

В. И. РЫЖАНКОВ,
аспирант

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЛОМИСТЫХ НАВОЗОВ¹

В данной работе освещаются результаты исследований коэффициентов трения и сопротивлений сдвигу, разрыву и смятию солоmistых навозов применительно к явлениям, возникающим при взаимодействии с навозом рабочих органов погрузочных машин.

О коэффициентах трения скольжения навоза. В табл. 1 приведены осредненные значения коэффициентов трения навоза, рекомендуемые Борисенко [1], Озолс [2] и Вейлло [3] для практических расчетов.

Таблица 1

| Поверхность | По Борисенко | По Озолс | По Вейлло |
|-------------------------|--------------|----------|-----------|
| | При движении | | |
| Металлическая | 0,847 | 0,75 | 0,73 |
| Деревянная | 0,970 | 0,74 | 0,76 |
| Бетонная | 0,985 | 0,83 | 0,56 |

Как видно из табл. 1, имеется значительное расхождение в полученных данных, особенно между данными Борисенко и Озолс.

Сравнение зависимости коэффициентов трения от влажности показывает, что по Борисенко максимум трения наступает при относительной влажности навоза 80—82%, а по Озолс — при 60—70%. С целью определения коэффициентов трения навоза в диапазоне низких удельных нагрузок нами проводились опыты по методике и на приборе системы акад. В. А. Желтиковского. Исследовался навоз, полученный от крупного рогатого скота, различной влажности, солоmistости и степени разложения. Результаты исследований приводятся в табл. 2.

Из проведенных измерений также следует, что максимум трения достигается при влажности навозной массы 65—70%. Это ближе согласовывается с данными Озолс, чем с результатами измерений Борисенко. Тем не менее опыты подтверждают, что при малых

¹ Работа выполнена под руководством канд. техн. наук Б. Е. Евтихеева.

нормальных давлениях данные, полученные Борисенко, находятся ближе к действительности, чем значения коэффициентов трения по Озолс.

Таблица 2

| Наименование материалов | Количество опытов | Объемный вес, кг/м ³ | Степень разложения, % | Влажность, % | Коэффициент трения скольжения в движении, $v=0,15$ м/сек | | | |
|---|-------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------|--|-------------|---------------------------|--------------|
| | | | | | Деревянная поверхность | | Металлическая поверхность | |
| | | | | | Гладкая | шероховатая | полифованная | шероховатая? |
| Навоз с измельченной соломой, содержание соломы 15% | 12 | 718 | 25 | 71,2 | 0,87 | 0,91 | 0,84 | 0,90 |
| Навоз с измельченной соломенной подстилкой, содержание соломы 15% | 15 | 734 | 30 | 70,8 | 0,88 | 0,98 | 0,81 | 0,84 |
| Навоз длинносоломистый, неразложившийся, содержание соломы 10% | 15 | 877 | 8 | 73,6 | 0,67 | 0,78 | 0,61 | 0,65 |

Возрастание коэффициентов трения при малых нормальных нагрузках объясняется тем, что на величину трения оказывает значительное влияние явление липкости массы, которое неотделимо от трения. С увеличением удельного давления относительное влияние сил прилипания на величину коэффициента трения уменьшается, однако с увеличением нормальной нагрузки повышается смазывающее действие навозной жижи, выжимающейся из массы. В этом случае происходит полужидкостное трение.

Соппротивление навозной массы сдвигу. Соппротивление сдвигу несвязных (сыпучих) материалов зависит исключительно от внутреннего трения между частицами. Величина этого соппротивления прямо пропорциональна нормальному давлению на материал. В связных же материалах явление сдвига усложняется тем, что к величине трения добавляется сцепление. В механике грунтов пользуются уравнением, выражающим зависимость соппротивления сдвигу от нормального давления:

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где

τ — напряжение сдвига, кг/см²;

C — общее сцепление, не зависящее от нормальной нагрузки, кг/см²;

φ — угол внутреннего трения;

σ — нормальное давление, кг/см².

