USB программам для ЭВМ (JBM PCI AT) в десятичную форму. Обрабатывали по программам Exel для определения максимального и среднего арифметического значения за опыт.

Таблица 1 – Состав кормовых рационов для свинопоголовья
Table 1 – Composition of feed rations for pigs

Компоненты кормового рациона на 1 голову в сутки Components of the feed ration per head per day	Номер кормосмеси Number of feed mixture			
	1 откорм, лето 80% к/к fattening, summer 80% c/f	2 откорм, зима 70% к/к fattening, winter 70% c/f	3 откорм, зима 80% к/к fattening, winter 80% c/f	4 основные корма, зима 90% к/к main dams, winter 90% c/f
Дерть ячменная Barley meal	2,24	1,87	2,38	2,50
Свекла кормовая Fodder beetroot	–	2,90	–	1,00
Силос кукурузный Corn silage	–	0,83	1,38	–
Травяная мука Grassy flour	–	0,21	0,31	–
Мясо-костная мука Meat and bone meal	–	–	0,66	0,18
Зеленая масса злако-бобовой смеси Green mass of grassy and legume mixture	2,10	–	–	–
Вода Water	0,30	1,50	3,00	3,00

* к/к – концкорма по питательности
* c/f – concentrated feeds by nutritional value

После этого полученные данные представили в виде зависимостей коэффициентов трения от значения вертикального давления.

Искомое значение соответствующего коэффициента трения находили по формуле

$$f_{м(к)} = \frac{P_o - P_{xx}}{G_k + G}, \quad (1)$$

где P_o – общее сдвигающее усилие, кг;

P_{xx} – усилие холостого хода каретки, кг;

G_k – вес кормового материала в подвижной каретке, кг;

G – вес уплотняющего груза, кг.

Искомое значение удельного вертикального давления находили по формуле

$$P_i = \frac{G_k + G}{F}, \quad (2)$$

где F – площадь поперечного сечения подвижной каретки, м^2.

В эксперименте использовали следующие кормовые рационы для свиней (таблица 1).

При определении физико-механических свойств кормового материала использовали: ГОСТ 28254-2014. Комбикорма, комбикормовое сырье; Методы определения объемной массы и угла естественного откоса, влажности; ГОСТ Р 54951-2012. Корма для животных; Определение содержания влаги и другие общепринятые методики.

Таблица 2 – Физико-механические свойства кормового материала
Table 2 – Physical and mechanical properties of feeds

Физико-механические свойства Physical and mechanical properties	Кормовой материал Feeds							
	Дерть ячменная Barley meal	Силос кукурузный Corn silage	Свекла кормовая Fodder beetroot	Зеленая масса злако-бобовой смеси Green mass of grassy and legume mixture	Кормосмесь № 1 Feed mixture № 1	Кормосмесь № 2 Feed mixture № 2	Кормосмесь № 3 Feed mixture № 3	Кормосмесь № 4 Feed mixture № 4
Средний размер частиц, мм Average particle size, mm	1,02	10,23	5,45	10,32	–	–	–	–
Средняя насыпная плотность, кг/м^3 Average bulk density, kg/m^3	669	408	690	294	421	635	608	615
Относительная влажность, % Relative humidity, %	12,00	78,83	88,34	76,50	45,44	64,52	62,20	62,95
Угол естественного откоса, град Angle of natural bent, deg	41	48	42	46	44	43	44	40

