

ки (включена или заблокирована) при трогании и в движении при выбранном предварительном натяжении РАГ для тракторов «БЕЛАРУС 1802»; «БЕЛАРУС 2102»; «БЕЛАРУС 2103», соответственно, составили 37,15 кН; 44,41 кН; 52,51 кН.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коробкин, В.А. Гусеничный трактор общего назначения «БЕЛАРУС 1802» / В.А. Коробкин // Международный аграрный журнал. – 2001. – № 9. – С. 46-48.

2. Бойков, В.П. Опыт создания гусеничного трактора «БЕЛАРУС 1802» / В.П. Бойков, Ч.И. Жданович, В.А. Коробкин // Автотракторный факультет на грани столетий: сб. докладов / Под ред. Н.М. Капустина. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – С. 9.

3. Коробкин, В.А. Первый отечественный гусеничный трактор «БЕЛАРУС» / В.А. Коробкин, В.К. Папка // Белорусское сельское хозяйство. – 2006. – № 8. – С. 10-12.

4. Жданович, Ч.И. Определение характеристик подвески гусеничного трактора / Ч.И. Жданович, В.Н. Плищ // Вестник БНТУ. – 2008. – № 4. – С. 60-64.

5. Платонов, В.Ф. Динамика и надежность гусе-

ничного двигателя / В.Ф. Платонов. – М.: Машиностроение, 1973. – 232 с.

6. Теория и конструкция танка: в 10 т. / редкол.: П.П. Исаков (гл. ред.) [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982–1990. – Т. 6: Вопросы проектирования ходовой части военных гусеничных машин / Б.А. Абрамов [и др.]. – 1985. – 244 с.

7. Антонов, А.С. Теория гусеничного двигателя / А.С. Антонов. – М.: Машгиз, 1949. – 214 с.

8. Федоткин, Р.С. Расчетно-экспериментальные методы оценки нагруженности и долговечности резиноармированных гусениц сельскохозяйственных тракторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Р.С. Федоткин; ОАО «Научно-исслед. институт стали». – М., 2015. – 24 с.

9. Гусеничные транспортеры – тягачи / В.Ф. Платонов [и др.]; под ред. В.Ф. Платонова. – М.: Машиностроение, 1978. – 351 с.

10. Бажуков, А.Е. Расчет параметров ходовой части гусеничной машины / А.Е. Бажуков, С.И. Худорожков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского гос. политехнического ун-та. – Санкт-Петербург: Машиностроение. – 2015. – № 4 (231). – С. 189-195.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.11.2021

УДК 621.929:636(476)

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ МЕШАЛКИ МИКСЕРА НА МОЩНОСТЬ СТРУИ ЖИДКОГО НАВОЗА

И.М. Швед,

ст. преподаватель каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

Размыв осадка в навозохранилище осуществляется под слоем жидкой фракции навоза, что может быть сравнимо с подводным гидрорыхлением грунтов, которое осуществляется затопленной струей. Для того чтобы осуществить размыв осадка, необходимо приложить определенное силовое воздействие струи жидкого навоза на уплотненный осадок. Степень этого воздействия можно оценить мощностью струи, внедряемой в осадок при его размыве. В статье приведены результаты теоретических исследований по определению мощности струи потока жидкого навоза, необходимой для размыва осадка.

Ключевые слова: миксер, кожух, диаметр, мощность, скорость струи, сила струи, поток, навоз, перемешивание, сопло.

Sludge washout in the manure storage is carried out under a layer of liq-uid manure fraction, which can be compared with underwater hydraulic loos-ening of soils, carried out by a flooded jet. In order to carry out the sludge washout, it is necessary to apply a certain force effect of a stream of liquid ma-nure on the compacted sludge. the degree of this effect can be estimated by the jet power introduced into the sediment during its washout. The article presents the results of theoretical studies to determine the power of the jet stream of liq-uid manure necessary for the washout of sediment.

Key words: mixer, casing, diameter, capacity, jet speed, jet force, flow, manure, mixing, nozzle.

Введение

В 2021 году постановлением Совета Министров Республики Беларусь утверждена государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы.

Среди основных задач программы – развитие производства органической продукции и снижение негативного воздействия химических препаратов, гормонов роста, антибиотиков на окружающую среду и здоровье людей [1].

Поставленную задачу в животноводческой отрасли можно осуществить постоянной модернизацией эксплуатируемого оборудования, а также внедрением в производство новых или усовершенствованных технологий и технических средств, которые позволят рационально использовать материальные, трудовые и другие ресурсы.

