

УДК 621.929:636(476)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ, ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЖИДКОГО НАВОЗА

И.М. Швед,

ст. преподаватель каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

*Перевод животноводства на промышленную основу выявил ряд проблем. Основными из них являются: оптимальный размер комплексов, соответствующий объему кормопроизводства; утилизация отходов, влияющая на объем капитальных вложений; воздействие на окружающую среду, а, следовательно, и на многие социальные, экономические и экологические аспекты. Во время хранения жидкий навоз необходимо перемешивать. Основным оборудованием, применяемым для перемешивания жидкого навоза в навозохранилищах, являются миксеры. Анализ существующих миксеров установил, что до настоящего времени ни у нас в стране, ни за рубежом нет обоснования их рациональных параметров и режимов работы. В статье рассматривается вопрос по определению мощности, затрачиваемой на перемешивание жидкого навоза в навозохранилищах.*

*Ключевые слова:* миксер, лопасть, мешалка, перемешивание, мощность, навоз, навозохранилище.

*The transfer of livestock to the industrial base has revealed a number of problems. The main of them are: the optimal size of the complexes corresponding to the volume of fodder production; waste utilization affecting the volume of capital investments; impact on the environment and therefore on many social, economic and environmental aspects. During storage liquid manure must be mixed. The main equipment used to mix liquid manure in manure stores are mixers. The analysis of existing mixers has established that up to the present time neither in our country nor abroad there is a substantiation of their rational parameters and operating modes. The article deals with the issue of determining the power used for mixing liquid manure in manure stores.*

*Key words:* mixer, vane, agitator, mixing, power, manure, manure storage.

### Введение

Проблема переработки и утилизации навозных стоков животных сельскохозяйственных предприятий Беларуси существует давно. Ежегодно требуется очистить и переработать около 70 млн т отходов, в том числе на свиноводческих комплексах – около 5 млн т.

Большинство действующих животноводческих комплексов страны введено в эксплуатацию 25-30 лет назад. Их системы очистки отходов давно устарели и не соответствуют современным экологическим нормам. По приблизительной оценке, почти 30 % всех отечественных птицефабрик не имеют системы очистки пометных стоков. Анаэробная переработка навозных стоков и помета в навозохранилищах позволяет очищать их без привлечения внешних источников энергии. [1-3].

При накоплении и хранении жидкого навоза требуются большие емкости для его хранения. Естественной энергии земли вполне достаточно, чтобы противостоять высоким и низким температурным перепадам внешней среды и стабильно поддерживать режим консервации навозной массы на протяжении всего года, этому способствует и пористость коркового слоя [4-6].

Главной причиной ограниченного применения цехов по переработке жидкого навоза в Республике Беларусь являются большие энергозатраты на технологические нужды оборудования. Основные энергозатраты возникают в емкости, где хранится навозная

масса, так как перед подачей в цеха по переработке ее необходимо перемешать до однородного состояния.

Основным оборудованием, применяемым для перемешивания жидкого навоза в навозохранилищах, являются миксеры.

Анализ известных конструкций миксеров установил, что до настоящего времени отсутствуют обоснования рациональных параметров их рабочих органов и режимов работы. Поэтому поиск решений этих задач, обеспечивающих снижение эксплуатационных расходов и энергозатрат на технологический процесс перемешивания жидкого навоза и повышение степени однородности перемешивания перед его дальнейшим использованием, является актуальным.

Цель работы – определение мощности, затрачиваемой миксером на перемешивание жидкого навоза.

### Основная часть

Миксеры предназначены для перемешивания жидкого навоза в навозохранилище для достижения однородной консистенции. Это позволяет сохранить необходимый для роста растений азот. Основным рабочим органом в миксере является мешалка.

Выбор и сравнительная характеристика различных мешалок обусловлены целью перемешивания, объемом аппарата, физико-химическими свойствами компонентов системы, нормами технологического процесса и экономическими показателями. Анализ известных видов мешалок показал, что для переме-

шивания навоза применяются преимущественно лопастные или винтовые мешалки.