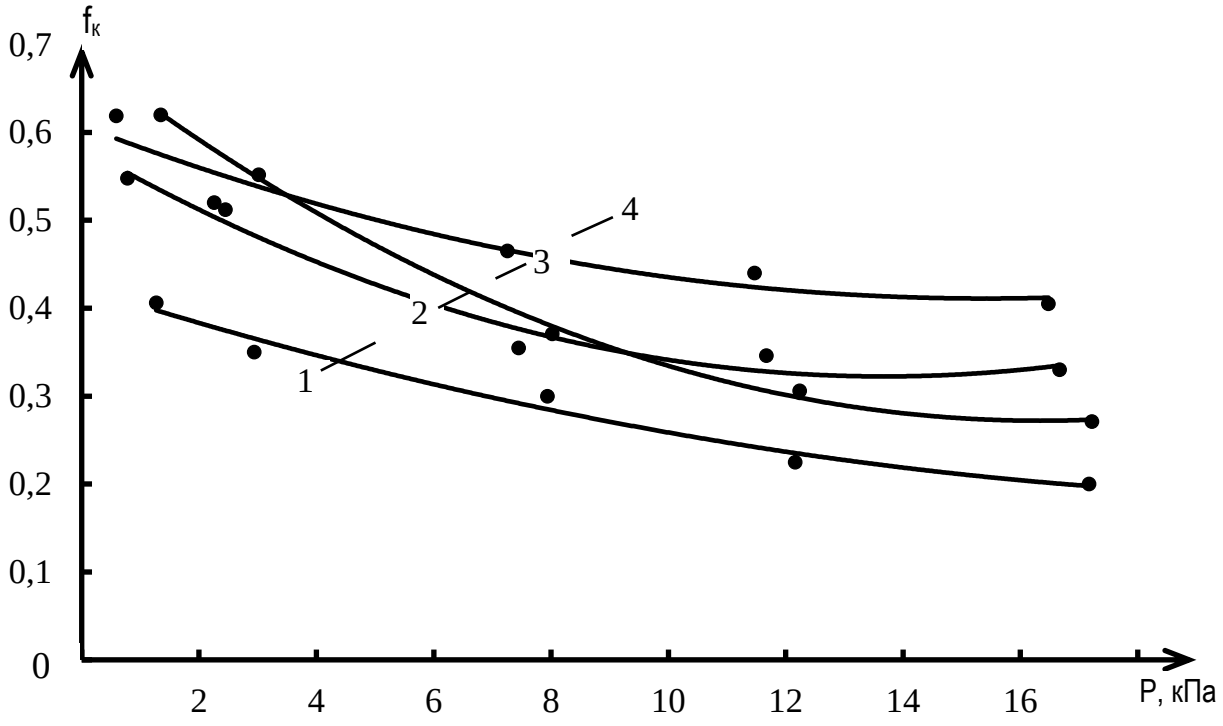
Результаты определения коэффициентов трения представляли в виде функциональной зависимости

$$f_{м(к)} = F(P_o - P_{xx}) \quad (3)$$

и графиков после проведения процедуры аппроксимации экспериментальных данных в соответствии с [13–14].

Каждый график разбивали по оси абсцисс на одинаковые интервалы (шаги) и производили последовательное в направлении увеличения аргумента пошаговое сравнение приращения функции со средним гипотетическим по количеству интервалов ее значений, исходя из прямолинейной интерпретации функции. Далее в соответствии с разработанной программой по представленному в [15] алгоритму осуществляли структурирование массива данных по вертикальному давлению и переходили к соответствующим значениям по оси ординат, то есть по определенному коэффициенту трения от вертикального давления для рассматриваемого вида корма или кормосмеси на интервалы, когда коэффициент трения изменяется существенно.

Результаты исследования и их обсуждение. По данным выполненных исследований после обработки их результатов получили зависимости изменения коэффициентов внешнего трения (рисунок 2) кормовых ингредиентов по стали и внутреннего трения (рисунок 3) для них. Также получили зависимости коэффициентов внешнего трения по стали (рисунок 4) рассмотренных кормосмесей и их внутреннего трения (рисунок 5) от величины вертикального давления.



1 – дерть ячменная; 2 – силос кукурузный; 3 – свекла кормовая;
4 – зеленая масса злакобобовой смеси

Рисунок 2 – Зависимость коэффициента внешнего трения кормов по стали от вертикальной нагрузки

1 – barley meal; 2 – corn silage; 3 – fodder beetroot; 4 – green mass of grassy and legume mixture

Figure 2 – Dependence of the coefficient of external friction of feeds on steel on vertical load

