

## Методика и результаты экспериментального исследования коэффициента трения скольжения навоза по перфорированной поверхности

*А.В. Старунов, к.т.н., И.Н. Старунова, к.т.н., ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ; Ж.А. Нурписов, к.т.н., профессор, Костанайский ГУ*

Навоз является важнейшим сырьём для производства органических удобрений, необходимых для сохранения и повышения плодородия почвы. Ежегодный выход навоза в Российской Федерации

составляет около 250 млн т и ожидается его увеличение к 2020 г. за счёт реконструкции существующих и строительства новых ферм и комплексов [1]. Процесс переработки навоза требует значительных энергетических затрат, а получаемые органические удобрения должны быть полностью обеззаражены от патогенной микрофлоры и личинок гельминтов, обладать пониженной всхожестью семян сорных

растений, характеризоваться меньшей влажностью в сравнении с исходным сырьём и отсутствием твёрдых примесей [1–3].

Решение этого вопроса возможно осуществить за счёт внедрения высокотехнологичных линий и устройств по переработке навоза в качественное органическое удобрение. В результате применения таких энерговооружённых технических систем увеличиваются затраты на производство удобрений в 3–5 раз, что ведёт к убыточности их использования, так как прибавочный продукт сельскохозяйственных культур не окупает произведённые затраты [1].

Для переработки навоза разработаны комбинированные устройства барабанного [3, 4] и шнекового [5, 6] типа, позволяющие одновременно осуществлять процессы отделения твёрдых примесей и формования пеллет. Процесс переработки сводится к продавливанию рабочим органом (катком) навоза вязкопластичного состояния через перфорированную поверхность.

Сокращение доли затрат на энергоресурсы в структуре себестоимости органических удобрений возможно за счёт совмещения некоторых операций по его переработке. Кроме того, на конструктивные параметры рабочих органов, элементов привода разработанных устройств, их мощностные характеристики в процессе работы оказывает влияние коэффициент трения скольжения.

Выполненные ранее исследования по изучению влияния различных факторов на коэффициент трения скольжения навоза проводились по стальной (шлифованной, необработанной), прорезиненной и деревянной поверхностям [7–9].

Установлено, что основными факторами, влияющими на энергетические затраты и производительность процессов отделения примесей и формования пеллет, являются: влажность навоза, частота вращения барабана или шнека и усилие продавливания навоза через перфорированную поверхность устройства [3, 10].

**Цель исследования** – изучить влияние влажности навоза, частоты вращения барабана и усилия продавливания подстилочного навоза КРС на коэффициент трения скольжения по перфорированной поверхности устройств.

**Материал и методы исследования.** Для изучения влияния перечисленных факторов на коэффициент трения скольжения использовали подстилочный навоз 3-месячного хранения, который по существующей классификации находился в полуперепревшем состоянии [9]. По механическому составу навоз состоял из жидких и сухих экскрементов крупного рогатого скота в смеси с перепревшей и полуперепревшей соломой.

В процессе опытов навоз помещали в специально изготовленный металлический короб с размерами 0,15×0,2×0,07 м, подпрессовывали, после чего определяли массу. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

Силу трения скольжения определяли методом протаскивания металлического короба с навозом по перфорированной поверхности устройства (рис. 1). Площадь контакта трущихся поверхностей составляла 0,03 м<sup>2</sup>.

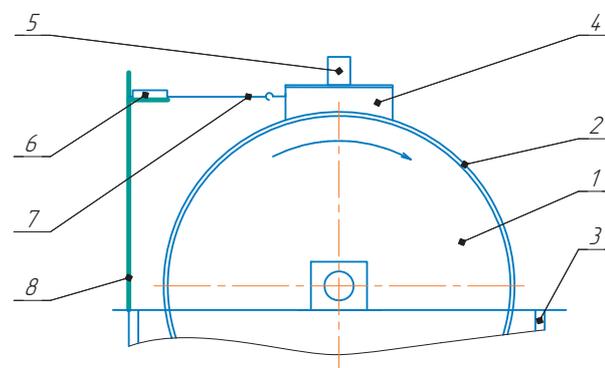


Рис. 1 – Схема установки для определения коэффициента трения скольжения навоза:

1 – барабан устройства; 2 – перфорированная поверхность барабана; 3 – рама; 4 – короб с навозом; 5 – груз; 6 – динамометр; 7 – трос; 8 – стойка

При проведении эксперимента подвижные решётки, образующие перфорированную поверхность барабана, были закреплены. Навоз помещали в металлический короб, который располагали на перфорированной поверхности в верхней части барабана. В качестве поверхности трения выступала стальная необработанная поверхность, коэффициент перфорации которой составлял 0,47. Для определения силы трения использовали динамометр ДПУ-0,01-2, соединённый с опорой и металлическим коробом посредством троса диаметром 0,001 м. Вращение барабана устройства осуществлялось посредством электродвигателя через понижающий редуктор.

Коэффициент трения скольжения  $f_{ск}$  определяли по уравнению Кулона:

$$f_{ск} = \frac{F}{N}, \quad (1)$$

где  $F$  – сила трения,  $H$ ;

$N$  – сила нормального давления на единицу площади,  $H$ .

В свою очередь:

$$F = F_H - F_{II}, \quad (2)$$

где  $F_H$  – сила трения при протаскивании нагруженного короба,  $H$ ;

$F_{II}$  – сила трения при протаскивании пустого короба,  $H$ .

Сила нормального давления  $N$  равна:

$$N = P_H + P_G, \quad (3)$$

где  $P_H$  – масса короба с навозом,  $H$ ;

$P_G$  – масса добавочного груза,  $H$ .

Изменение силы нормального давления подпрессованного навоза осуществляли за счёт варьирования количества гирь, размещённых на пластине над навозом в металлическом коробе.

Процесс продавливания навоза сквозь перфорированную поверхность начинается при подаче

материала в бункер. Это происходит за счёт давления, создаваемого верхними слоями навоза на нижние. Основная масса навоза продавливается за счёт давления, создаваемого подпружиненным рабочим органом (катком). При этом значение давления и соответственно интенсивности продавливания навоза на всей перфорированной поверхности контакта различны. По мере приближения обрабатываемого материала к области расположения рабочего органа значения этих показателей возрастают. Поэтому влияние фактора «усилие продавливания подстилочного навоза КРС через перфорированную поверхность» рассматривали как удельное нормальное давление  $p$ :

$$p = \frac{N}{S}, \quad (4)$$

где  $S$  – площадь контакта трущихся поверхностей, м<sup>2</sup>.

Опыты проводили в пятикратной повторности и обрабатывали на ЭВМ.

**Результаты исследования.** Полученные результаты представлены в графической форме на рисунке 2.

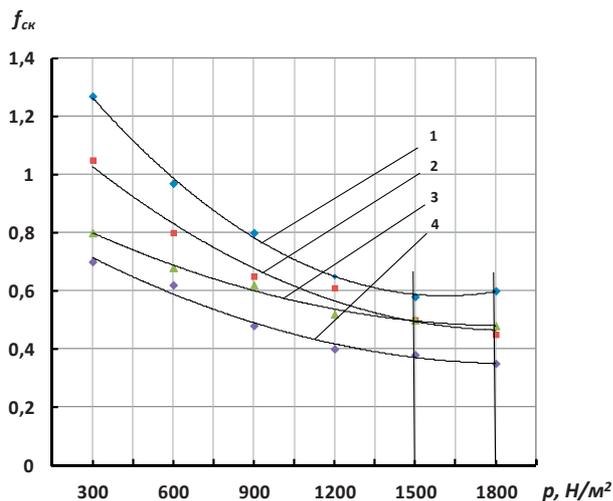


Рис. 2 – Зависимость коэффициента трения скольжения подстилочного навоза от удельного давления при различных значениях влажности  $w$  и частоты вращения  $n$ :