Лопастные мешалки состоят из двух или более лопастей прямоугольного сечения, закрепленных на вращающемся валу. К лопастным мешалкам относят также якорные, рамные и листовые мешалки. Основные достоинства лопастных мешалок – простота устройства и невысокая стоимость.

К недостаткам лопастных мешалок следует отнести невозможность перемешивания жидких сред с большой вязкостью, а также создания малых осевых скоростей, что приводит к снижению способности миксера к разрушению уплотненных слоев навозной массы [7].

Винтовые и трехлопастные мешалки выполняют в форме лопастей, изогнутыми по профилю гребного винта или установленные наклонно к плоскости вращения. К достоинствам винтовых мешалок следует отнести меньшую потребляемую мощность, чем у мешалок других типов, а также высокую скорость вращения. Винтовые мешалки создают преимущественно осевые потоки и, как следствие, большие осевые скорости, что является необходимым условием для разрушения уплотненной массы жидкого навоза и выполнения его гомогенизации в больших объемах [7].

Данные виды мешалок применяются на различного вида миксерах, используемых в навозохранилищах. Миксеры, применяемые для перемешивания жидкого навоза, бывают наклонные и погружные.

Наклонный миксер (рис. 1) разработан для работы в агрессивных условиях внутри навозохранилища. Рабочим органом миксера является двухлопастная и трехлопастная мешалка. Сам миксер монтируется с внешней стороны стены хранилища. Миксер поддерживается при помощи двух верхних реек, либо опционально на реечной передаче, что позволяет устанавливать любой угол наклона [6, 8].

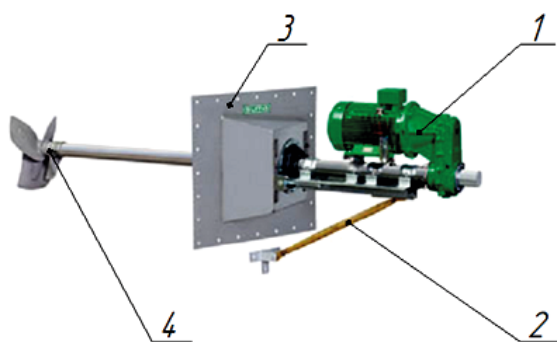


Рис. 1. Наклонный миксер:  
1 – электродвигатель; 2 – механизм поворота миксера; 3 – кронштейн крепления к стенке хранилища; 4 – трехлопастная мешалка

Существенным недостатком такого миксера является то, что затруднено перемешивание бродильной массы на большой высоте навозохранилища вследствие небольших скоростей потока навозной массы.

Погружной миксер (рис. 2), применяемый для перемешивания жидкого навоза, состоит из электропривода, вала, на котором закреплена мешалка.

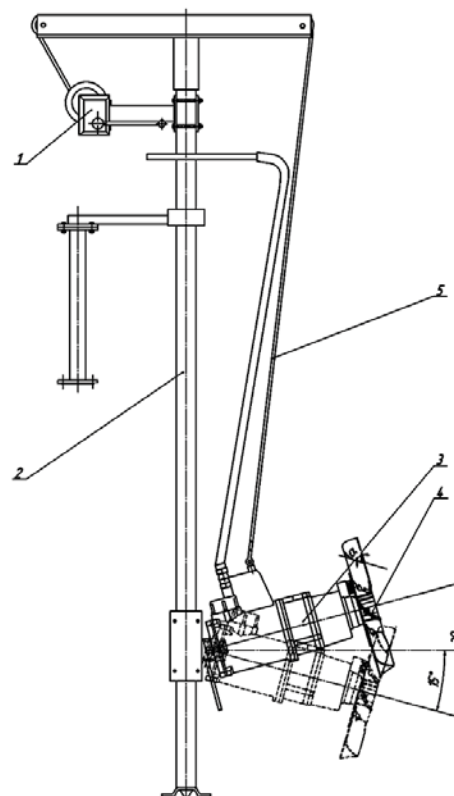


Рис. 2. Миксер для перемешивания жидкого навоза:  
1 – лебедка; 2 – стойка; 3 – миксер; 4 – мешалка;  
5 – трос

Миксер устанавливается на стойку с помощью крепления двигателя для регулировки высоты устройства. Благодаря роликовым направляющим, миксер может плавно погружаться и подниматься, что дает возможность проводить процесс перемешивания жидкого навоза на верхних уровнях навозохранилища. На конце вала миксера установлена двухлопастная или трехлопастная мешалка.