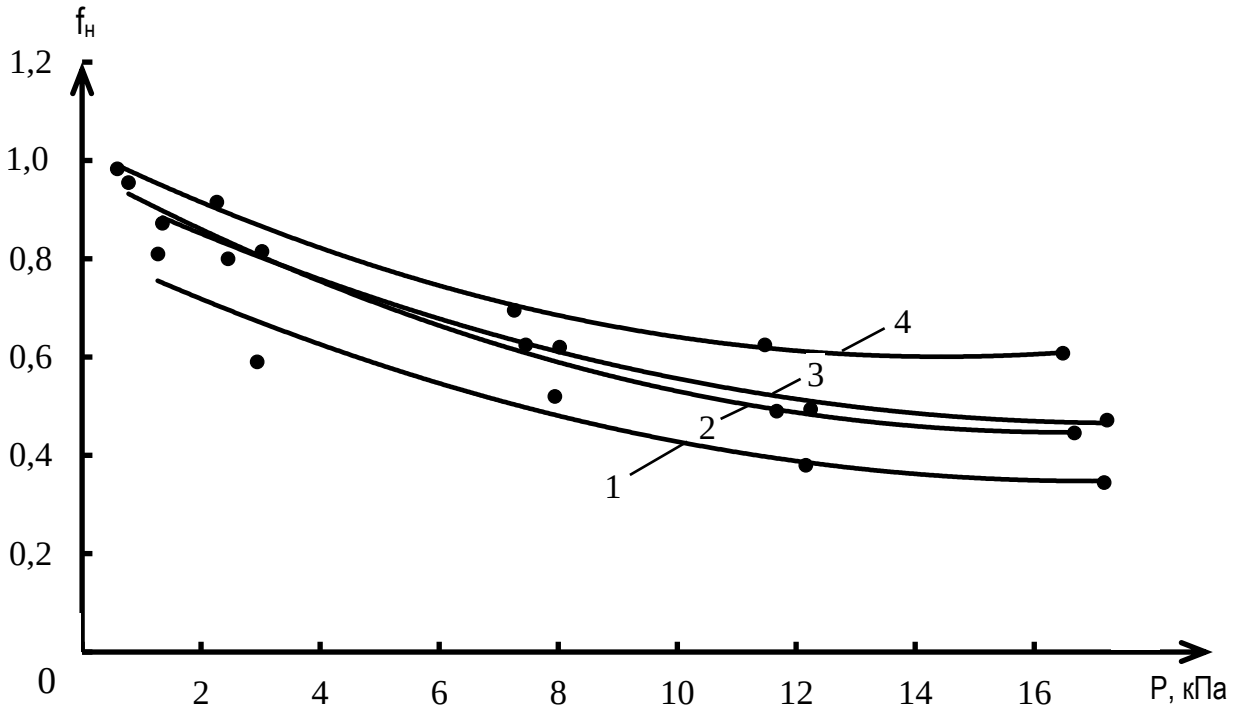
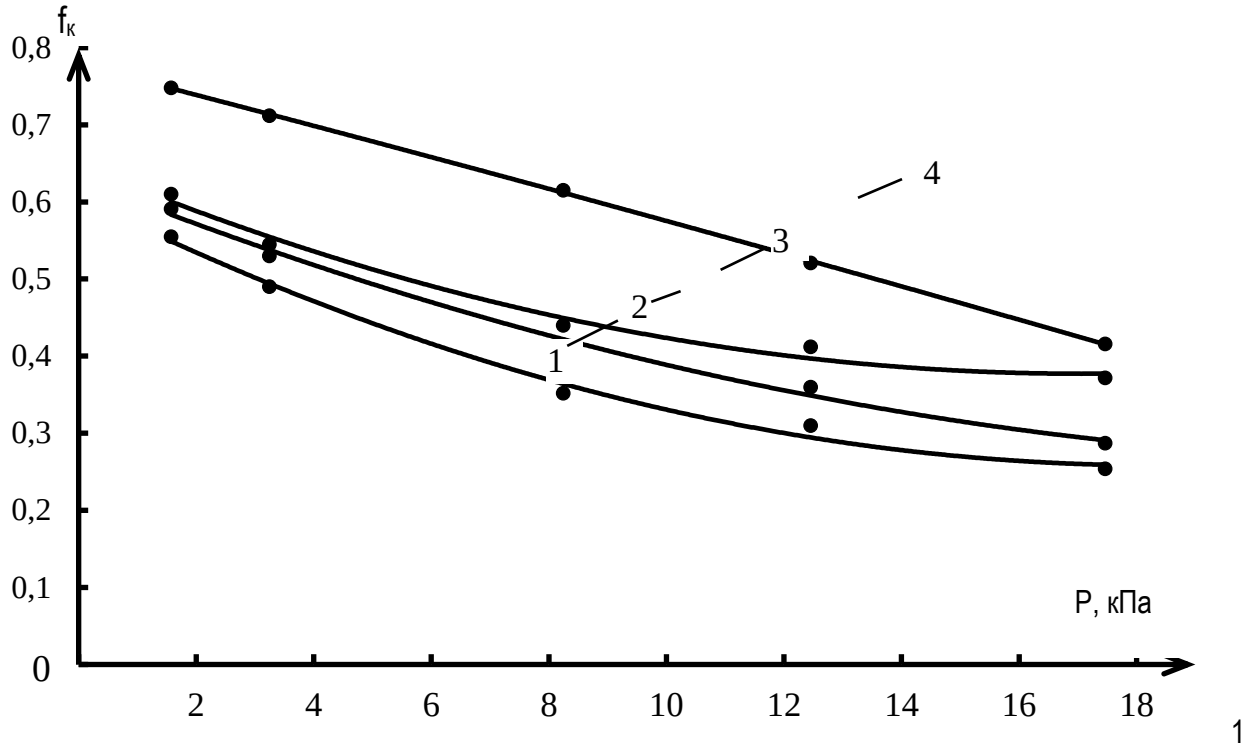
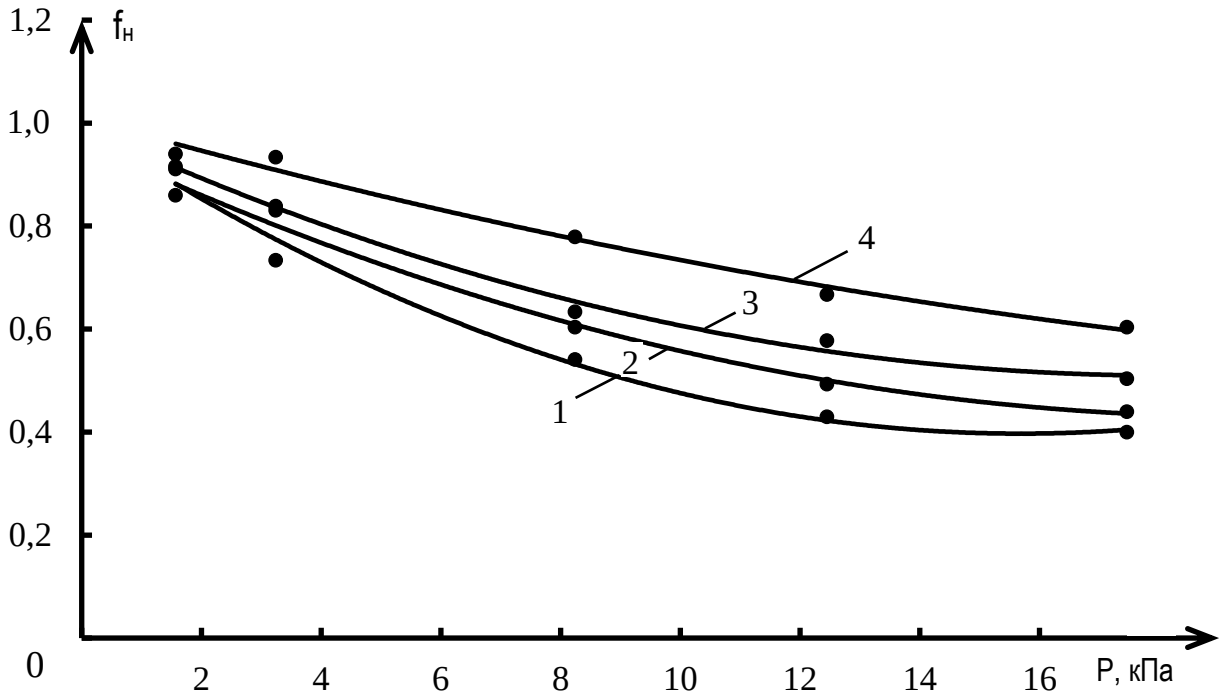


