

3. Нормы кормления крупного рогатого скота: справочник / Н.А. Попков [и др.]. – Жодино: РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», 2011. – 260 с.
4. Повышение продуктивного действия кормов при интенсивном производстве говядины / В.А. Люндышев [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2016. – 408 с.

5. Люндышев, В.А. Минеральные добавки в кормлении молодняка крупного рогатого скота / В.А. Люндышев. – Минск: БГАТУ, 2013. – 208 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.07.2019

УДК 621.929:636(476)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МИКСЕРА ПРИ ПЕРЕМЕШИВАНИИ ЖИДКОГО НАВОЗА В НАВОЗОХРАНИЛИЩЕ

И.М. Швед,

ст. преподаватель каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

Во время хранения жидкий навоз необходимо перемешивать. Основным оборудованием, применяемым для перемешивания жидкого навоза в навозохранилищах, являются миксеры. В статье теоретически обоснована зависимость производительности миксера для навоза от угла подъема винтовой линии лопасти, диаметра и угловой скорости мешалки.

Ключевые слова: миксер, лопасть, диаметр, скорость, навоз, навозохранилище, перемешивание, площадь, производительность.

During storage, liquid manure must be mixed. The main equipment used for mixing slurry in manure depots is mixers. The article theoretically justifies the dependence of the performance of the manure mixer on the angle of elevation of blade helix, the diameter and angular velocity of the mixer.

Keywords: mixer, blade, diameter, speed, manure, manure storage, mixing, area, productivity.

Введение

Теоретическими исследованиями по определению производительности в аппаратах с мешалками лопастного и спирально-винтового типа занимались ученые А.Н. Тропин, Д.А. Скотников, А.Н. Андреев и другие [1-3].

А.Н. Тропин определил зависимость для определения расхода навозной массы по перепаду давления при движении по горизонтальному дну в канале прямоугольного сечения [1]:

$$Q = \frac{\tau h^2}{6\eta} \left[\left(\frac{\tau_0}{\tau_{\max}} \right)^2 - 3 \left(\frac{\tau_0}{\tau_{\max}} \right) + 2 \right], \quad (1)$$

где τ – касательное напряжение сдвига, Па;

h – высота слоя сечения потока навоза, м;

τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па;

τ_{\max} – максимальное касательное напряжение сдвига, Па.

Формула (1) применима при перемешивании жидких сред с учетом сопротивления, которое испытывает рабочий орган при обтекании его потоком перемешиваемого материала, но не учитывает количество лопастей на мешалке, кривизну лопасти и высоту расположения установки в резервуаре.

Цель работы – определение производительности миксера при перемешивании жидкого навоза в навозохранилище.

Основная часть

Распределение данных компонентов фракций, 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 неньютоновскую псевдопластичную жидкость, а послеспиртовая барда в диапазоне температур от 35°C до 60°C проявляет ньютоновские свойства [4].

Производительность миксера определяется по формуле [5]:

$$Q_c = v S_m, \quad (2)$$

где v – осевая скорость движения жидкого навоза, м/с;

S_m – рабочая площадь мешалки при подаче массы жидкого навоза лопастями, м².

При хранении навоз расслаивается, что приводит к получению массы с разной плотностью. Навозохранилище с каждым циклом наполнения и откачки уменьшается, и через некоторое время полностью займется более плотными составляющими навоза. Это происходит из-за того, что откачать насосом слежавшийся илистый осадок невозможно по причине его высокой плотности (более 1200 кг/м³) [5]. Так, на дне хранилища плотность навоза будет больше, чем на верхних уровнях, а это, в свою очередь, будет увеличивать нагрузку на мешалку. Одновременно с этим перемешивание осуществляется по

наибольшей длине, так как мешалка устанавливается вблизи стенки навозохранилища. При вращении мешалки и образовании струи, на некотором удалении от нее происходит рассеивание энергии скоростного напора, создаваемого лопастями мешалки, в радиальном направлении, что значительно уменьшает энергию затопленной струи жидкости.

Высота размещения мешалки в навозохранилище h_m будет оказывать непосредственное влияние на производительность миксера, так как ее работа в более плотных придонных слоях будет негативно сказываться на производительности оборудования в сторону уменьшения. Интенсифицировать процесс перемешивания жидкого навоза, а именно увеличить производительность при неизменном числе оборотов мешалки можно, перемещая миксер в верхние слои навозной массы, где будет снижено сопротивление мешалки, либо уменьшая уровень жидкого навоза в навозохранилище. Для осуществления процесса перемешивания жидкого навоза, в навозохранилищах предусмотрено перемещение миксера по стойке в вертикальной плоскости.