Недостатком миксера является то, что с увеличением диаметра навозохранилища снижается его перемешивающая способность в периферийных зонах, вследствие снижения скорости потока навозной массы, что требует установки дополнительных миксеров. Так, при диаметре хранилища свыше 15 м необходимо устанавливать не менее двух миксеров, а при диаметре навозохранилища 30 м устанавливаются 3 миксера, что увеличивает энергоемкость процесса перемешивания жидкого навоза [9, 10].

Работает миксер следующим образом. При погружении миксера в массу жидкого навоза, включается электропривод, передающий вращение на вал с мешалкой, которая создает вихревые потоки навозной массы, перемешивая ее до однородного состояния. Чтобы перемешать навозную массу на разных уровнях,

в процессе работы миксер поворачивают относительно вертикальной плоскости при помощи лебедки.

В процессе перемешивания жидкого навоза в навозохранилище миксером образовывается турбулентный режим, что приводит к увеличению мощности, затрачиваемой на перемешивание жидкого навоза в навозохранилище, которую можно определить по формуле:

$$N_d = N_1 + N_2, \quad (1)$$

где  $N_1$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления лопастей мешалки миксера в среде навозной массы, Вт;

$N_2$  – мощность, затрачиваемая на перемещение навозной массы лопастями мешалки миксера, Вт.

Мощность  $N_1$  определим в общем виде по формуле:

$$N_1 = N_m + N_{xx}, \quad (2)$$

где  $N_m$  – мощность, затрачиваемая на привод миксера, Вт;

$N_{xx}$  – мощность, затрачиваемая на холостой ход миксера, Вт.

Мощность, затрачиваемую на привод миксера, можно определить по формуле [11, 12]:

$$N_m = M\omega, \quad (3)$$

где  $M$  – момент сопротивления при движении рабочего органа в массе жидкого навоза, Н·м;

$\omega$  – частота вращения мешалки, с<sup>-1</sup>.

Формула потребной мощности на привод мешалки была бы справедлива при условии работы миксера стационарно на одном месте, что неприменимо в нашем случае, так как для разрушения донных илистых отложений и поверхностной корки миксер перемещают вверх и вниз вертикально по стойке, на которой он закреплен. При этом при перемещении вниз, нагрузка на мешалку миксера будет увеличена, так как давление жидкого навоза на верхнем уровне расположения миксера меньше, чем на нижнем, потому что на работу мешалки будет влиять давление хранящейся навозной массы. Поэтому в предложенную формулу потребной мощности на привод мешалки введем поправочный коэффициент погружения миксера  $k_{п}$ . За время хранения жидкого навоза уровень донного илистого осадка достигает 20-25 %, а поверхностной корки – 10-15 % общей глубины навозохранилища [1]. Для разрушения верхнего и нижнего слоев жидкого навоза миксер располагают в среднем слое с жидкой фракцией.

Тогда формула по определению потребной мощности на привод мешалки миксера примет вид:

$$N_m = k_{п} M\omega. \quad (4)$$

Момент сопротивления при движении рабочего органа в массе жидкого навоза можно определить из выражения:

$$M = Fk_{л} z, \quad (5)$$

где  $F$  – сила, приложенная лопастями мешалки на массу жидкого навоза, Н;

$k_{л}$  – расстояние от оси вращения вала до геометрического центра лопастей мешалки миксера ( $k=r/2$ ), м;

$z$  – число лопастей на мешалке, шт.

