

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

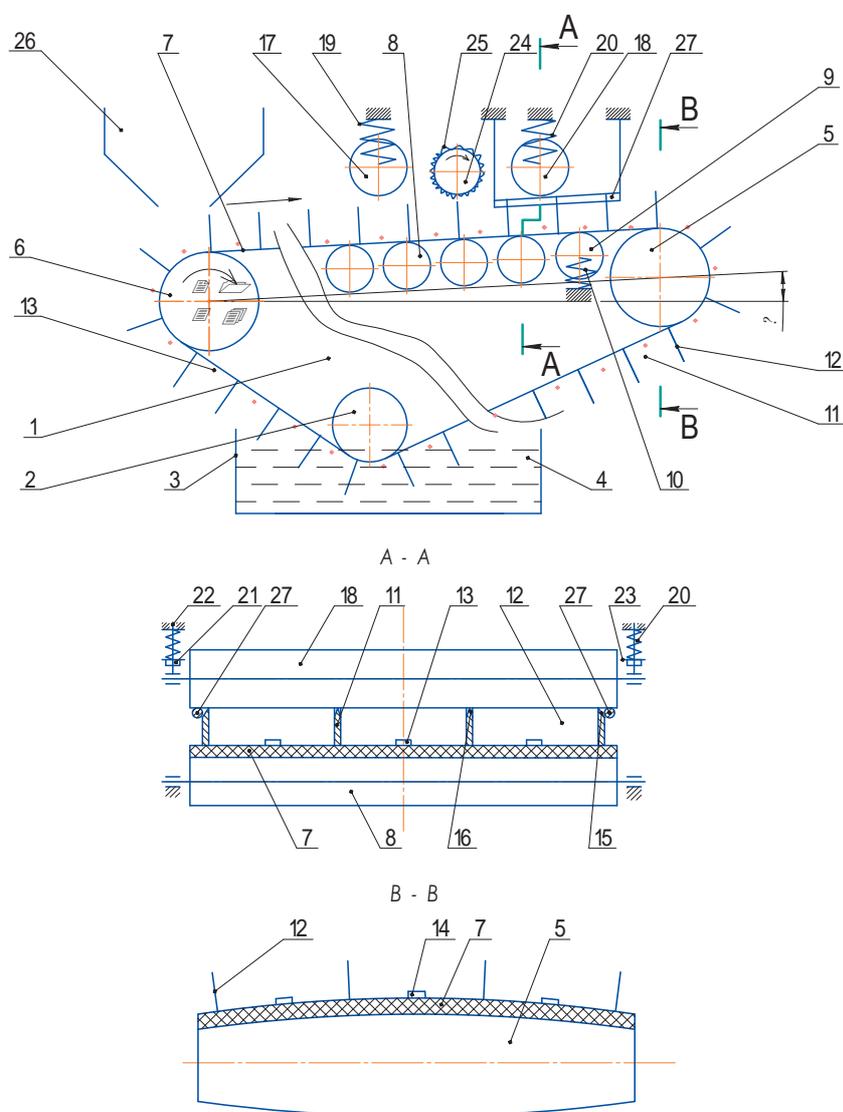


Рис. 1 – Устройство для формирования навозной массы:

- 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 валок низкого давления; 18 – прессующий валок 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, м²;

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

γ – объёмная плотность навозной массы, т/м³.

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, м²;

v – скорость движения ленты транспортёра, м/с;

γ – объёмная плотность навозной массы, т/м³.

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:

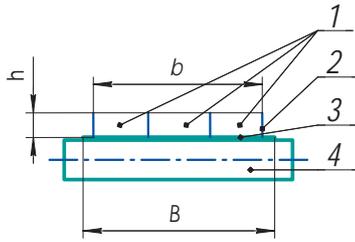


Рис. 2 – Расположение навозной массы на ленте транспортёра:
1 – брикеты; 2 – боковая стенка 12 параллелепипедной формы; 3 – лента транспортёра; 4 – крайний ролик

$$F_p = a_p \cdot b_p, \tag{6}$$

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:

$$b_p = b. \tag{7}$$

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

$$a_p \cdot v_{ucm} \geq h \cdot v. \tag{8}$$

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

$$v_{ucm} \approx \lambda \sqrt{\frac{2P}{\gamma}}, \tag{9}$$

где λ – 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]:

$$p = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \gamma \cdot H, \tag{10}$$

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

Тогда скорость истечения навозной массы приблизительно составит:

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

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

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

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, λ, φ , 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.

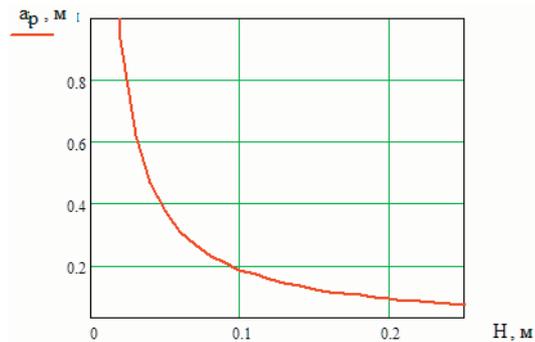


Рис. 3 – Зависимость длины стенки a_p от высоты столба навозной массы в бункере H

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.