Поэтому при определении производительности миксера будет справедливо учесть уровень заполнения хранилища жидким навозом и высоту размещения миксера в процессе работы и ввести в выражение (2) поправочный коэффициент заполнения хранилища навозной массой.

Коэффициент заполнения хранилища определится по формуле:

$$k = \frac{h_m}{H}, \quad (3)$$

где h_m – высота размещения мешалки в навозохранилище, м;

H – уровень жидкого навоза в навозохранилище, м.

Тогда производительность миксера с учетом коэффициента заполнения хранилища определится по формуле:

$$Q_c = kvS_m. \quad (4)$$

Масса жидкого навоза движется в продольном направлении с осевой скоростью, которая определяется по формуле:

$$v = S\omega_m \cos^2 \gamma_1, \quad (5)$$

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

γ_1 – угол подъема винтовой линии лопасти мешалки, град.;

S – шаг установки лопастей мешалки определяется по формуле:

$$S = \frac{\pi d_m}{n}, \quad (6)$$

где d_m – диаметр мешалки, м;

n – число лопастей на мешалке, шт.

Подставив в формулу (5) выражение определения шага установки лопастей мешалки (6), преобразуем формулу по определению осевой скорости движения жидкого навоза:

$$v = \frac{\pi d_m \omega_m}{n} \cos^2 \gamma_1. \quad (7)$$

На основании формул для определения диаметра и угла подъема винтовой линии лопасти мешалки [6] получены их рациональные значения: угол подъема винтовой линии лопасти равен 32° , диаметр мешалки равен 542 мм.

Длина активного участка струи потока жидкого навоза определяется по формуле [9]:

$$l_{ca} = \frac{0,59}{a_c} r_m, \quad (8)$$

где a_c – коэффициент, характеризующий влияние турбулентности струи ($a_c \approx 0,07 - 0,08$) [10];

r_m – радиус мешалки, м.

Расчет полученного выражения (8) показал, что при диаметре мешалки миксера, равном 542 мм, длина активного участка струи равна 2,28 м, при которой минимальное время размыва осадка составляет 41 мин. [11].

Зная значения таких параметров миксера, как угол подъема винтовой линии лопасти, диаметр и угловую скорость мешалки, а также определив ее рабочую площадь, можно выразить производительность миксера.

Рабочая площадь мешалки определяется по формуле:

$$S_m = nS_n, \quad (9)$$

где S_n – площадь лопасти, m^2 .

Лопасть, установленная на мешалке, приблизительно представляет собой форму эллипса. При этом следует вычесть сегмент лопасти, при закреплении ее на ступице мешалки. Для определения площади лопасти выполним расчетную схему (рис. 1).

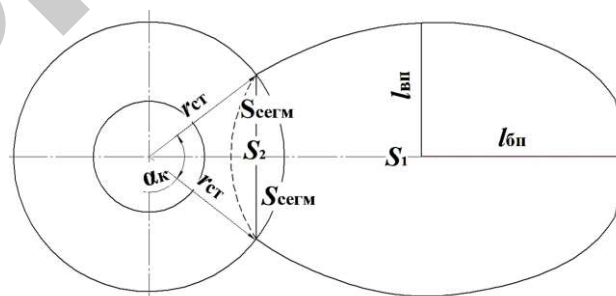


Рис. 1. Расчетная схема для определения площади лопасти

Длина верхней полуоси лопасти равна половине ее ширины [12]:

$$l_{вп} = 0,5B = 0,5bd_m, \quad (10)$$

где B – ширина лопасти, м;

b – коэффициент максимальной ширины лопасти в плановой проекции.

Длина боковой полуоси лопасти равна половине разности радиусов мешалки r_m и ступицы $r_{ст}$, диаметр которой обычно не превышает одной пятой части диаметра мешалки [13]:

$$l_{он} = 0,5(0,5d_m - 0,1d_m) = 0,2d_m. \quad (11)$$

Тогда площадь лопасти определится по формуле:

$$S_1 = \pi l_{\text{вп}} l_{\text{бп}} = 0,1\pi b d_m^2. \quad (12)$$

Площадь вычитающей части лопасти определится по формуле:

$$S_2 = 2S_{\text{сегм}} = 0,01d_m^2 \left(\pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} - \sin \alpha_k \right), \quad (13)$$

где $S_{\text{сегм}}$ – площадь вычитающего сегмента лопасти, м^2 ;

α_k – угол дуги сегмента, град.