Сила, приложенная лопастями мешалки на массу жидкого навоза, будет определяться разностью силы, затраченной на движение жидкости мешалкой  $F_{дв}$ , и силы трения жидкости о поверхность лопастей мешалки  $F_{тр}$ , т.е

$$F = F_{дв} - F_{тр}. \quad (6)$$

При работе миксера лопасти мешалки воздействуют на массу жидкого навоза. Силу, затраченную на движение жидкости мешалкой, можно определить с учетом геометрических параметров мешалки, а также физико-механических свойств жидкого навоза, в общем виде по формуле:

$$F_{дв} = m\omega^2 r + mg, \quad (7)$$

где  $m$  – масса жидкого навоза, захватываемая мешалкой, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$r$  – радиус мешалки миксера, м.

Силу трения частиц жидкости о поверхность лопасти мешалки можно определить по формуле:

$$F_{тр} = fF_{дв}, \quad (8)$$

где  $f$  – коэффициент трения жидкого навоза о поверхность лопасти мешалки.

Преобразуем формулу (6) полученными выражениями (7) и (8), тогда сила, приложенная лопастями мешалки на массу жидкого навоза, определится из выражения:

$$F = (1 - f)(m\omega^2 r + mg). \quad (9)$$

Подставив полученное выражение (9) в формулу (5), определим момент сопротивления при движении рабочего органа в среде жидкого навоза:

$$M = (1 - f)(m\omega^2 r + mg)k_{л} z. \quad (10)$$

Преобразуем начальную формулу (4) для определения мощности, затрачиваемой на привод миксера, выразив  $M$  полученным выражением (10). Тогда, с учетом формулы (10),  $N_m$  можно определить из следующего выражения:

$$N_m = (1 - f)(m\omega^2 r + mg)k_{л}k_{п}z\omega. \quad (11)$$

Мощность, затрачиваемая на холостой ход миксера, как правило, не превышает 30 % от потребной мощности на привод мешалки  $N_m$ , поэтому принимаем  $N_{xx} = 0,3 N_m$ . Тогда уравнение (2) примет вид:

$$N_1 = 1,3 N_m. \quad (12)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления лопастей мешалки миксера в навозной массе, определяется из выражения:

$$N_1 = 1,3(1-f)(m\omega^2 r + mg)k_{\Pi}k_{\Gamma}z\omega. \quad (13)$$

Мешалка миксера расположена, как правило, в вертикальной плоскости. Рассмотрим движение крайней точки  $A$  частицы жидкого навоза (рис. 3, а), находящейся в начальный момент в положении  $A_0$  по плоскости.

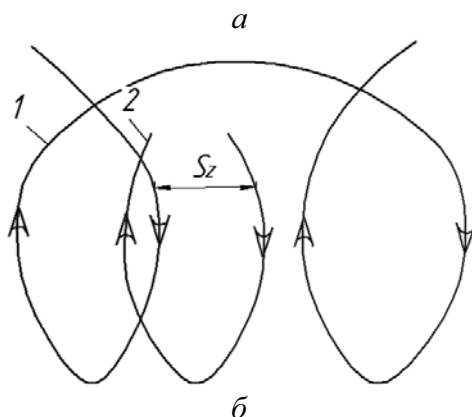
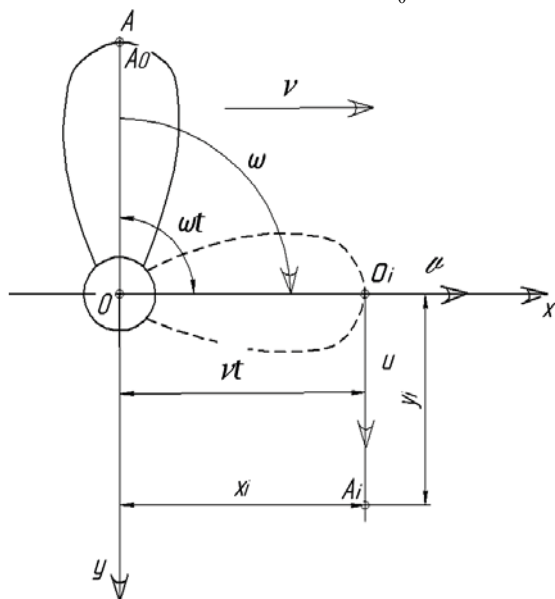


