

## Теоретическое обоснование параметров выпускного отверстия загрузочного бункера устройства для формования навозной массы

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

На крупных животноводческих и птицеводческих комплексах ежегодно происходит накопление значительного количества навоза, которое по различным причинам не используется. Навоз является уникальным продуктом. С одной стороны, это отходы, относящиеся к III и IV классу опасности, сильнейший экологический фактор воздействия на окружающую среду. С другой стороны, это

ценнейшее органическое удобрение, позволяющее повысить плодородие почвы, возобновляемый и экологически безопасный источник энергии. Поэтому вопросы, связанные с переработкой навоза, являются важной народнохозяйственной задачей.

Одним из возможных направлений решения этой задачи является использование навоза в качестве твёрдого топлива для получения тепловой и электрической энергии для отдалённых ферм и небольших населённых пунктов. Испытания таких

брикетов на теплоту сгорания показали, что их калорийность составляет, в зависимости от влажности используемого навоза, от 2500 до 2750 ккал/кг [1]. Использование навоза в качестве твёрдого топлива позволяет частично решить проблему отопления различных производственных и жилых помещений, получать золу как минеральное удобрение, улучшить экологическую обстановку.

Кроме того, при инфекционных заболеваниях животных навоз становится серьёзной угрозой санитарно-эпидемиологическому состоянию фермы.

**Цель работы** – повышение эффективности использования органических отходов сельского хозяйства в современном производстве и бытовых условиях на примере навоза.

Для достижения поставленной цели было разработано устройство (рис. 1), позволяющее форми-

ровать брикеты из навозной массы с относительной влажностью 45–65% [2].

Устройство работает следующим образом. Навозная масса, заполняя внутреннее пространство бункера 26, попадает в параллелепипедные формы, образованные стенками 11 и 12, размещённые на ленточном транспортёре 7.

Стенки 11, 12 параллелепипедных форм выполнены в виде пластин, примыкающих друг к другу и не соединённых между собой. Такая конструкция форм обеспечивает образование замкнутого пространства определённого объёма на прямолинейных участках движения транспортёра 7 и увеличение его в продольном или поперечном направлениях при огибании барабанов 6, 5 и 3.

По мере продвижения ленточного транспортёра 7 и параллелепипедных форм, заполненных навозной массой, в продольном направлении, после