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 при помощи стационарного или навешиваемого на трактор миксера. 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.

Для полной очистки навозохранилища необходимо в первую очередь осуществить размыв осадка и далее перемешать всю хранящуюся массу во всем ее объеме до однородного состояния. Чтобы увеличить скорость движения жидкого навоза и создать стабильное ядро струи, на миксер устанавливают кожух с коническим соплом.

Установка сопла позволяет, увеличив скорость потока жидкого навоза, создать струю с большей ударной силой, что приведет к увеличению длины участка размыва осадка. При движении струи во всем объеме хранящейся навозной массы изменению подвергаются такие параметры, как скорость потока и мощность потока жидкого навоза, осуществляющего размыв осадка.

Исследованиями, проводимыми с гидравлическими струями, истекающими из насадков в среду жидкости, занимались ученые А.Я. Милович, Г.Н. Абрамович, В.М. Коновалов, В.Я. Чичасов, Л.С. Котоусов и др. [2-5].

Л.С. Котоусов установил, что при истечении из сужающихся насадков, напор и мощность струи жидкости превышает начальные параметры в 4-5 раз [4], что также применимо и для эксплуатируемых в навозохранилище миксеров.

Установка кожуха с коническим соплом на миксер позволяет увеличить мощность струи. Однако, перемещаясь в жидкой фракции навоза, она постепенно теряет свою структуру и ударную силу.

Целью данного исследования является установление зависимости конструктивно-кинематических параметров миксера на мощность струи потока жидкого навоза, необходимую для размыва уплотненного осадка.

Основная часть

Рассмотрим струю жидкого навоза, истекающую из сопла (рис. 1).

Максимальная плотность струи наблюдается на выходе из сопла. При этом пропорционально плотности струи изменяется и площадь ее сечения [3].

Выделяют четыре участка течения струи:
– компактный участок, когда скорость жидкой фракции навоза равна скорости истечения ее из сопла;

– переходной участок, когда начинается торможение струи потока жидкого навоза, за счет трения движущейся жидкой фракции навоза о неподвижную хранящуюся навозную массу. На данном участке скорость жидкой фракции навоза в сохранившемся ядре струи будет равна скорости истечения из сопла;

– участок установившегося движения потока, когда происходит расширение струи жидкой фракции навоза и ее перемешивание с увлекаемыми во вращательное движение частицами навоза, хранящегося в навозохранилище;

– концевой участок, когда струя жидкой фракции навоза распадается, так как ее скорость движения стремится к нулю.

Размыв осадка осуществляется участком струи жидкой фракции навоза с установившимся движением потока навозной массы.

При механическом способе перемешивания жидкого навоза, когда перемешивание осуществляется механическими рабочими органами, в навозохранилище образуется пространственное турбулентное течение. Для выполнения инженерных расчетов описать математически такое течение весьма трудно. Поэтому используются упрощенными моделями перемешивания жидких сред, при которых малые скорости потока жидкости, не оказывающие большого влияния на технологический процесс перемешивания среды, обычно не учитываются [4; 6-8].

При осуществлении рабочего процесса перемешивания навозной массы миксером в погруженном в нее состоянии происходит увеличение радиуса разброса струи, а, следовательно, мощность потока

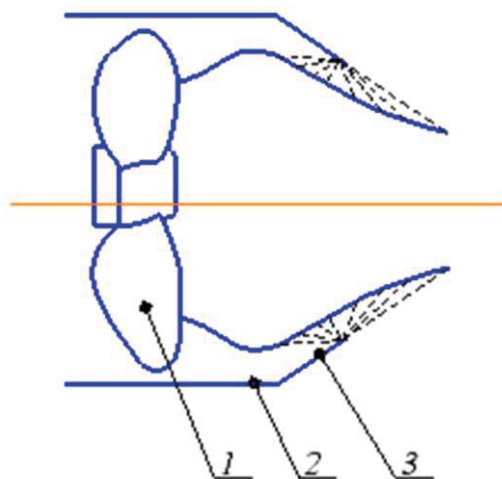


Рисунок 1. Схема формирования струи, истекающей из конического сопла:
1 – мешалка; 2 – кожух; 3 – сопло

струи жидкого навоза уменьшается. Мощность потока струи жидкого навоза в общем виде можно определить по известной формуле:

$$N = F_c v_o, \quad (1)$$

где F_c – сила давления струи на участок размыва осадка навоза, Н;

v_o – осевая скорость потока жидкого навоза на участке размыва осадка, м/с.