Рис. 3. Траектория движения частицы жидкого навоза при перемешивании: а – схема к определению уравнений движения; б – траектория движения частицы жидкого навоза при перемешивании

Через некоторое время  $t$  частица жидкого навоза переместится в положение  $O_i$ , пройдя путь  $vt$ . При этом лопасть мешалки повернется на угол  $\omega t$ , где  $v$  – поступательная скорость частицы жидкого навоза, м/с. В результате точка  $A$  переместится из положения  $A_0$  в  $A_i$  и ее координаты будут определяться уравнениями:

$$x_i = vt \pm r \cos(\omega t); y_i = r \sin(\omega t). \quad (14)$$

Уравнения (14) определяют траекторию абсолютного движения точки  $A$  в параметрической форме. Эта траектория представляет собой циклоиду. Геометрическая форма циклоиды зависит от показателя кинематического режима:

$$\lambda = \frac{u}{v}, \quad (15)$$

где  $u$  – окружная скорость точки  $A$ , м/с. Приняв  $\omega t = \varphi$ ,  $u = \omega r$ , получим:

$$t = \frac{\varphi}{\omega}, \text{ или } t = \frac{\varphi r}{u}. \quad (16)$$

Подставив в уравнения (14) вместо  $t$  и  $\omega t$  выражения  $\frac{\varphi r}{u}$  и  $\varphi$  и заменив  $\frac{u}{v}$  через  $\lambda$ , координаты перемещения частицы навоза по лопасти будут определяться уравнениями:

$$x_i = r \left( \frac{\varphi}{\lambda} \pm \cos \varphi \right); y_i = r \sin \varphi. \quad (17)$$

При вращении мешалки значение  $\lambda > 1$  и траектория частицы жидкости имеет форму удлиненной циклоиды (рис. 3, б). Так как на удалении от внешних кромок лопастей мешалки окружная скорость постепенно затухает, поступательная скорость на некотором расстоянии  $x_i$  будет расти за счет движущей (толкающей) силы, создаваемой мешалкой.

Величина подачи жидкого навоза мешалкой прямо пропорциональна поступательной скорости  $v$ : чем больше поступательная скорость, тем больше и подача. На мешалке закрепляются две лопасти и более, следовательно, одноименные частицы жидкого навоза, захватываемые другими лопастями, описывают одинаковые циклоиды, но смещенные вперед по ходу движения частицы жидкого навоза. Так, если частица жидкого навоза описывает траекторию 1 (рис. 3, б), то траектория 2 последующей частицы жидкого навоза будет смещена в горизонтальной плоскости на величину  $S_z$ , называемой подачей:

$$S_z = vt_z, \quad (18)$$

где  $t_z$  – время, за которое последующая лопасть мешалки в относительном движении займет положение предыдущей, т.е. повернется на угол, равный центральному углу между ними, с.

Чем больше лопастей на мешалке, тем меньше это время, следовательно:

$$t_z = \frac{t_{об}}{z}, \quad (19)$$

где  $t_{об}$  – время, за которое мешалка повернется на один оборот, с.

Время одного оборота можно определить по формуле:

$$t_{об} = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (20)$$

Тогда время, за которое последующая лопасть мешалки займет положение предыдущей, определится из выражения:

$$t_z = \frac{2\pi}{\omega z}. \quad (21)$$

Подставив выражение (21) в формулу (18), получим:

$$S_z = \frac{2\pi v}{\omega z}. \quad (22)$$

Поступательная скорость частицы жидкого навоза определяется по формуле:

$$v = \sqrt{u^2 + v^2}, \quad (23)$$

где  $v$  – осевая скорость жидкого навоза, м/с;  
 $u$  – окружная скорость жидкого навоза, м/с.

Осевая скорость частицы жидкого навоза определяется по формуле:

$$v = H\omega \cos^2 \delta, \quad (24)$$

где  $H$  – шаг установки лопастей мешалки, м;  
 $\delta$  – угол подъема винтовой линии лопастей мешалки, град.