Площадь лопасти определим из выражения:

$$S_{\text{л}} = S_1 - S_2 = 0,01d_m^2 \left(10\pi b - \pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} + \sin \alpha_k \right). \quad (14)$$

Тогда, подставив формулу (14) в выражение (9), определим рабочую площадь мешалки:

$$S_m = 0,01nd_m^2 \left(10\pi b - \pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} + \sin \alpha_k \right). \quad (15)$$

Выражение (4) для определения производительности миксера, подставив полученные формулы (3), (7) и (15), запишем в следующем виде:

$$Q_c = \frac{0,01\pi h_m \omega_m d_m^3 \cos^2 \gamma_1}{H} \times \left(10\pi b - \pi \frac{\alpha_k}{180^\circ} + \sin \alpha_k \right). \quad (16)$$

Произведем расчет полученной формулы (16), для чего подставим значения угла подъема винтовой линии лопасти, диаметра и угловой скорости мешалки ($d_m = 542$ мм, $\gamma_1 = 32^\circ$, $\omega_m = 36,63 \text{ с}^{-1}$). Так как основная нагрузка на мешалке происходит в придонной области, то для полностью заполненного навозохранилища высотой 5 м и высоты размещения мешалки $h_m = 1,5$ м (предварительно производим размыв осадка навоза, высота которого достигает 0,2...1,5 м [14]) производительность миксера составляет $1793 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Полученное уравнение (16) по определению производительности миксера позволило провести теоретические исследования и определить мощность, затрачиваемую на перемешивание жидкого навоза [14], которые установили значение затрат мощности на описываемый процесс. Мощность, затрачиваемая на перемешивание жидкого навоза, равна 5,3 кВт, при этом диаметр мешалки равен 542 мм, угловая скорость мешалки составляет $36,63 \text{ с}^{-1}$ и угол подъема винтовой линии лопасти мешалки равен 32° .

Для проверки проведенных теоретических исследований и положений по определению рациональных параметров конструкции мешалки миксера с целью получения однородной смеси жидкого навоза и снижения энергоемкости процесса, были проведены экспериментальные исследования [8]. Обработка полученных экспериментальных данных (с применением аппарата математической статистики) позволила получить уравнения регрессии:

– для определения коэффициента неоднородности жидкого навоза:

$$y_1 = 13,594 - 1,388x_1 - 1,778x_2 - 1,094x_3 + 1,108x_1^2 + 1,617x_2^2 + 1,167x_3^2 + 1,532x_1x_2 + 1,363x_1x_3 + 2,074x_2x_3; \quad (17)$$

– для определения энергоемкости процесса перемешивания жидкого навоза:

$$y_2 = 5,432 + 3,22x_1 + 1,588x_2 + 1,028x_3 + 0,829x_1^2 + 0,519x_2^2 + 0,388x_1x_2. \quad (18)$$

На основании анализа полученных уравнений регрессии (17) и (18) подтверждена достоверность теоретических исследований и получены рациональные значения параметров мешалки, при которых осуществляется перемешивание навозной массы с минимальными энергозатратами. Коэффициент неоднородности жидкого навоза находится в пределах 14,9-19,4 %. Удельная энергоемкость процесса перемешивания жидкого навоза составляет $2,82\text{-}5,46 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$.

При использовании миксера в навозохранилище, объемом 3000 м^3 с модернизированной пропеллерной мешалкой, с указанными параметрами, накопления навоза на лопастях мешалки не наблюдалось. Показатель однородности жидкого навоза составил 86,7 %, степень однородности жидкого навоза по сравнению с базовым вариантом увеличилась на 2,7 %.

В ходе проведения экспериментальных исследований также определялись значения потребной мощности, затрачиваемой на перемешивание навоза с влажностью 88-92 %, по выходным данным которых построены графики зависимости (рис. 2) потребной мощности на перемешивание жидкого навоза от исследуемых параметров (угла подъема винтовой линии лопасти, диаметра и числа оборотов мешалки).

Анализ полученных зависимостей (рис. 2) показал, что изменение диаметра мешалки в пределах 560-650 мм и угла подъема винтовой линии мешалки в пределах $36\text{-}40^\circ$ приводит к увеличению энергозатрат при числе оборотов мешалки более 350 мин^{-1} от 4,5 до 8,0 кВт. Производительность миксера в ходе проведения экспериментальных исследований составляла не менее $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$, что незначительно отличается от расчетной.