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента внутреннего трения кормов от вертикальной нагрузки
1 – дерть ячменная; 2 – силос кукурузный; 3 – свекла кормовая;
4 – зеленая масса злакобобовой смеси
Figure 3 – Dependence of the internal friction coefficient of feed on the vertical load
1 – barley meal; 2 – corn silage; 3 – fodder beetroot; 4 – green mass of cereal-legume mixture



1 – кормосмесь № 2; 2 – кормосмесь № 4; 3 – кормосмесь № 3; 4 – кормосмесь № 1
Рисунок 4 – Зависимость коэффициента внешнего трения кормосмесей по стали
от вертикальной нагрузки
1 – feed mixture No 2; 2 – feed mixture No 4; 3 – feed mixture No. 3; 4 – feed mixture No 1
Figure 4 – Dependence of the coefficient of external friction of feed mixtures on steel on the vertical load



1 – кормосмесь № 2; 2 – кормосмесь № 4; 3 – кормосмесь № 3; 4 – кормосмесь № 1
Рисунок 5 – Зависимость коэффициента внутреннего трения кормосмесей от вертикальной нагрузки
1 – feed mixture No 2; 2 – feed mixture No 4; 3 – feed mixture No 3; 4 – feed mixture No 1
Figure 5 – Dependence of the coefficient of internal friction of feed mixtures on the vertical load

Таблица 3 – Результаты аппроксимации зависимостей коэффициентов трения кормового материала от вертикальной нагрузки
Table 3 – Results of approximation of the dependences of the friction coefficients of the feeds on the vertical load