Шаг установки лопастей определяется из выражения:

$$H = \frac{\pi d}{z}, \quad (25)$$

где  $d$  – диаметр мешалки миксера, м;  
 $z$  – количество лопастей мешалки, шт.

Преобразуем выражение (24) и подставим в формулу (23) и выразим  $u = \omega r$ . Тогда поступательная скорость частицы субстрата определится по формуле:

$$v = \omega r \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 \cos^4 \delta}{z^2}}. \quad (26)$$

Преобразуем формулу определения подачи (22), заменив  $v$  выражением (26). Тогда с учетом формулы (26) подачу можно определить из следующего выражения:

$$S_z = \frac{2\pi r}{z} \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 \cos^4 \delta}{z^2}} \quad \text{или} \quad S_z = \frac{l_z}{z} \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 \cos^4 \delta}{z^2}}, \quad (27)$$

где  $l_z$  – длина окружности, описываемой лопастью мешалки, м.

В процессе перемешивания мешалка миксера всасывает навозную массу в направлении ее оси вращения. Динамическое давление миксера составляет основную долю полного напора.

Лопасть мешалки (рис. 4) с радиусами  $r_1$  на входе и  $r_2$  на выходе сообщает частице жидкого навоза необходимую абсолютную скорость  $v_a$ , направленную под углом  $\beta$  к радиусу вектору  $r$  (ОА).

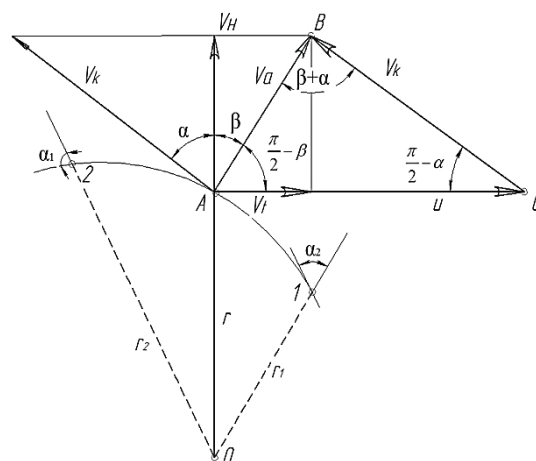


Рис. 4. Схема криволинейной лопасти миксера

Теоретическое давление, создаваемое мешалкой миксера, выражают уравнением Эйлера [14]:

$$P_T = \frac{N_2}{Q_M} = \rho (u_2 v_{t2} - u_1 v_{t1}), \quad (28)$$

где  $N_2$  – мощность, затрачиваемая на перемещение жидкого навоза лопастями мешалки миксера, Вт;  
 $Q_M$  – производительность миксера, м<sup>3</sup>/с;  
 $\rho$  – плотность жидкого навоза, кг/м<sup>3</sup>;  
 $u_1$  и  $u_2$  – окружные скорости точек начала и конца лопасти соответственно, м/с;

$v_{t1}$  и  $v_{t2}$  – проекции абсолютной скорости частицы жидкого навоза на направления, перпендикулярные к радиусам-векторам, соединяющим ось вращения с началом и концом лопасти.

Заменим в уравнении (28)  $v_{t1}$  и  $v_{t2}$  на окружные скорости  $u_1$  и  $u_2$ . Для точки A:

$$v_t = u - v_k \sin \alpha = u \left( 1 - \frac{v_k}{u \sin \alpha} \right), \quad (29)$$

где  $v_k$  – скорость, направленная по касательной к точке A, м/с;

$\alpha$  – угол, образованный между направляющими скоростей  $v_k$  и  $v_n$ , град.