В случае перемешивания жидкого навоза в придонной области навозохранилища перемешивающий эффект создается вращательным движением жидкости от мешалки, установленной в кожух. При этом во вращательное движение вовлекается небольшой объем навозной массы вблизи рабочей зоны мешалки, формирующей осевые и окружные скорости потока жидкого навоза. В этом случае окружное течение жидкой фракции навоза не играет заметной роли в процессе размыва осадка. Процесс размыва осадка осуществляется в основном осевой составляющей скорости потока жидкого навоза.

На основании опытов со струями, А.Я. Милович [9] установил, что осевая скорость струи на участке размыва осадка изменяется вдоль струи по гиперболической зависимости

$$v_o = \varphi \frac{v_{стр} d_{стр}}{l}, \quad (2)$$

где φ – опытный коэффициент;

$v_{стр}$ – скорость струи в начальном ее сечении, м/с;

$d_{стр}$ – диаметр струи в начальном сечении, м;

l – расстояние от сопла кожуха до участка размыва, м.

Размыв осадка навоза начинают осуществлять с поверхности струи. Ядро струи в процессе работы находится на некотором расстоянии от нее. По мере размыва ядро струи перемещается вглубь осадка. Чем больше скорость потока навозной массы, тем глубже струя жидкого навоза внедряется в уплотненный осадок. При этом наблюдается искривление струи потока навозной массы, что приводит к необходимости изменять угол наклона сопла кожуха мешалки. По мере размыва осадка ширина размыва увеличивается к его нижнему уровню из-за расширения струи жидкого навоза. На поверхности размыва происходит наплыв небольшой массы навоза.

Сила давления струи на участок размыва осадка навоза определяется по формуле [10]:

$$F_c = \frac{\gamma}{g} Q v_n \sin \alpha, \quad (3)$$

где γ – удельный вес навозной массы, Н/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

Q – расход навозной массы, выходящей из кожуха, м³/с;

v_n – скорость истечения навозной массы в сжатом сечении струи, м/с;

α – угол атаки струи на осадок навоза, град.

Частицы навоза, перемещаемые движущей силой от вращающейся мешалки и приближающиеся к отвер-

стию сопла по радиальным направлениям, по инерции стремятся сохранить свое движение. Приближаясь к отверстию, они огибают его край, что приводит к сжатию струи. Тогда расход навозной массы, выходящей из кожуха, будет равен пропускной способности сопла и может быть определен из выражения:

$$Q = \varepsilon S_o v_n, \quad (4)$$

где ε – коэффициент сжатия струи, равный отношению площади сжатого сечения струи к площади отверстия сопла;

S_o – площадь выходного отверстия в сопле, м².

Жидкий навоз представляет собой многокомпонентную среду. Вязкость ньютоновских жидкостей меняется при разной температуре, а также давлении, и не остается величиной постоянной, а изменяется в зависимости от скорости деформаций сдвига [11].

Распределение компонентов фракций жидкого навоза, как правило, носит случайный характер и является изменяющейся величиной во времени. Так, при концентрации сухого вещества в навозной массе менее 8 %, жидкий навоз является ньютоновской жидкостью, сточные воды представляют собой ньютоновскую псевдопластичную жидкость, а после-спиртовая барда в диапазоне температур от 35° С до 60° С проявляет ньютоновские свойства [12].

Расход жидкого навоза в хранилище происходит при движении навозной массы по замкнутому контуру, при этом в процессе работы миксера жидкая фракция навоза, влажность которой составляет 98 %, внедряется в уплотненный осадок в виде затопленной струи, истекающей из сопла кожуха.

Скорость истечения навозной массы в сжатом сечении струи определяется по формуле [13]:

$$v_n = \mu \sqrt{2gH}, \quad (5)$$

где μ – коэффициент расхода жидкости;

H – напор навозной массы, м.

Преобразуем выражение определения площади выходного отверстия в сопле S_o через его диаметр и подставим формулу (5) в выражение (4). Тогда с учетом преобразований выражение (4) примет вид:

$$Q = \frac{1}{4} \pi \varepsilon \mu d_c^2 \sqrt{2gH}, \quad (6)$$

где d_c – диаметр выходного отверстия сопла, м.