Заключение

Расчет полученных аналитических зависимостей позволил определить рациональные параметры мешалки: угол подъема винтовой линии лопасти равен 32° , диаметр мешалки равен 542 мм. С указанными параметрами длина активного участка струи потока жидкого навоза равна 2,28 м, а минимальное время размыва осадка составляет 41 мин., минимальная затрачиваемая мощность на процесс перемешивания жидкого навоза равна 5,3 кВт, а производительность миксера равна $1793 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Изменение диаметра мешалки в пределах

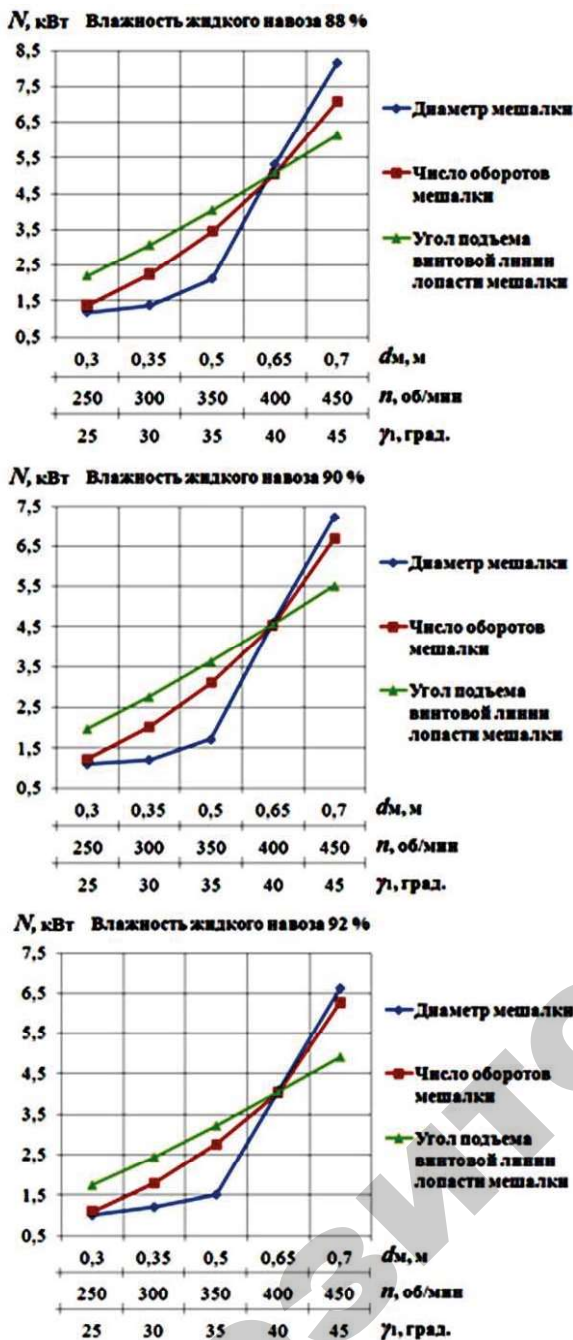


Рис. 2. Зависимость потребляемой мощности на перемешивание навоза от исследуемых параметров миксера

560-650 мм и угла подъема винтовой линии мешалки в пределах 36-40° приводит к увеличению энергозатрат при числе оборотов мешалки более 350 мин⁻¹ от 4,5 до 8,0 кВт. Удельная энергоёмкость процесса перемешивания жидкого навоза составляет 5,0-17,0 кВт·ч/м³.

Для осуществления процесса перемешивания жидкого навоза с минимальной энергоёмкостью целесообразно принять диаметр мешалки – 550 мм, угол подъема винтовой линии лопасти – 36° и число оборотов мешалки – 350 мин⁻¹, при которых происходит

самоочистка фронтальных поверхностей лопастей. При данных параметрах удельная энергоёмкость процесса перемешивания жидкого навоза составляет 2,82-5,46 кВт·ч/м³.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Скотников, Д.А. Совершенствование технологии и оптимизация параметров смесителя для приготовления субстрата при производстве биогумуса: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / Д.А. Скотников. – Саратов, 2003. – 20 с.
3. Андреев, А.Н. Течение неньютоновской жидкости в шнековом прессе / А.Н. Андреев / НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2013. – №1 (15). – С. 7-14.
4. Караева, Ю.В. Оценка динамической вязкости субстратов, используемых для получения биогаза / Ю.В. Караева, И.А. Трахунова // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XXV междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2013. – № 8 (21). – С. 84-90.
5. Ворожцов, О.В. Обоснование технологических и конструкционных параметров перемешивающего устройства, обеспечивающего гомогенизацию жидкого свиного навоза при его хранении в пленочных навозохранилищах: дис... канд. техн. наук./ О.В. Ворожцов – Санкт-Петербург, 2018. – 195 с.: ил.
6. Швед, И.М. Определение диаметра и угла подъема лопасти мешалки / И.М. Швед [и др.] // Вестник НАН Беларуси. – Минск, 2014. – № 3. – С. 92-97.
7. Васильев, В.А. Справочник по органическим удобрениям / В.А. Васильев, Н.В. Филиппова; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 255 с.
8. Китун, А.В. Исследования параметров при перемешивании жидкого навоза миксером / А.В. Китун, И.М. Швед // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – Горки: БГСХА. – 2018. – № 4. – С. 144-147.
9. Китун, А.В. Влияние длины струи на производительность миксера для навоза / А.В. Китун, И.М. Швед // Исследования, результаты: научный журнал / Казахский национальный аграрный университет. – Алматы, 2019. – № 1. – С. 246-256.
10. Повх, И.Л. Техническая гидромеханика / И.Л. Повх. – Л.: Машиностроение, 1976. – 504 с.
11. Швед, И.М. Определение времени размыва осадка в навозохранилище / И. М. Швед // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 16-19.
12. Беляев, В.М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли: учеб. пос. / В.М. Беляев, В.М. Миронов. – Томск: Томский политехнический ун-т, 2009. – 288 с.