Указанное уравнение может быть применено для определения сил внутреннего трения и сцепления навоза, однако оно не будет

представлять уравнение прямой, так как $\operatorname{tg} \varphi$ в свою очередь зависит от нормального давления и является переменной величиной.

С целью определения величины φ были проведены опыты на установке, сконструированной канд. техн. наук Овчинниковым.

Опыты проводились с полуперепревшим коровьим навозом, содержащим измельченную солому.

На рис. 1 показано изменение напряжения сдвига τ навозной массы от нормального давления σ и влажности навоза W . На участке от нуля до $\sigma = 0,7 \text{ кг/см}^2$ напряжение сдвига пропорционально нормальному давлению. В этом промежутке тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс представляет собой коэффициент внутреннего

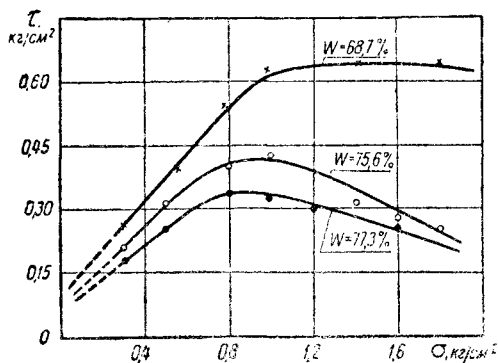


Рис. 1. Зависимость напряжения сдвига навозной массы от нормального давления

трения в покое (при трогании с места). Для навоза влажностью $W=77,3\%$ $\operatorname{tg} \varphi = 0,842$, для навоза влажностью $W=75,6\%$ $\operatorname{tg} \varphi = 1,035$, для навоза влажностью $W=68,7\%$ $\operatorname{tg} \varphi = 1,280$.

Уменьшение значения коэффициентов внутреннего трения при трогании с места и в движении с возрастанием нормального давления объясняется смазывающим действием жидкости, выжимающейся из навозной массы.

Сопротивление навозной массы проникновению рабочего органа. Установление зависимости сопротивления от конфигурации позволило бы сделать обоснование проектируемого рабочего органа с тем, чтобы по возможности уменьшить сопротивление материала его проникновению.

Поставив перед собой такую цель, провели серию опытов со штампами, вдавливаемыми в навозную массу на глубину 40 см плотномером ударного типа. Комплект штампов состоял из четырех групп. В первую группу входили конические штампы, имеющие один и тот же диаметр, но разный угол заострения, изменяющийся от 20 до 90°. Во вторую группу входили штампы одинакового угла заострения, но разного диаметра. В третью группу входили плоские штампы также переменного диаметра.

Четвертая группа, состоящая из штампов с удлиненной цилиндрической частью, предназначалась для установления влияния боковой поверхности на усилие вдавливания рабочего органа.

Исследованию подвергались два вида навозов: навоз № 1, полученный применением в подстилку измельченной соломы из расчета средней нормы — 3 кг на одну голову в сутки.

(степень разложения $\rho = 30\%$, объемный вес $\gamma = 785 \text{ кг/м}^3$, средняя влажность $W = 76,3\%$);

навоз № 2, полученный внесением в подстилку неизмельченной соломы, также из расчета 3 кг на одну голову в сутки ($\rho = 10\%$, $\gamma = 843 \text{ кг/м}^3$, $W = 81,2\%$).

Выявлено, что при угле заострения $\approx 30^\circ$ навоз оказывает наименьшее сопротивление внедрению в него штампа. Рассмотрим вопрос, почему с увеличением или с уменьшением угла заострения от оптимального растет удельное сопротивление проникновению?

Основным физическим процессом при проникновении в навоз коническим штампом является деформация сжатия, в результате которой сжатый навоз перед рабочей поверхностью штампа расходится в стороны и впрессовывается в боковые стенки отверстия. Частички навоза при этом скользят по поверхности конуса. На рис. 2 показан сам процесс.