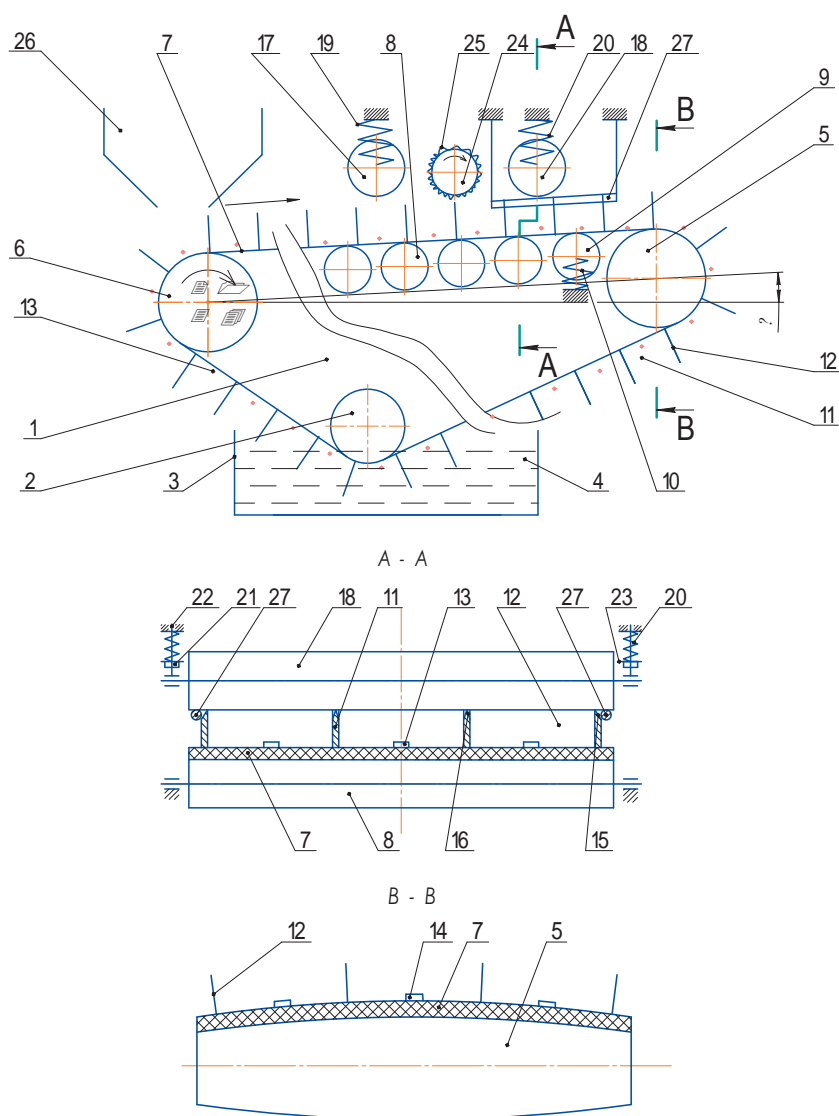


Рис. 1 – Устройство для формирования навозной массы:

- 1 – ленточный транспортёр; 2 – нижний ведомый барабан; 3 – ёмкость; 4 – жидкость; 5 – верхний ведомый барабан; 6 – ведущий барабан; 7 – лента транспортёра; 8 – опорные ролики; 9 – крайний ролик; 10 – пружины; 11 – боковая стенка; 12 – поперечная стенка; 13, 14 – резьбовые соединения; 15, 16 – заострения; 17 – прессующий валик низкого давления; 18 – прессующий валик высокого давления; 19, 20 – пружины; 21, 22, 23 – механизм натяжения пружин; 24 – битер; 25 – рёбра битера; 26 – бункер

выхода из бункерного пространства, навоз несколько сжимается. Дальнейшее прессование навозной массы в вертикальном направлении осуществляется под воздействием первого прессующего валика 17. При этом масса частично перераспределяется по всему объёму параллелепипедных форм с образованием предварительно уплотнённого слоя. При поступлении форм к вращающемуся против часовой стрелки цилиндрическому битеру 24 происходит сбрасывание рёбрами 25 излишней массы и формирование толщины предварительно образованного слоя навоза для дальнейшего уплотнения. При этом часть излишней массы используется для заполнения имеющихся пустот в параллелепипедных формах, а оставшаяся часть удаляется за их пределы. Далее второй прессующий валик 18 сдавливает накопившуюся массу и окончательно формирует монолит навозной массы в виде прямоугольного параллелепипеда. Повышенное давление пружин 20 создаёт более высокую плотность монолита по сравнению с действием пружин.

Уровень давления валиков 17, 18 может быть отрегулирован пружинами 19 и 20. Подпор при формировании навоза двумя прессующими валиками 17 и 18 и поддержки при снятии излишней массы битером 24, а также ветви транспортёра 1 осуществляется роликами 8.

При дальнейшем продвижении монолит сформированного навоза под воздействием подпружиненного ролика 9 первоначально сдвигается с места, что создаёт благоприятные условия для сохранения формы монолита. При огибании параллелепипедных форм ведомого барабана 5 стенки 11, 12 благодаря его бочкообразной форме начинают расходиться в продольном и поперечном направлениях, что частично освобождает монолит от взаимодействия с ними.

В результате на ведомом верхнем барабане 5 монолит навозной массы выпадает на приёмное средство (на схемах не показано).

После освобождения от монолитов навоза стенки 11, 12 параллелепипедных форм, перемещаясь по нижнему ведомому барабану 2, погружаются в жидкость 4 и смачиваются. Цикл повторяется.

После непродолжительной сушки полученные брикеты могут быть использованы для отопления производственных и жилых помещений крупных животноводческих комплексов и фермерских хозяйств.