Подставив выражения (5) и (6) в формулу (3), определим силу давления струи на участок размыва осадка навоза:

$$F_c = 0,5 \varepsilon \gamma \pi d_c^2 \mu^2 H \sin \alpha. \quad (7)$$

Из формулы (7) видно, что для увеличения силы давления струи на участок размыва осадка необходимо увеличивать диаметр выходного отверстия сопла или размещать миксер вблизи осадка навоза, что будет приводить к увеличению напора навозной массы.

В процессе размыва осадка, мощность потока струи жидкого навоза будет изменяться с изменением силы давления струи на участок размыва и осевой скорости потока жидкого навоза на рассматриваемом участке размыва. При этом осевая скорость потока

жидкого навоза на участке размыва осадка (т.е. на расстоянии l от сопла кожуха), как видно из формулы (2), будет изменяться с изменением скорости струи в начальном ее сечении. Скорость струи в начальном ее сечении $V_{стр}$ будет равна скорости истечения навозной массы в сжатом сечении струи $V_{н}$. Учитывая, что $d_{стр}^2 = \varepsilon d_c^2$, то подставив формулу (5) в зависимость (2), преобразуем ее. Тогда осевая скорость потока жидкого навоза на участке размыва осадка определится из выражения:

$$v_o = \varphi \mu d_c \frac{\sqrt{2\varepsilon g H}}{l}. \quad (8)$$

Диаметр выходного отверстия сопла определяется по выражению [14]:

$$d_c = 0,2 d_m \cos \gamma_1 \times \sqrt{\frac{d_m \omega \left(10\pi b - \pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} + \sin \alpha_k \right)}{\mu \sqrt{2gH}}}, \quad (9)$$

где d_m – диаметр мешалки, м;
 γ_1 – угол подъема винтовой линии лопасти мешалки, град;

ω – угловая скорость мешалки, с⁻¹;

b – коэффициент максимальной ширины лопасти в плановой проекции;

α_k – угол дуги сегмента лопасти, град.

Заменим в формуле (7) удельный вес γ навозной массы через ее плотность ρ , и подставив выражение (9) в формулы (7) и (8), преобразуем их. Формула (7) для определения силы давления струи на участок размыва осадка навоза примет вид:

$$F_c = 0,01 \varepsilon \mu \rho \omega d_m^3 \sin \alpha \cos^2 \gamma_1 \times \left(10\pi b - \pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} + \sin \alpha_k \right) \sqrt{gH}. \quad (10)$$

Формула (8) для определения осевой скорости потока жидкого навоза на участке размыва осадка примет вид:

$$V_o = 0,2 \frac{\varphi d_m}{l} \cos \gamma_1 \times \sqrt{\varepsilon \mu \omega d_m \left(10\pi b - \pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} + \sin \alpha_k \right) \sqrt{2gH}}. \quad (11)$$

Для упрощения формулы (11) введем выражение (коэффициент, характеризующий кривизну лопасти мешалки):

$$k = 10\pi b - \pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} + \sin \alpha_k. \quad (12)$$

Тогда, подставив полученные выражения (10), (11) и (12) в начальную формулу (1), определим мощность потока струи жидкого навоза:

$$N = 2 \cdot 10^{-3} \frac{k \varepsilon \mu \rho \omega d_m^4}{l} \sin \alpha \cos^3 \gamma_1 \times \sqrt{k \varepsilon \mu \omega d_m \sqrt{2g^3 H^3}}. \quad (13)$$

Из формулы (13) видно, чтобы повысить мощность потока струи жидкого навоза, в процессе размыва осадка нужно увеличивать диаметр и угловую скорость мешалки или уменьшать расстояние от сопла кожуха до участка размыва.

В соответствии с приведенной формулой (13) в дальнейшем будут произведены поисковые исследования для определения мощности потока струи жидкого навоза. Вместе с тем приведенные фундаментальные исследования раскрывают суть вопроса по определению мощности потока струи жидкого навоза.

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что применение конусообразного сопла на кожухе миксера позволяет создать стабильное ядро струи, приводящее к увеличению напора и мощности потока жидкого навоза, необходимого для размыва уплотненного осадка.

Анализ формулы (13) показал, что мощность потока струи жидкого навоза зависит от угла подъема винтовой линии лопасти, диаметра и угловой скорости мешалки. Увеличение диаметра и угловой скорости мешалки приводит к повышению мощности струи потока жидкого навоза.

