

УДК 621.929:636(476)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОПЛА КОЖУХА МИКСЕРА ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НАВОЗА

И.М. Швед,

ст. преподаватель каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

Специфика рабочего процесса миксера для навоза, обусловленная термодинамическими факторами, приводит к целесообразности определения рациональных конструктивных параметров этой машины. В статье теоретически определена длина и внутренний диаметр выходного отверстия сопла кожуха миксера.

Ключевые слова: миксер, кожух, диаметр, производительность, скорость, поток, навоз, навозохранилище, перемешивание, сопло.

Particular characteristics of the manure mixer working process based on thermodynamic factors lead to the expediency of determining the rational design parameters of this machine. The length and inner diameter of the nozzle outlet of the mixer cover are theoretically determined in the article.

Keywords: mixer, cover, diameter, productivity, speed, flow, manure, manure storage, mixing, nozzle.

Введение

Развитие животноводства является одним из основных приоритетных направлений агропромышленного комплекса Республики Беларусь. Современное производство животноводческой продукции для обеспечения своего благоприятного экономического положения должно быстро реагировать на требования рынка сбыта продукции [1].

Государственной программой «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы сформированы четыре основные сферы деятельности:

- повышение конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции и продуктов питания;
- наращивание экспортного потенциала;
- развитие экологически безопасного сельского хозяйства, ориентированного на укрепление продовольственной безопасности страны;
- обеспечение полноценного питания и здорового образа жизни населения.

Среди основных задач программы – развитие производства органической продукции и снижение негативного воздействия химических препаратов, гормонов роста, антибиотиков на окружающую среду и здоровье людей [2].

Для осуществления поставленной задачи необходимо совершенствовать технологии содержания животных на больших комплексах и птицефабриках. Это возможно при усилении роли вопросов кормления и совершенствования процесса уборки и утилизации навоза на фермах и комплексах, что приводит к необходимости постоянной модернизации машин и, в частности, миксеров, эксплуатируемых в навозохранилищах.

Теоретическими исследованиями перемешивания жидких сред в аппаратах с мешалками лопастного и спирально-винтового типа занимались ученые А.Н. Тропин, А.Н. Губейдуллин, Д.А. Скотников, А.Н. Андреев, А.С. Москвитин и др. [3–6].

Качественное перемешивание жидкого навоза возможно при встречных потоках перемешиваемых слоев навозной массы, движущихся с разной скоростью. Немаловажную роль в перемешивании жидкого навоза играет и направленность потока навозной массы. Эти две функции возможно осуществить при помощи миксера, который при вращении мешалки перемещает струю жидкого навоза с большей скоростью и внедряет ее в хранящуюся навозную массу, которая при перемешивании движется с меньшей скоростью. Одновременно с этим в устройстве миксера заложена функция изменения угла наклона мешалки относительно вертикальной плоскости, позволяющая изменить направление движения потока навозной массы.

У мешалки, не оборудованной кожухом, отсутствует направленный поток навозной массы, и скорость движения потока жидкого навоза снижается. Установка кожуха позволяет устранить указанный недостаток.

Целью исследования является установление зависимости влияния диаметра и угловой скорости мешалки на параметры сопла кожуха, обеспечивающего повышение интенсивности перемешивания жидкого навоза.

Основная часть

Оборудование для перемешивания навоза в настоящее время является необходимостью для любого животноводческого предприятия. В процессе подготовки перед внесением навоза на поля возникает необходимость в заблаговременном его перемешивании в навозохранилище. Так, вследствие отсутствия или неправильного подбора оборудования, позволяющего быстро и качественно перемешивать навоз, наблюдается накопление осадка в навозохранилищах. Заполненное осадком навозохранилище повлечет за собой материальные затраты на решение задач по их очистке.

Основными способами перемешивания жидкого навоза в навозохранилище являются – гидравлический и механический способ.

Гидравлический способ не нашел широкого применения при перемешивании жидкого навоза, так как механизм перемешивания жидкостей в струйных аппаратах чрезвычайно сложен.

Механический способ перемешивания жидкого навоза осуществляется подвижными рабочими органами – мешалками. Конструкция мешалок способствует тому, что перемешивание навоза происходит в любых условиях, так как большинство эксплуатируемых миксеров обладают универсальностью в работе.