Преимущество устройства заключается в следующем: смачивание ленты 7 с закреплёнными параллелепипедными формами уменьшает коэффициент трения между навозом и стенками 11, 12, приводит к облегчению процессов прессования и последующего их освобождения; параллелепипедные формы обладают возможностью отклонения стенок 11, 12 в продольном и поперечном направлениях, тем самым обеспечивают изменение объёма относительно расположения стенок и ленты в продольном и поперечном направлениях;

расстановка прессующих валиков 17, 18 и цилиндрического битера 24 определяет последовательность формообразования, уплотнения и удаления излишнего количества навозной массы.

Производительность разработанного устройства будет формироваться из производительности ленточного транспортёра с размещёнными параллелепипедными формами и пропускной способности загрузочного бункера. Полная и равномерная загрузка транспортёра устройства будет происходить при выполнении следующего условия:

$$Q_{\text{б}} \geq Q_{\text{т}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{б}}$  – пропускная способность загрузочного бункера, т/ч;

$Q_{\text{т}}$  – производительность ленточного транспортёра, т/ч.

Выполнение данного условия будет зависеть в первую очередь от геометрических параметров выпускного отверстия (ширины и длины) загрузочного бункера устройства. Необоснованно принятые их значения способствуют забиванию выпускного отверстия, сводообразованию и неуправляемому обрушению подаваемой массы на транспортёр устройства. Поэтому значения этих параметров необходимо установить. Для этого рассмотрим обе части неравенства.

Пропускная способность бункера определяется по формуле, полученной Р.Л. Зенковым [3]:

$$Q_{\text{б}} = 3600 \cdot F_{\text{п}} \cdot v_{\text{ист}} \cdot \gamma, \quad (2)$$

где  $F_{\text{п}}$  – расчётная площадь выпускного отверстия бункера, м<sup>2</sup>;

$v_{\text{ист}}$  – скорость истечения навозной массы из бункера, м/с;

$\gamma$  – объёмная плотность навозной массы, т/м<sup>3</sup>.

Производительность ленточного транспортёра определяется по формуле

$$Q_{\text{т}} = 3600 \cdot F \cdot v \cdot \gamma, \quad (3)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения материала на ленте транспортёра, м<sup>2</sup>;

$v$  – скорость движения ленты транспортёра, м/с;

$\gamma$  – объёмная плотность навозной массы, т/м<sup>3</sup>.

Площадь поперечного сечения материала на ленте транспортёра (рис. 2) определяется по формуле:

$$F = b \cdot h, \quad (4)$$

где  $b = (0,9B - 0,05)$  – грузонесущая ширина ленты транспортёра, м;

$h$  – высота параллелепипедной формы, м;

$B$  – ширина ленты транспортёра, м.

Подставив зависимости (2), (3), (4) в неравенство (1) и выполнив сокращения, получим:

$$F_{\text{п}} \cdot v_{\text{ист}} \geq b \cdot h \cdot v. \quad (5)$$

Расчётная площадь выпускного прямоугольного отверстия бункера  $F_{\text{п}}$  без учёта комковатости навозной массы определяется по формуле:

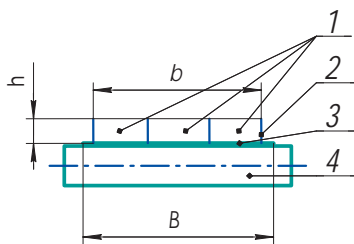


Рис. 2 – Расположение навозной массы на ленте транспортёра:

1 – брикеты; 2 – боковая стенка 12 параллелепипедной формы; 3 – лента транспортёра; 4 – крайний ролик

$$F_p = a_p \cdot b_p, \quad (6)$$

где  $a_p, b_p$  – расчётные длина и ширина выпускного отверстия загрузочного бункера, м.