№ п/п № item order	Наименование кормового материала Name of feeds	Эмпирическая формула для определения коэффициента трения Empirical formula for determining the coefficient of friction
1	Силос кукурузный Corn silage	$f_к = 0{,}0014P^2 – 0{,}0381P + 0{,}5828$
		$f_н = 0{,}0020P^2 – 0{,}0646P + 0{,}9815$
2	Свекла кормовая Fodder beet	$f_к = 0{,}0016P^2 – 0{,}0508P + 0{,}6870$
		$f_н = 0{,}0016P^2 – 0{,}0560P^2 + 0{,}9566$
3	Зеленая масса злакобобовой смеси Green mass of grassy and legume mixture	$f_к = 0{,}0008P^2 – 0{,}0255P^2 + 0{,}6076$
		$f_н = 0{,}0020P^2 – 0{,}0586P + 1{,}0243$
4	Дерть ячменная Barley meal	$f_к = 0{,}0005P^2 – 0{,}0212P + 0{,}4238$
		$f_н = 0{,}0017P^2 – 0{,}0561P + 0{,}8240$
5	Кормосмесь № 1 Feed mixture № 1	$f_к = -0{,}00007P^2 – 0{,}0196P + 0{,}7782$
		$f_н = 0{,}0005P^2 – 0{,}0330P + 1{,}0104$
6	Кормосмесь № 2 Feed mixture № 2	$f_к = 0{,}0010P^2 – 0{,}0378P + 0{,}6059$
		$f_н = 0{,}0024P^2 – 0{,}0764P + 0{,}9964$
7	Кормосмесь № 3 Feed mixture № 3	$f_к = 0{,}0009P^2 – 0{,}3170P + 0{,}6479$
		$f_н = 0{,}0015P^2 – 0{,}0535P + 0{,}9940$
8	Кормосмесь № 4 Feed mixture № 4	$f_к = 0{,}0006P^2 – 0{,}0304P + 0{,}6297$
		$f_н = 0{,}0014P^2 – 0{,}0545P + 0{,}9635$

Размерность *P* в мПа Dimension *P* in mPa

В результате анализа полученных зависимостей установили, что с ростом величины вертикальной нагрузки происходит снижение значения коэффициентов внутреннего трения и по стали, и внутреннего трения по полиномиальной зависимости второй степени (таблица 3).

Снижение коэффициентов трения в рассматриваемом случае можно объяснить тем, что с ростом вертикальной нагрузки все больше влаги из верхних слоев поступает к трущимся поверхностям, где формируется жидкостная пленка, способствующая снижению общего сдвигающего усилия (формула 1), а значит и коэффициента трения. Снижению этого усилия способствует также и некоторое упорядочивание структуры всего материала под воздействием вертикальной нагрузки, а следовательно, и трущихся поверхностей (они становятся как бы более «гладкими»).

Вначале с возрастанием вертикальной нагрузки наблюдается относительно резкое снижение коэффициента трения, затем это снижение замедляется и далее стабилизируется.

В результате структурирования массива данных, представленных каждой зависимостью соответствующего коэффициента трения для каждого вида кормового материала и анализируемой кормосмеси, установили в соответствии с [15] интервалы, когда они изменяются существенно (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты определения интервалов существенного изменения коэффициентов трения ингредиентов, кормосмесей и вертикальной нагрузки
Table 4 – Results of determining the intervals of significant changes in the friction coefficients of ingredients, feed mixtures and vertical load

№ п/п № item order	Ингредиент, № кормосмеси Ingredient, feed mixture No	Интервал существенных значений ([ ]) Interval of significant values ([ ])			
		при трении по стали when rubbing against steel		при внутреннем трении with internal friction	
		$f_к$	$Р_к$, кПа	$f_н$	$Р_н$, кПа
1	Дерть ячменная Barley meal	0,40; 0,27	1,27; 9,22	0,76; 0,45	1,27; 9,22
2	Силос кукурузный Corn silage	0,58; 0,36	0,78; 8,73	0,93; 0,57	0,78; 8,73
3	Свекла кормовая Fodder beetroot	0,62; 0,35	1,35; 9,29	0,86; 0,57	1,35; 9,29
4	Зеленая масса злакобобовой смеси Green mass of grassy and legume mixture	0,59; 0,45	0,59; 8,54	1,04; 0,67	0,59; 8,54
5	Кормосмесь № 1 Feed mixture № 1	0,75; 0,59	1,57; 9,29	0,96; 0,74	1,57; 9,50
6	Кормосмесь № 2 Feed mixture № 2	0,55; 0,34	1,57; 9,50	0,88; 0,49	1,57; 9,52
7	Кормосмесь № 3 Feed mixture № 3	0,60; 0,43	1,57; 9,50	0,91; 0,62	1,57; 9,50
8	Кормосмесь № 4 Feed mixture № 4	0,58; 0,39	1,57; 9,50	0,88; 0,57	1,57; 9,50