Тип миксеров для навоза и их количество подбираются с учетом требований, в зависимости от вида навоза и параметров навозохранилищ. Правильное применение оборудования для перемешивания навоза нацелено на снижение материальных затрат и улучшение эффективности работы ферм и комплексов в целом.

Простейшими и относительно дешевыми устройствами для перемешивания навоза в лагунах и открытых навозохранилищах являются навесные миксеры. Миксеры предназначены для перемешивания навоза в приемном резервуаре для достижения однородной консистенции, позволяющей перекачивать навоз без разрыва потока. Миксер (рис. 1), применяемый для перемешивания навоза в лагунах и открытых навозохранилищах, состоит из привода, вала, на котором закреплена лопастная мешалка [7].



Рисунок 1. Миксер для перемешивания навоза

Работает миксер следующим образом. Опустив миксер в массу жидкого навоза, включается привод, передающий вращение на вал с мешалкой, которая создает вихревые потоки жидкой фракции навоза, чем поднимает осадок со дна хранилища и затем вместе с жидкой фракцией перемешивается.

Основным недостатком применяемого миксера является то, что он не имеет кожуха, опоясывающего

мешалку. Следовательно, отсутствует направленный поток жидкого навоза, вследствие чего засохшие комки навоза, попадая в рабочую зону мешалки, отбрасываются к периферии под воздействием центробежной силы, что приводит к некачественному перемешиванию навозной массы и увеличению затрат энергии на выполняемый технологический процесс.

Чтобы устранить указанный недостаток, на миксер устанавливают кожух, опоясывающий мешалку (рис. 2).



Рисунок 2. Миксер для перемешивания навоза с установленным кожухом

Так как зазор между концом лопасти и внутренней поверхностью кожуха небольшой, то установка кожуха позволяет снизить концевые потери у мешалки, возникающие из-за уменьшения перепада давлений между всасывающей и нагнетающей поверхностью вследствие перетекания навозной массы на концах лопасти. Одновременно с этим мешалка работает в более равномерном потоке, так как скорость набегающего на нее потока навозной массы снижается из-за влияния внутренней поверхности кожуха и возрастает поток жидкого навоза, выходящего из него, что приводит к выравниванию поля скоростей на поверхности мешалки.

К недостаткам представленного на рисунке 2 миксера следует отнести снижение скорости навозной массы вследствие отрыва потока жидкого навоза от стенок на выходе из кожуха, что приводит к образованию завихрений, препятствующих продвижению струи в уплотненный осадок.

Для устранения данного недостатка, на кожух, опоясывающий мешалку миксера, устанавливают сопло (рис. 3), которое исключает отрыв потока навозной массы от стенок, позволяет увеличить скорость движения и создать стабильное ядро струи потока жидкого навоза.

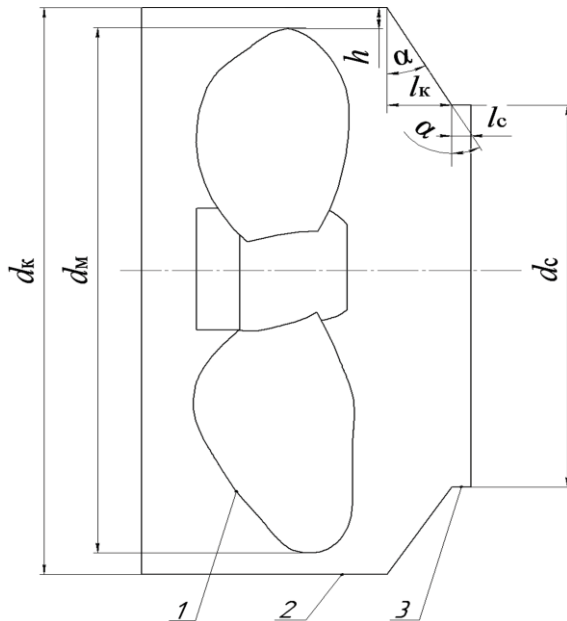


Рисунок 3. Схема для определения параметров кожуха мешалки: 1 – мешалка; 2 – кожух; 3 – сопло

Предложенная на рисунке 3 конструкция модернизированного миксера работает следующим образом. Опуская миксер в навозохранилище, мешалка 1 вместе с кожухом 2 первоначально погружается в жидкую фракцию. При этом хранящаяся навозная масса начинает поступать вовнутрь кожуха 2. Далее в работу включается мешалка 1, а так как она охвачена кожухом 2, то создается направленный, сужающийся поток жидкого навоза. Следовательно, возникает реактивная струя жидкого навоза, что обеспечивает ее перемещение в навозную массу в зависимости от ее плотности: в более жидкой скорость возрастает, а в более твердой снижается.