При этом для обеспечения полной загрузки грузонесущей ширины ленты  $b$  устройства необходимо обеспечить выпуск навозной массы по всей длине бункера, т.е. должно иметь место следующее равенство:

$$b_p = b. \quad (7)$$

Тогда, подставив выражение (6) в (5) с учётом равенства (7) и выполнив сокращения, имеем:

$$a_p \cdot v_{ucm} \geq h \cdot v. \quad (8)$$

Перерабатываемый навоз влажностью 45–65% представляет собой насыщенную влагой, связанную массу. Содержание влаги приводит к проявлению эффекта смазки и снижению силы трения между навозом и внутренними поверхностями стенок бункера. Это позволяет принять допущение о том, что при перемещении навоза к транспортёрной ленте в бункере частично будет присутствовать гидравлическое истечение. Тогда в некотором приближении можно записать, что

$$v_{ucm} \approx \lambda \sqrt{\frac{2P}{\gamma}}, \quad (9)$$

где  $\lambda$  – коэффициент истечения (для плохосыпучих (связных) материалов  $\lambda = 0,2$  [3]);

$P$  – давление в поперечном сечении столба массы навоза; для бункеров с малой высотой  $P$  определяют по формуле [3]:

$$P = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \gamma \cdot H, \quad (10)$$

где  $\varphi$  – угол естественного откоса материала, град;  
 $H$  – высота столба навозной массы в бункере, м.

Тогда скорость истечения навозной массы приблизительно составит:

$$v_{ucm} \approx \lambda \sqrt{\frac{2(1 - \sin \varphi)}{(1 + \sin \varphi)} \cdot H}. \quad (11)$$

После подстановки выражения (11) в неравенство (8) и преобразования его имеем, что минимальная расчётная длина стенки бункера будет составлять:

$$a_{p \min} \geq \frac{h \cdot v}{\lambda \sqrt{\frac{2(1 - \sin \varphi)}{(1 + \sin \varphi)} H}}. \quad (12)$$

Исследование формулы (12) показало, что при увеличении скорости движения ленты транспортёра  $v$  и высоты параллелепипедной формы  $h$  длина стенки бункера  $a_p$  увеличивается. Не явно выражена зависимость  $a_p$  от  $H$ . Задавшись значениями показателей  $h, v, \lambda, \varphi$ , можно установить характер данной зависимости.

Исследование неравенства (12) осуществляли в среде программы Mathcad. На рисунке 3 представлена зависимость  $a_p$  от  $H$  при  $h = 0,05$  м,  $v = 0,03$  м/с,  $\lambda = 0,2$ ,  $\varphi = 45^\circ$ . Полученная зависимость носит экспоненциальный характер, уменьшение высоты столба  $H$  навозной массы приводит к увеличению длины стенки  $a_p$  выпускного отверстия бункера.

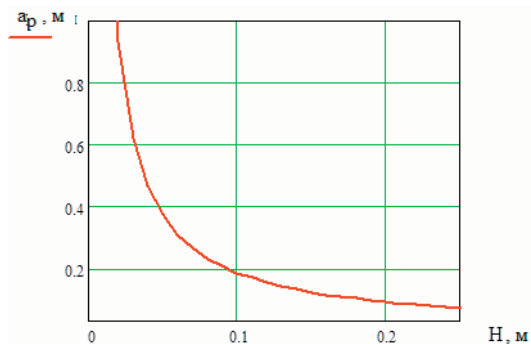


Рис. 3 – Зависимость длины стенки  $a_p$  от высоты столба навозной массы в бункере  $H$

**Вывод.** Представленное устройство позволяет использовать навоз, скапливаемый на территориях крупных животноводческих комплексов и фермерских хозяйств, в качестве твёрдого топлива для отопления различных производственных и жилых помещений. Полученная зависимость (8) требует экспериментального подтверждения, так как принятые допущения не учитывают то, что навоз склонен к сводообразованию и налипанию на металлические поверхности, поэтому позволяет лишь приблизительно установить значения некоторых конструктивных параметров выгрузного отверстия бункера. Зависимость может быть использована при разработке подобных устройств.

### Литература

1. Мурзагалиев А.К. Разработка установки для уплотнения навоза и исследование её рабочего процесса: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2000. 26 с.: ил.
2. Патент РК Устройство для формирования навозной массы / Нурписов Ж.А., Старунов А.В. Заявл. 18.06.2012. Опубл. 14.06.2013. Бюл. № 6.
3. Зенков Р.Л., Гриневич Г.П., Исаев В.С. Бункерные устройства. М.: Машиностроение, 1977. 225 с.