Из треугольника ABC следует, что  $\frac{v_k}{u} = \frac{\cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$ . Тогда, подставив значения в предыдущее выражение, получим

$$v_t = u \left( 1 - \frac{\sin \alpha \cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \right) \quad \text{или} \quad v_t = u \frac{\sin \beta \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}. \quad (30)$$

Определим  $v_{t1}$  и  $v_{t2}$  для точек 1 и 2 соответственно:

$$v_{t1} = u_1 \frac{\sin \beta_1 \cos \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \beta_1)} \quad \text{и} \quad v_{t2} = u_2 \frac{\sin \beta_2 \cos \alpha_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)}. \quad (31)$$

Подставим полученные выражения в уравнение Л. Эйлера. Тогда теоретическое давление определится из выражения:

$$P_T = \rho u_2^2 \left[ \frac{\sin \beta_2 \cos \alpha_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} - \frac{u_1^2 \sin \beta_1 \cos \alpha_1}{u_2^2 \sin(\alpha_1 + \beta_1)} \right]. \quad (32)$$

Заменим  $u_1$  на  $\omega r_1$  и  $u_2$  на  $\omega r_2$ . Тогда выражение (32) примет следующий вид:

$$P_T = \rho \omega^2 r_2^2 \left[ \frac{\sin \beta_2 \cos \alpha_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} - \frac{r_1^2 \sin \beta_1 \cos \alpha_1}{r_2^2 \sin(\alpha_1 + \beta_1)} \right]. \quad (33)$$

Из условия неразрывности потока жидкого навоза производительность миксера определится по формуле [15]:

$$Q_M = k v_{H2} S, \quad (34)$$

где  $k$  – коэффициент заполнения навозохранилища;

$S$  – рабочая площадь мешалки при подаче массы жидкого навоза лопастями, м<sup>2</sup>;

Заменим  $v_{H2}$  выражением:

$$v_{H2} = \frac{v_{t2}}{tg \beta_2} = \omega r_2 \frac{\cos \alpha_2 \cos \beta_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)}. \quad (35)$$

Заменим  $v_{H2}$  выражением (35). Тогда из условия неразрывности потока в точке 2 можно преобразовать формулу (34):

$$Q_M = k S \omega r_2 \frac{\cos \alpha_2 \cos \beta_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)}. \quad (36)$$

Подставив выражения (36) и (33) в формулу (28), определим затраты мощности на перемещение массы жидкого навоза миксером:

$$N_2 = k S \rho \omega^3 r_2^3 \frac{\cos \alpha_2 \cos \beta_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} \times \left[ \frac{\sin \beta_2 \cos \alpha_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} - \frac{r_1^2 \sin \beta_1 \cos \alpha_1}{r_2^2 \sin(\alpha_1 + \beta_1)} \right]. \quad (37)$$

Радиус лопасти на выходе  $r_2$  равен радиусу мешалки  $r$ . Тогда подставив полученные выражения (13) и (37) в начальную формулу (1), можно определить мощность, затрачиваемую на перемешивание жидкого навоза:

$$N_d = 1,3(1-f)(m\omega^2 r + mg)k_{\Pi} k_{\Gamma} z \omega + k S \rho \omega^3 r^3 \frac{\cos \alpha_2 \cos \beta_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} \times \left[ \frac{\sin \beta_2 \cos \alpha_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} - \frac{r_1^2 \sin \beta_1 \cos \alpha_1}{r^2 \sin(\alpha_1 + \beta_1)} \right]. \quad (38)$$

### Заключение

В результате анализа мешалок, применяемых на миксерах для перемешивания навоза, установлено, что винтовые мешалки наиболее подходят для перемешивания жидкого навоза в навозохранилищах, так как применяемое с ними оборудование имеет меньшую потребляемую мощность, чем у мешалок других типов. Также винтовые мешалки создают преимущественно осевые потоки и, как следствие, большие осевые скорости, что является необходимым условием для разрушения уплотненной массы жидкого навоза и выполнения его гомогенизации в больших объемах.

Получено уравнение, позволяющее определить затраты мощности на перемешивание навозной массы с учетом его физико-механических свойств, геометрических параметров лопастей мешалки миксера и геометрической формы циклоиды жидкого навоза.

Из формулы (27) следует, что подачу на лопасть можно изменить, если изменить число лопастей на мешалке или показатель кинематического режима (поступательную скорость, частоту вращения мешалки).