Так, коэффициент внешнего трения измельченной свеклы кормовой существенно изменяется от 0,62 до 0,35, то есть на 43,55% при изменении вертикального воздействия от 1,35 до 9,29 кПа, и после этого стабилизируется. Стабилизация коэффициента внутреннего трения, в частности, дерти ячменной наступает на уровне 0,45 при вертикальном воздействии 9,22 кПа. В целом же по всем кормовым материалам, входящим в рецептуру для приготовления кормосмесей для свиней, стабилизация коэффициентов трения, то есть их несущественное изменение, наступает в случае трения по стали при вертикальном давлении [8,54; 9,29], а при внутреннем трении [8,54; 9,22] кПа.

Что касается данных по рассмотренным кормосмесям, то наиболее существенно коэффициент трения по стали изменяется у кормосмеси № 2 от 0,55 до 0,34 и вертикальном воздействии в 9,50 кПа. Что касается коэффициента внутреннего трения, то это тоже кормосмесь № 2, и его стабилизация наступает при значении 0,49 и вертикальном воздействии 9,52 кПа.

Выводы. Анализ полученных по данным натурного эксперимента функциональных зависимостей коэффициентов трения основных ингредиентов кормового рациона и кормосмесей для свиней от вертикальной нагрузки позволил установить в результате их структурирования интервалы существенного изменения, за пределами которых соответствующие коэффициенты трения изменяются незначительно.

Таким образом, в пределах интервалов существенного изменения коэффициенты трения следует определять по найденным эмпирическим зависимостям для соответствующих ингредиентов кормовых рационов и кормосмесей для свиней.

При возрастании вертикальной нагрузки для ингредиентов более 8,54–9,29 кПа и типичных кормосмесей для свиней более 9,29–9,52 кПа можно использовать для практических расчетов значения коэффициентов трения, соответствующие граничным значения (в сторону увеличения) вертикальной нагрузки в интервалах их существенного изменения.

Так, коэффициент трения по стали кормового рациона свинопоголовья для дерти ячменной 0,27; силоса кукурузного 0,36; свеклы кормовой 0,35 и зеленой массы злакобобовой смеси 0,45. Коэффициент внутреннего трения для них будет, соответственно 0,46; 0,57; 0,57 и 0,67.

Список источников

1. Зиганшин Б.Г., Зайцев П.В., Халиуллин Д.Т., Гайфуллин И.Х., Байгильдеева Е.И., Пополднев Р.С. Обоснование параметров измельчителя кормов // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 1 (45). С. 69–77. EDN: SSISYK.

2. Утолин В., Паршина М., Крыгин С., Батирова В., Паршина Л. Спиральный питатель-дозатор сыпучих материалов // Техническое обеспечение сельского хозяйства. 2019. № 1(1). С. 120–124. EDN: GKUAJT.

3. Кажияхметова А.А., Ведищев С.М., Бралиев М.К., Иванов А.С. Смеситель сухих рассыпных кормосмесей с активным каналом обратного хода // Современная наука: теория, методология, практика: материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тамбов, 13–14 апреля 2021 года. Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2021. С. 301–303. EDN: UPNANI.

4. Морозов В.В., Богданов К.А., Игнатенков В.Г., Фомичев М.А. Результаты экспериментальных исследований экструдера для производства сапропелезернового корма // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 9 (191). С. 134–140. EDN: NRJLUX.

5. Бесполденов Р.В., Федоренко И.Я., Землянухина Т.Н., Полковникова М.В., Ишков А.В. Исследование и моделирование взаимодействия молотков вертикальной дробилки с воздушно-зерновым слоем // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 4 (222). С. 92–98. DOI: 10.53083/1996-4277-2023-222-4-92-98. EDN: KLTINA.

6. Карпов В.В. Методика определения коэффициентов трения скольжения кормовых корнеплодов // Stiinta Agricola. 2014. № 1. С. 67–71. EDN: SHHBKV.

7. Моисеев К.Г., Терлеев В.В. Расчет коэффициента трения сухих сыпучих сред на основе фрактального моделирования // Агрофизика. 2016. № 4. С. 9–16. EDN: XIOUWR.

8. Матеев Е.З., Шахов С.В., Ветров А.В., Берестовой А.А. Определение коэффициентов трения сафлора и прицепника // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 3–4. С. 71–74. EDN: XRXYWI.