Одновременно с этим, при прохождении крайних кромок сопла 3, вследствие разности давлений, образуются потоки с разными скоростями движения, способствующие размыву слежавшегося осадка и качественному перемешиванию жидкой и твердой фракции навоза при снижении энергозатрат на выполняемый технологический процесс.

Формирование скоростей в жидком навозе определяется следующими факторами:

- внешними движущими силами, приложенными к навозу;
- гидродинамическим сопротивлением на неподвижных поверхностях, ограничивающий поток, уравновешивающий эти силы.

Внешние движущие силы, приложенные к навозной массе, зависят главным образом от конструктивных параметров мешалки и кожуха, в частности от диаметра и длины сопла. Для определения диаметра и длины сопла рассмотрим рисунок 3.

Диаметр сопла можно определить из начального условия, при котором производительность мешалки должна быть равна пропускной способности сопла. Иначе, при большей пропускной способности сопла, миксер будет работать не в полную загрузку, а при меньшей – будет осуществляться обратный отток навозной массы,

вследствие неспособности сопла пропустить через себя весь подающийся объем жидкого навоза.

Тогда, по условию неразрывности потока, при котором пропускная способность сопла равна производительности миксера, запишем следующее выражение:

$$S_m V_n = \mu S_c \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

где S_m – площадь рабочей поверхности мешалки, m^2 ;

V_n – скорость потока жидкого навоза, создаваемого мешалкой, m/c ;

μ – коэффициент расхода жидкости;

S_c – площадь отверстия сопла, m^2 ;

g – ускорение свободного падения, m/c^2 ;

H – напор навозной массы над отверстием сопла, м.

Скорость потока жидкого навоза, создаваемого мешалкой, будет происходить в основном в осевом направлении, так как радиально направленная скорость потока навозной массы ограничена установленным кожухом, а также тем, что в миксерах для перемешивания навоза используются пропеллерные мешалки, которые создают преимущественно осевые потоки и, как следствие, большие осевые скорости [8]. Скорость потока жидкого навоза, создаваемого мешалкой, можно определить по формуле:

$$V_n = H_m \omega \cos^2 \gamma, \quad (2)$$

где H_m – шаг установки лопастей мешалки, м;

ω – угловая скорость мешалки, c^{-1} ;

γ – угол подъема винтовой линии лопасти мешалки, град.

Шаг установки лопастей мешалки определяется из выражения:

$$H_m = \frac{\pi d_m}{n}, \quad (3)$$

где n – число лопастей мешалки, шт;

d_m – диаметр мешалки, м;

Площадь рабочей поверхности мешалки определяется по формуле [9]:

$$S_m = 0,01 n d_m^2 \left(10 n b - \pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} + \sin \alpha_k \right), \quad (4)$$

где b – коэффициент максимальной ширины лопасти в плановой проекции;

α_k – угол дуги сегмента лопасти, град.

Площадь отверстия сопла можно определить по известной формуле:

$$S_c = \frac{\pi d_c^2}{4}, \quad (5)$$

где d_c – диаметр отверстия сопла, м.

Тогда, подставив приведенные формулы в начальное условие (1), можно определить диаметр выходного отверстия сопла:

$$d_c = 0,2 d_m \cos \gamma \times \sqrt{\frac{d_m \omega \left(10 n b - \pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} + \sin \alpha_k \right)}{\mu \sqrt{2gH}}}. \quad (6)$$

При монтаже кожуха на мешалку, необходимо проверить зазоры между внутренней стенкой кожуха и кромкой лопасти мешалки, а также между мешалкой и соплом. В первом случае они не должны превышать $h = 0,04d_m$ [10]. Тогда диаметр кожуха, опоясывающего мешалку, определится по формуле:

$$d_k = d_m + 2h = 1,08d_m, \quad (7)$$

где h – зазор между кромкой лопасти и внутренней стенкой кожуха, м.