Из анализа формул (10) и (13) видно, что задавая геометрические размеры мешалки и расстояние от сопла кожуха, можно определить силу давления и мощность струи на участок размыва осадка навоза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь. – Введ. 01.02.2021. – Минск, 2021. – № 59. – 115 с.
2. Абрамович, Г.Н. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 720 с.
3. Гималтдинов, И.К. Расчет теплофизических и кинетических параметров затопленной струи / И.К. Гималтдинов, С.Р. Кильдибаева, Р.З. Ахмадеева // Фундаментальные исследования. – Стерлитамак, 2013. – № 11. – Ч. 7. – С. 1323-1327.
4. Котоусов, Л.С. Исследование скорости водяных струй / Л.С. Котоусов // Журнал технической физики. – Санкт-Петербург, 2005. – № 9 (75). – С. 8-14.
5. Маликов, З.М. Асимптотика затопленной струи и процессы переноса в ней / З.М. Маликов, А.Л. Стасенко // Труды МФТИ. Аэрогидромеханика. – Москва, 2013. – № 2 (5). – С. 59-68.

6. Попкович, Г.С. Система аэрации сточных вод / Г.С. Попкович, Б.Н. Репин. – М.: Стройиздат, 1986. – 133 с.

7. Андреев, Е.И. Основы естественной энергетики / Е.И. Андреев. – СПб: Невская жемчужина, 2004. – 592 с.

8. Краснов, В.Г. Свободнопоточные гидросило-вые установки / В.Г. Краснов // Инновации и инвестиции. – Москва, 2015. – № 3. – С. 128-130.

9. Милович, А.Я. Вихревая теория направляюще-го аппарата и камеры турбины / А.Я. Милович. – М.: Типография Русского Товарищества, 1912. – 62 с.

10. Артемьева, Т.В. Гидравлика, гидромашин и гидропневмопривод / Т.В. Артемьева, Т.М. Лысенко, А.Н. Румянцева, С.П. Стесин. – 2-е изд. – М.: Академия, 2006. – 336 с.

11. Матвеев, А.Н. Механика и теория относительности: учеб. для студентов вузов / А.Н. Матвеев.

– 3-е изд. – М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век», 2003. – 432 с., ил.

12. Караева, Ю.В. Оценка динамической вязкости субстратов, используемых для получения биогаза / Ю.В. Караева, И.А. Трахунова // Технические науки – от теории к практике: материалы XXV междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2013. – № 8 (21). – С. 84-90.

13. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической технологии / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган. – М.: Химия, 1967. – 848 с.

14. Швед, И.М. Определение параметров сопла кожуха миксера для перемешивания навоза / И.М. Швед // Агропанорама. – Минск, 2021. – № 2 (144). – С. 10-13.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.09.2021

УДК 331.451

АНАЛИЗ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТРУДА В КАБИНАХ МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В КАБИНЕ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС 82.1»

А.А. Пинчук,

аспирант каф. управления охраной труда БГАТУ

Г.И. Белохвостов,

доцент каф. управления охраной труда БГАТУ, канд. техн. наук

В.Г. Андруш,

зав. каф. управления охраной труда БГАТУ, канд. техн. наук

В статье рассматривается влияние микроклиматических условий на организм оператора мобильной сельскохозяйственной техники в процессе его трудовой деятельности. Проанализированы параметры микроклимата, в частности, температура и скорость движения воздуха в кабине трактора «БЕЛАРУС 82.1» согласно методике определения характеристик систем обогрева и микроклимата на рабочем месте оператора.

Ключевые слова: охрана труда, микроклимат, температура, скорость воздуха, оператор мобильной сельскохозяйственной техники, кабина, тепловой баланс.

The article examines the influence of microclimatic conditions on the organism of an operator of mobile agricultural machinery in the process of his labor activity. The microclimate parameters are analyzed, in particular, the temperature and air velocity in the «BELARUS 82.1» tractor cab according to the method for determining the characteristics of heating systems and microclimate at the operator's workplace.

Key words: labor protection, microclimate, temperature, air speed, operator of mobile agricultural machinery, cabin, heat balance.

Введение

Технический прогресс в любой отрасли экономики приводит к возрастанию роли «человеческого фактора» в управлении техническим средством, которое уже нельзя рассматривать изолированно от оператора.

Обеспечение нормальных микроклиматических условий на рабочем месте является необходимым критерием эффективной производственной деятельности

работника в процессе его трудовой деятельности. При благоприятных сочетаниях параметров микроклимата человек испытывает состояние теплового комфорта, что является важным условием предупреждения заболеваний и высокой производительности труда.

С развитием науки и техники достигнуты определенные успехи в вопросах создания искусственного микроклимата. Для обеспечения благоприятного мик-