Допустим, что под действием вдавливающей силы P частички навоза, касающиеся поверхности конуса, перемещаются в направлении Z и сила R — сопротивление, оказываемое частичкой продвижению штампа. Тогда составляющая N силы R вызывает силу трения F , которая будет преодолеваться составляющей T силы R .

Следовательно,

$$T \geq F \quad \text{или} \quad f \leq \operatorname{tg} \varphi,$$

где

f — коэффициент трения скольжения навоза о поверхность штампа;

φ — угол трения.

Из чертежа видно, что обязательным условием, при котором штамп проникает в материал, является

$$\varphi < \left(90^\circ - \frac{\beta}{2} \right) \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \varphi < \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}.$$

Если представить, что R — суммарная сила сопротивлений всех частичек навоза, соприкасающихся с поверхностью конуса, тогда имеем:

$$P = R \cdot \sin \left(\varphi + \frac{\beta}{2} \right) = R \left(\sin \varphi \cdot \cos \frac{\beta}{2} + \cos \varphi \cdot \sin \frac{\beta}{2} \right); \quad (2)$$

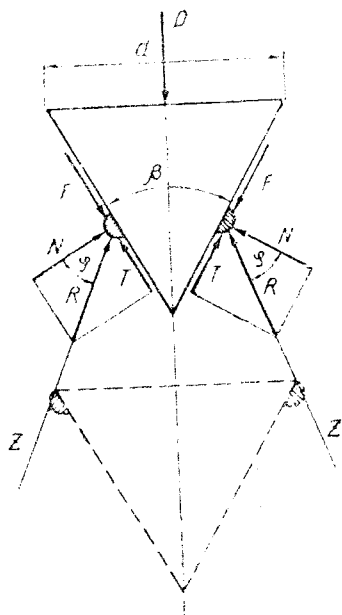


Рис. 2. Схема к обоснованию оптимального угла заострения штампа

$$R = \frac{N}{\cos \varphi} \quad \text{и} \quad P = N \left(\operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \frac{\beta}{2} + \sin \frac{\beta}{2} \right).$$

Сила N зависит от физико-механических свойств навоза и поверхности конуса, что можно выразить равенством:

$$N = q \cdot \frac{1}{2} h \pi d = \frac{1}{2} q \pi d \frac{d}{2 \cdot \sin \frac{\beta}{2}} = q \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot \sin \frac{\beta}{2}},$$

где: q — коэффициент вдавливания, кг/см^2 ;

d — диаметр штампа, см .

Подставляя значение N в выражение (2), получаем

$$P = q \frac{\pi \cdot d^2}{4} \left(\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} + 1 \right). \quad (3)$$

Поскольку для одного и того же навоза все величины, входящие в формулу (3), постоянные, кроме $\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$, то величина P будет зависеть от размера отношения

$\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}$, значение которого прямо пропор-

ционально силе вдавливания P . Из обязательного условия продвижения штампа в материале вытекает, что произведение $\operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}$

всегда больше единицы, так как $\angle \frac{\beta}{2} < \varphi$.

В случае, когда угол заострения штампа больший, чем 2φ , скольжение по рабочей поверхности штампа невозможно, так как перед конусом образуется уплотненное ядро, которое, вклиниваясь в материал, раздвигает его в стороны. Частицы навоза при этом уже скользят по поверхности уплотненного ядра. Но так как угол внутреннего трения навоза φ' в покое больший, чем угол трения φ навоза о металл, то из равенства (3) вытекает, что сопротивление проникновению увеличивается. При значительном уменьшении угла заострения от угла φ сила вдавливания возрастает.

Легко заметить, что оптимальный угол заострения β колеблется между значением, при котором происходит скольжение материала по рабочей поверхности конуса, и минимальной его величиной, при которой сопротивление возрастает за счет увеличения поверхности контакта. В среднем величина $q \approx 0,5 \div 0,6 \text{ кг/см}^2$.

Зависимость между удельным сопротивлением проникновению q и площадью сечения для плоских и конических штампов представляет функцию, у которой также наблюдается минимум.