13. Ворожцов, О.В. Повышение эффективности перемешивания жидкого навоза в пленочных навозохранилищах – лагунах / О.В. Ворожцов // Вестник Псковского государственного университета. Серия: технические науки. – Псков: ГУ, 2012. – № 1. – С. 186-189.

14. Швед, И.М. Определение мощности, затрачиваемой на перемешивание жидкого навоза / И.М. Швед // Агропанорама. – 2018. – № 5. – С. 26-32.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 05.08.2019

УДК 334.01

БЕССУБСТРАТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ОВОЩЕЙ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОВОЩЕВОДСТВА

И.А. Контровская,

доцент каф. учета, анализа и аудита БГАТУ, канд. с-х. наук, доцент

О.Г. Гануш,

студентка 4 курса БГАТУ

В статье представлено совершенствование малообъемной технологии производства овощей закрытого грунта в полиэтиленовых рукавах технологической системы и рассчитан ее экономический эффект. Представленная технология позволит получить снижение затрат на приобретение минеральной ваты, экономию минеральных удобрений, поливной воды, энергетических затрат, а также избежать экологических проблем, связанных с утилизацией отработанных матов минеральной ваты и потерей питательных элементов с дренажем.

Ключевые слова: овощеводство, закрытый грунт, бессубстратная технология, себестоимость, экономия, рентабельность.

The improvement of low-volume technology of the production of greenhouse vegetables in polyethylene sleeves of the technological system is presented in the article. Its economic effect is calculated. The technology will allow to reduce costs for the purchase of mineral wool, save mineral fertilizers, irrigation water, energy costs and avoid environmental problems associated with the disposal of waste mineral wool mats and the loss of nutrients through drainage.

Keywords: vegetable growing, indoors, tank farming, prime cost, cost-effectiveness, profitability.

Введение

Современное тепличное овощеводство, как самая интенсивная отрасль растениеводства, является крупным потребителем природных ресурсов и может успешно функционировать при условии выработки и внедрения не только рентабельных, но и экологически обоснованных технологических моделей производственных процессов. При совершенствовании используемых в этой отрасли технологий принципиально важно придать им экологическую направленность в соответствии с особенностями развития научно-технического прогресса, специализации и концентрации производства, оптимизировать соотношение объемов полученной сельскохозяйственной продукции с объемом использованных природных ресурсов и степенью воздействия на окружающую среду.

Тепличные культуры весьма требовательны к условиям произрастания, так как в культивационных сооружениях растения развиваются очень интенсивно, с урожаем выносят большое количество питательных веществ, по сравнению с культурами открытого грунта, а также имеют довольно длительный период вегетации, непропорционально развитую кор-

невую и надземную части, так как относительно слабо развита корневая система тепличных растений должна обеспечить полноценное развитие мощной надземной части [1].

В условиях защищенного грунта, где основные микроклиматические параметры автоматизированы, на передний план выступают проблемы создания корнеобитаемой среды, отвечающей требованиям произрастания растений и позволяющей регулировать их минеральное питание [2].

Создание оптимальных условий питания растений требует значительных затрат на приобретение минеральных удобрений. При этом масштабный объем их использования создает экологическую нагрузку за счет формирования дренажных стоков, содержащих в значительных количествах растворимые соли.

Расход минеральных удобрений и формирование дренажного стока при малообъемном выращивании тепличных овощей существенно влияют на интенсивность загрязнения окружающей среды и во многом определяются происхождением и свойствами субстрата [3].

Таким образом, изыскание путей экономии импортных минеральных удобрений в тепличном ово-