1 –  $w = 60\%$ ,  $n = 0,12 \text{ с}^{-1}$ ; 2 –  $w = 60\%$ ,  $n = 0,034 \text{ с}^{-1}$ ;  
3 –  $w = 70\%$ ,  $n = 0,12 \text{ с}^{-1}$ ; 4 –  $w = 70\%$ ,  $n = 0,034 \text{ с}^{-1}$

Анализ полученных значений показывает, что характер изменения коэффициента трения скольжения во всех случаях оказывается одинаковым. С увеличением удельного давления при рассматриваемых значениях влажности коэффициент трения скольжения уменьшается, и соответственно в зоне продавливания навоза на разработанных устройствах будут наблюдаться его наименьшие значения.

Снижение коэффициента трения скольжения происходит за счёт образующейся между поверхностями трения жидкостной плёнки, которая и оказывает смазывающий эффект. Этот вывод подтверждает и то, что с повышением влажности коэффициент трения скольжения также убывает.

Минимальные значения коэффициента трения скольжения наблюдаются в диапазоне 1500–1800 Н/м<sup>2</sup>, дальнейшее увеличение этого фактора будет излишним, т.к. к существенному повышению эффективности продавливания не приведёт и повлияет на уровень энергозатрат, затрачиваемых на привод устройств.

Повышение частоты вращения барабана устройства приводит к увеличению коэффициента трения скольжения в 1,1–1,3 раза.

**Выводы.** Изучаемый коэффициент отличается от коэффициента трения скольжения по различным сплошным поверхностям трения, превышая его в 1,5–2,5 раза [8–10]. Полученные значения коэффициента трения скольжения могут быть использованы при проектировании и расчётах устройств по переработке подстилочного навоза.

### Литература

1. Миронов В.В. Технологии и технические средства интенсификации производства органических удобрений на фермах крупного рогатого скота: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. Мичурино-Наукоград, 2010. 40 с.
2. Старунов А.В., Нурписов Ж.А., Жикеев А.А. Влияние электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на всхожесть семян сорных растений // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 2 (46). С. 63–66.
3. Карташов Л.П., Нурписов Ж.А., Старунов А.В. Обоснование конструкции и параметров выделителя твёрдых примесей из навоза // Техника в сельском хозяйстве. 2006. № 4. С. 12–14.
4. Старунов А.В., Старунова И.Н., Нурписов Ж.А. Совершенствование конструкции барабанного отделителя твёрдых примесей из навоза // Наилучшие доступные технологии: матер. всерос. науч.-практич. конф. 15 декабря 2016 г. Персиановский: Донской ГАУ, 2016. С. 103–107.
5. Старунов А.В., Старунова И.Н., Нурписов Ж.А. Устройство для отделения твёрдых примесей и формирования пеллет из навоза // Наилучшие доступные технологии: матер. всерос. науч.-практич. конф. 15 декабря 2016 г. Персиановский: Донской ГАУ, 2016. С. 107–111.
6. Пат. № 22334 Республика Казахстан. Устройство для выделения твёрдых примесей из навоза / № 2009/0165.1; заявл. 09.02.2009; опуб. 15.03.2010, бюл. № 3. 5 с.
7. Шреер А.А., Мухин В.М. О коэффициенте трения овечьего навоза и приспособлении для его определения // Механизация производственных процессов в овцеводстве Казахстана. Алма-Ата. 1982. № 6. С. 96–100.
8. Ворянский Н.П., Артюх А.С. О некоторых физико-механических свойствах навоза // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Вып. 3. Киев, 1965.
9. Васильев В.А., Филиппова Н.В. Справочник по органическим удобрениям. М.: Росагропромиздат, 1988. 256 с.
10. Старунов А.В. Отбор значимых факторов при исследовании процесса продавливания навоза через перфорированную поверхность отделителя твёрдых примесей // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 2007. № 8. С. 61–63.
11. Практикум по сельскохозяйственным машинам / Под ред. проф. М.М. Константинова / М.М. Константинов, В.Н. Мякин, А.П. Козловцев [и др.]. Оренбург: ООО «Печатный дворик», 2016. 299 с.