Зазор между мешалкой и соплом из рисунка 3 можно определить по выражению:

$$l_k \geq \frac{(d_k - d_c)}{2 \operatorname{ctg} \alpha}, \quad (8)$$

где α – угол наклона образующей конической поверхности кожуха к поверхности сопла, град.

Подставив формулы (6) и (7) в выражение (8), определим зазор между мешалкой и соплом:

$$l_k \geq \frac{d_m}{2 \operatorname{ctg} \alpha} \times \left(1,08 - 0,2 \cos \gamma \sqrt{\frac{d_m \omega \left(10\pi b - \pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} + \sin \alpha_k \right)}{\mu \sqrt{2gH}}} \right). \quad (9)$$

Проведя образующую конической поверхности (рис. 3) до пересечения с выходной кромкой сопла, определим длину сопла:

$$l_c = \frac{d_c}{2 \operatorname{ctg} \alpha} = \frac{0,1d_m \cos \gamma}{\operatorname{ctg} \alpha} \times \sqrt{\frac{d_m \omega \left(10\pi b - \pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} + \sin \alpha_k \right)}{\mu \sqrt{2gH}}}. \quad (10)$$

Анализ формулы (10) показывает, что длина сопла зависит от конструктивных параметров мешалки и кожуха, ее опоясывающего.

Заключение

Таким образом, установив в миксере конусообразный кожух, опоясывающий мешалку, исключается отрыв потока навозной массы от его стенок, что позволяет увеличить скорость движения и создать стабильное ядро струи жидкого навоза, необходимое для разрушения уплотненного осадка. Предложенная конструкция миксера позволит повысить эффективность эксплуатируемого оборудования.

Полученные формулы (6) и (10) позволяют определить конструктивные параметры сопла кожуха. Анализ формул (6) и (10) указывает на пропорциональную зависимость длины и диаметра сопла от диаметра и угловой скорости мешалки. При увеличении диаметра и угловой скорости мешалки увеличивается производитель-

ность миксера, а, следовательно, чтобы получить пропускную способность сопла, соответствующую данной производительности миксера, необходимо увеличить диаметр выходного отверстия сопла кожуха. Формула (6) позволяет определить рациональный диаметр выходного отверстия сопла кожуха, при котором будет наблюдаться устойчивое ядро струи жидкого навоза, позволяющее осуществлять более интенсивное перемешивание хранящейся навозной массы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шацкий, В.В. Моделирование механизированных процессов приготовления кормов / В.В. Шацкий. – Запорожье: Х-ПРЕСС, 1998. – 140 с.
2. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг.: пост. Совета Министров Республики Беларусь, 1 февраля 2021 г., № 59. – Минск, 2021. – 115 с.
3. Тропин, А.Н. Повышение эффективности работы самотечной системы удаления навоза путем оптимизации ее конструктивных и технологических параметров: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.Н. Тропин. – Санкт-Петербург – Павловск, 2011. – 20 с.
4. Москвитин, А.С. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений / А.С. Москвитин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1979. – 430 с., ил.
5. Скотников, Д.А. Совершенствование технологии и оптимизация параметров смесителя для приготовления субстрата при производстве биогаза: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Д.А. Скотников. – Саратов, 2003. – 20 с.
6. Андреев, А.Н. Течение неньютоновской жидкости в шнековом прессе / А.Н. Андреев // НИУ ИТМО. Процессы и аппараты пищевых производств. – 2013. – №1 (15). – С. 7-14.
7. Официальный Интернет-портал Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/46515808-Oborudovanie-dlya-peremeshivaniya-navoza-miksery-dlya-navoza.html>. – Дата доступа: 25.02.2021.
8. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк; под ред. И.А. Щупляка. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.
9. Швед, И.М. Определение производительности миксера при перемешивании жидкого навоза в навозохранилище / И.М. Швед // Агропанорама. – Минск, 2019. – № 5. – С. 30-34.
10. Иванов, О.П. Аэродинамика и вентиляторы / О.П. Иванов, В.О. Мамченко. – Л.: Машиностроение, 1986. – 280 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.03.2021