Анализ формулы (33) показал, что теоретическое давление, создаваемое мешалкой миксера, растет пропорционально квадрату и зависит от физико-механических свойств жидкого навоза, геометрических параметров мешалки и частоты ее вращения.

Как свидетельствует формула (36), производительность миксера пропорциональна первой степени и зависит от частоты вращения мешалки, геометрических параметров мешалки.

Из формулы (38) следует, что затраты мощности на перемешивание жидкого навоза миксером пропорциональны кубу частоты вращения мешалки.

Таким образом, зная технологические параметры, можно более рационально использовать миксер, уменьшив энергоёмкость процесса перемешивания жидкого навоза в навозохранилище.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Условия образования и переработка отходов животноводческих ферм и комплексов / Е.Н. Писецкая [и др.] // Экология на предприятии. – 2014. – № 12. – С. 12-15.
- 2 Шацкий, В.В. Моделирование механизированных процессов приготовления кормов / В.В. Шацкий. – Запорожье: ПЦ «Х – ПРЕСС», 1998. – 140 с.
- 3 Хужакулов, А.Ф. Биогазовые энергетические установки для фермерских хозяйств. Анализ процессов, влияющих на эффективность их использования / А.Ф. Хужакулов [и др.] // Молодой ученый. – 2013. – № 2. – С. 70-72.
- 4 Gokcol C., Dursun B., Alboyaci B., Sunan E. Importance of biomass energy as alternative to other sources in Turkey. Energy Policy, 2009. – P. 424-431.
- 5 Vollenweider, R.A. Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors

in Eutrophication, Report to the Organization of Economic Cooperation and Development, Paris France, DAS/CSI/68, 1968. – 152 p.

6. Качан, Ю.Г. Процессы перемешивания субстрата в реакторе биогазовой установки / Ю.Г. Качан, Ю.В. Курис, И.Н. Левицкая // Технология органических и неорганических веществ и экология. – 2009. – № 2. – С. 4-7.

7. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. / Ф. Стренк; под ред. И.А. Щупляка. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.

8. Ясенецкий, В.А. Оборудование для получения биогаза из навоза / В.А. Ясенецкий, В.С. Торгона // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. – № 6. – С. 23-25.

9. Barrington, S.F., Jutras, P.J., Broughton, R.S. The Sealing of Soils by Manure. II. Sealing Mechanisms. // The Journal of the Canadian Society of Agricultural Engineering, 1987. – № 29 (2). – P.105-108.

10. Караева, Ю.В. Обзор биогазовых технологий и методов интенсификации процессов анаэробного сбраживания / Ю.В. Караева, И.А. Трахунова // Труды Академэнерго. – 2010. – № 3. – С.109–127.

11. Мелашенко, В.И. Методическое пособие по профилированию лопастей рабочих колес центробежных насосов: в 2 ч. / В.И. Мелашенко, А.В. Зуев. – М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1980. – 248 с.

12. Ледин, Н.П. Расчет мощности роторного устройства для уборки навоза / Н.П. Ледин, В.К. Письменный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1979. – № 4. – С. 22-24.

13. Комаров, Б.А. Исследование непрерывного процесса смешивания кормов с солями микроэлементов / Б.А. Комаров // Тр. Всерос. науч.-исслед. ин-та механизации и электрификации сельского хозяйства. – М., 1968. – Вып. 11. – С. 130-143.

14. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Кленин, В.А. Сакун. – М.: Колос, 1994. – 751 с.

15. Вильдгрубе, Л.С. Формулы для характеристик несущего винта в общем случае полета / Л.С. Вильдгрубе // Труды ЦАГИ. – Вып. 2202. – М., 1983. – С. 3-39.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.09.2018

## Радиоволновой влагомер зерна

*Предназначен* для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и обеспечивает автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход 4-20 мА, а также интерфейс RS-485.



### Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна	от 9 до 25%
Основная абсолютная погрешность	не более 0,5%
Температура контролируемого материала	от +5 до +65°C
Цена деления младшего разряда блока индикации	0,1%
Напряжение питания	220 В 50Гц,
Потребляемая мощность	30ВА