9. Авакимянц Е.В., Гордеев В.В. Физико-механические свойства кормовых добавок для КРС // АгроЭкоИнженерия. 2020. № 3 (104). С. 100–108. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10259. EDN: NVOOUC.

10. Кокунова И.В., Ружьев В.А. Определение коэффициентов трения скольжения и покоя сыпучих органических удобрений // Аграрный научный журнал. 2023. № 4. С. 126–129. DOI: 10.28983/asj.y2023i4pp126-129. EDN GHBALC.

11. Гурьянов Д.В., Хмыров В.Д., Гребенникова Т.В., Хатунцев П.Ю. Исследование коэффициентов внутреннего и внешнего трения гранулированных органических удобрений из подстилочного овечьего навоза // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2017. № 2. С. 114–121. EDN: ZEFUOL.

12. Савенков Д.Н., Кирищиев О.Р., Кирищиева Ю.О., Разамасцев Р.Ю. Устройство для определения коэффициента трения сыпучих материалов // Актуальные проблемы науки и техники. 2019: материалы Национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 26–28 марта 2019 года. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2019. С. 813. EDN: VKGPOW.

13. Федоровский К.Ю. Аппроксимация полианалитическими многочленами. Москва: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2016. 197 с. ISBN 978-5-98354-022-4. URL: https://keldysh.ru/e-biblio/fedorovsky/ (дата обращения 9.09.2024).

14. Горожанкин С.А., Шитов А.А., Савенков Н.А. Методики для аппроксимации зависимостей нескольких переменных в программной среде MS Excel и Mathcad // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2016. № 3 (247). С. 35–47. DOI: 10.5862/JCSTCS.247.4. EDN: WZRGKT.

15. Коптева Н.А., Хлыстунов В.Ф. Метод определения критической точки изменения функции (применительно к процессу смешивания кормов) // Применение математических методов в исследованиях и разработке сельскохозяйственной техники: сборник научных трудов / Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук (ВАСХНИЛ), Всероссийское отделение; Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ВНИПТИМЭСХ). Зерноград, 1982. С. 75–81. EDN: VNFPNR.

References

1. Ziganshin B.G., Zaytsev P.V., Khaliullin D.T., Gayfullin I.KH., Baygil'deeva E.I., Popoldnev R.S. Obosnovanie parametrov izmel'chitelya kormov (Justification of feed grinder parameters). *Vestnik Kurganskoy GSKHA*. 2023; 1(45): 69–77. EDN: SSISYK. (In Russ.)

2. Utolin V., Parshina M., Krygin S., Batirova V., Parshina L. Spiral'nyy pitatel'-dozator sypuchikh materialov (Spiral feeder-dispenser of bulk materials). *Tekhnicheskoe obespechenie sel'skogo khozyaystva*. 2019; 1(1): 120–124. EDN: GKUAJT. (In Russ.)

3. Kazhiyakhmetova A.A., Vedischev S.M., Braliev M.K., Ivanov A.S. Smesitel' sukhikh rassypnykh kormosmesey s aktivnym kanalom obratnogo khoda (Dry bulk feed mixer with active return line). Sovremennaya nauka: teoriya, metodologiya, praktika: materialy III Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, Tambov, 13–14 aprelya 2021 goda. Tambov: Izdatel'stvo IP Chesnokova A.V., 2021, s. 301–303. EDN: UPNANI. (In Russ.)

4. Morozov V.V., Bogdanov K.A., Ignatenkov V.G., Fomichev M.A. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy ekstrudera dlya proizvodstva sapropelezernovogo korma (The results of experimental studies of the extruder for the produc-

tion of sarporel and grain feed). *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2020; 9(191): 134–140. EDN: NRJLUX. (In Russ.)

5. Bespoldenov R.V., Fedorenko I.YA., Zemlyanukhina T.N. Polkovnikova M.V., Ishkov A.V. Issledovanie i modelirovanie vzaimodeystviya molotkov vertikal'noy drobilki s vozdushno-zernovym sloem (Investigation and modeling of interaction of hammers of a vertical crusher with air-grain layer). *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; 4(222): 92–98.
DOI: 10.53083/1996-4277-2023-222-4-92-98.
EDN: KLTINA. (In Russ.)

6. Karpov V.V. Metodika opredeleniya koeffitsientov treniya skol'zheniya kormovykh korneplodov (A methodology for determining the coefficient of sliding-friction of the fodder roots). *Stiinta Agricola*. 2014; 1: 67–71. EDN: SHHBKV. (In Russ.)

7. Moiseev K.G., Terleev V.V. Raschet koeffitsienta treniya sukhikh sypuchikh sred na osnove fraktal'nogo modelirovaniya (Calculation of friction factor of dry granular solids based on fractal modeling). *Agrofizika.* 2016; 4: 9–16. EDN: XIOUWR. (In Russ.)