С уменьшением площади сечения штампа удельное сопротивле-

ние внедрению возрастает, вероятно, за счет влияния боковой поверхности штампа, которая при этом в меньшей степени изменяется, чем площадь поперечного сечения. Рост удельного сопротивления проникновению с увеличением диаметра штампа объясняется тем, что поверхность образованного перед штампом уплотненного ядра (следовательно, и величина трения) возрастает более интенсивно, чем поперечная площадь штампа.

Зависимость, показывающая влияние боковой площади контакта штампа с навозом на сопротивление вдавливанию, является прямой.

Опытный коэффициент ξ , который характеризует влияние боковой поверхности на усилие проникновению, имеет следующие размеры: для навоза № 1 $\xi = 0,21$, для навоза № 2 $\xi = 0,20 \text{ кг/см}^2$. Физический смысл коэффициента заключается в том, что он показывает величину возрастания сопротивления проникновению рабочего органа, если боковая, взаимодействующая с материалом поверхность его увеличилась на 1 см^2 .

Сопротивление навоза разрыву. При отделении порции происходит разрыв между частицами экскрементов и разделение входящей в состав навоза соломы, которая имеет связь как с отделяемой порцией, так и с общей массой материала. Если прочность соломинок большая, чем сила, необходимая для вытаскивания их из навоза, то соломинки при отрыве навоза будут выдергиваться, а не разрываться. Практически установлено, что в навозе со степенью разложения 25% и выше солома утрачивает свою прочность. Навоз с низкой степенью разложения, особенно длинносоломистый, обладает большим сопротивлением разрыву.

Не вникая в глубину вопроса молекулярного сцепления частиц навоза, в данной работе изучались лишь предельные разрывные усилия.

Таблица 3

| Вид навоза | Норма пожелтки, кг/204 в сутки | Плотность, кг/м ³ | Относительная влажность, % | Число определений | Сопротивление разрыву, г/см ² | | Примечание |
|--|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------|--|---------|---------------------------|
| | | | | | колебание | среднее | |
| Навоз длинносоломистый, степень разложения 5% | 4 | 570 | 68,5 | 8 | 24,5 — | 34,7 | Хранился в течение 3 мес. |
| | | | | | 43,2 — | | |
| Навоз длинносоломистый, степень разложения 10% | 3 | 843 | 81,2 | 9 | 40,6 — | 53,3 | |
| | | | | | 79,6 — | | |
| Навоз с измельченной соломой, степень разложения 30% | 3 | 785 | 76,3 | 8 | 31,4 — | 39,1 | |
| | | | | | 57,0 — | | |
| Навоз среднесоломистый, утрамбованный скотом, степень разложения 15% | — | 930 | 80,8 | 11 | 60,8 — | 64,5 | |
| | | | | | 65,3 — | | |

Опыты проводились непосредственно на гидравлическом грейферном погрузчике. Методика проведения опытов заключалась в определении давления масла в гидросистеме в момент отрыва порции навоза и давления масла на весу с грузом. Разность показаний манометра дает величину избыточного давления, необходимого для преодоления сил сцепления.

Результаты многочисленных замеров и вычислений сведены в табл. 3.

Для практических расчетов рекомендуем принимать удельное сопротивление разрыву: свежего соломистого слежавшегося в бурту навоза $r=50$ г/см², навоза соломистого, разложившегося $r=40$ г/см², навоза длинносоломистого, утрамбованного скотом, $r=65$ г/см².

ЛИТЕРАТУРА

1. Б о р п с е н к о Е. И. Электромеханизация уборки навоза из животноводческих помещений и компостирование его с торфоминеральными добавками в навозохранилище. Белорусская НТО сельского и лесн. хоз. 1958.

2. О з о л с Я. Г. Исследование тягового сопротивления и определение основных параметров рабочих органов навозоуборочных транспортных устройств. Автореферат диссертации, Латв. сельхоз. академия, 1958.

3. В е й н л о В. Э. Исследование некоторых свойств навоза. Сборник научных трудов Эстонской селхоз. академии, вып. 13, 1959.