8. Mateev E.Z., Shakhov S.V., Vetrov A.V., Berestovoy A.A. Opredelenie koeffitsientov treniya saflora i pritsepnika (The identification of safflower and small bur-parsley frictional coefficients). *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki.* 2019; 3-4: 71–74. EDN: XRXYWI. (In Russ.)

9. Avakimyants E.V., Gordeev V.V. Fiziko-mekhanicheskie svoystva kormovykh dobavok dlya KRS (Physical and mechanical properties of feed additives for cattle). *AgroEkoInzheneriya*. 2020; 3(104): 100–108. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10259. EDN: NVOOUC. (In Russ.)

10. Kokunova I.V., Ruzh'ev V.A. Opredelenie koeffitsientov treniya skol'zheniya i pokoya sypuchikh organicheskikh udobreniy (Determination of friction coefficient s of sliding and rest of bulk organic fertilizers). *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2023; 4: 126–129. DOI 10.28983/asj.y2023i4pp126-129. EDN GHBALC. (In Russ.)

11. Gur'yanov D.V., Khmyrov V.D., Grebennikova T.V., Khatuntsev P.Yu. Issledovanie koeffitsientov vnutrennego i vneshnego treniya granulirovannykh organicheskikh udobreniy iz podstilochnogo ovech'ego navoza (Research on the factors of internal and external friction of organic granular fertilizer made from litter-based sheep manure). *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017; 2: 114–121. EDN: ZEFUOL. (In Russ.)

12. Savenkov D.N., Kirischiev O.R., Kirischieva Yu.O., Razamastsev R.Yu. Ustroystvo dlya opredeleniya koeffitsienta treniya sypuchikh materialov (Device for determining the coefficient of friction of bulk materials). Aktual'nye problemy nauki i tekhniki. 2019: materialy Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Rostov-na-Donu, 26–28 marta 2019 goda. Rostov-na-Donu: Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2019, s. 813. EDN: VKGPOW. (In Russ.)

13. Fedorovskiy K.Yu. Approksimatsiya polianaliticheskimi mnogochlenami (Approximation by polyanalytic polynomials). Moskva: IPM im. M.V. Keldysha, 2016, 197 s. ISBN: 978-5-98354-022-4. URL: https://keldysh.ru/e-biblio/fedorovsky/ (data obrascheniya 9.09.2024). (In Russ.)

14. Gorozhankin S.A., Shitov A.A., Savenkov N.A. Metodiki dlya approksimatsii zavisimostey neskol'kikh peremennykh v programmnoy srede MS Excel i Mathcad (Procedures for approximating dependences of several variables in MS Excel and Mathcad software environment). *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie*. 2016; 3(247): 35–47. DOI: 10.5862/JCSTCS.247.4. EDN: WZRGKT. (In Russ.)

15. Kopteva N.A., Khlystunov V.F. Metod opredeleniya kriticheskoy tochki izmeneniya funktsii (primenitel'no k protsessu smeshivaniya kormov) (Method for determining the critical point of change of function (applicable to the process of mixing feeds)). Primenenie matematicheskikh metodov v issledovaniyakh i razrabotke sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: sbornik nauchnykh trudov. Vsesoyuznaya akademiya sel'skokhozyaystvennykh nauk (VASKHNIL), Vserossiyskoe otdelenie; Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy i proektno-tekhnologicheskiy institut mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo khozyaystva (VNIPTIMESKH). Zernograd, 1982, s. 75–81. EDN: VNFPNR.
(In Russ.)

Информация об авторах

В.Ф. Хлыстунов – доктор технических наук, профессор, Аграрный научный центр «Донской», Ростовская область, г. Зерноград, Россия. E-mail vniptim@gmail.com.

Н.М. Удинцова – кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. E-mail udiczowa@yandex.ru.

Виктор Федорович Хлыстунов, vniptim@gmail.com

Information about the authors

V.F. Khlystunov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Agrarian Scientific Center «Donskoy», Rostov region, Zernograd, Russia. E-mail vniptim@gmail.com.

N.M. Udintsova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia. E-mail udiczowa@yandex.ru.

Victor Fedorovich Khlystunov, vniptim@gmail.com

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors. All authors made an equivalent contribution to the preparation of the article.
The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 16.09.2024; одобрена после рецензирования 14.10.2024; принята к публикации 15.10.2024.
The article was submitted 16.09.2024; approved after reviewing 14.10.2024; accepted for publication 15.10.2024.

https://elibrary.ru/kgypgb