

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Научная статья

УДК 664.726.1

<https://doi.org/10.28983/asj.y2025i7pp138-145>

Методика расчета мощности привода смесителя комбикормов барабанного типа

Владислав Викторович Самосюк, Виктор Гаврилович Петько, Владимир Александрович Шахов, Ильмира Агзамовна Рахимжанова, Павел Григорьевич Учкин

Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия

e-mail: shahov-v@yandex.ru

Аннотация. В статье приведено описание конструкции и принципа действия смесителя комбикормов барабанного типа. Требуемое качество смешивания ингредиентов комбикорма достигается путем многократного пересыпания смеси, поднимаемой установленными внутри полости барабана ребрами при его вращении. При этом, поскольку барабан установлен под наклоном, перемещение смеси осуществляется по спирали, шаг которой тем выше, чем больше угол наклона барабана. Разработана методика, на основе которой посредством математического пакета MathCAD приведен пример расчета момента и мощности на приводном валу смесителя, необходимой для подъема смеси ребрами. В качестве исходных параметров были приняты: внутренний радиус барабана – 0,10 м; длина – 1,00 м; высота ребра – 0,04 м; угловая скорость – 5 рад/с; угол естественного откоса смеси – 25,000°, плотность смеси – 1000 кг/м³. В соответствии с расчетной схемой был определен объем находящейся на ребре смеси при различных положениях ребра в пределах поворота барабана от 0,000 до 150,000°, ее масса с учетом плотности и создаваемый этой массой момент сопротивления. Выполнены расчеты среднеквадратичной мощности, необходимой для вращения барабана с заданным количеством ребер и его длины в зависимости от угла их поворота. Это позволило рассчитать потребную мощность электродвигателя привода барабана с учетом его КПД. Так, для параметров смесителя, выбранного в качестве примера для расчета, потребная мощность составляет 0,589 Вт. По опробованной на этом примере методике и программе расчета не составляет труда определить потребную мощность и для любых других параметров смесителя. Например, для смесителя с внутренним радиусом барабана 0,5 м и длиной 2,00 м программа выдает потребную мощность 64 Вт.

Ключевые слова: ингредиент, момент, угловая скорость, объем, угол откоса, уравнение, смеситель, корм, комбикорм

Для цитирования: Самосюк В. В., Петько В. Г., Шахов В. А., Рахимжанова И. А., Учкин П. Г. Методика расчета мощности привода смесителя комбикормов барабанного типа // Аграрный научный журнал. 2025. № 7. С. 138–145. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i7pp138-145>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Method of calculating the drive power of a drum-type feed mixer

Vladislav V. Samosyuk, Viktor G. Petko, Vladimir A. Shakhov, Ilmira A. Rakhimzhanova, Pavel G. Uchkin

Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

e-mail: shahov-v@yandex.ru

Abstract. The paper describes the design and principle of operation of a drum-type feed mixer. The required mixing quality of the feed ingredients is achieved by repetitive pouring the mixture, lifted by ribs installed inside the drum cavity during its rotation. At the same time, since the drum is installed inclined, the movement of the mixture settles in a spiral, the pitch of which is higher the greater the angle of inclination of the drum. A technique has been developed on the basis of which and with the MathCAD mathematical package there was given an example of calculating the torque and power on the mixer drive shaft for lifting the mixture with ribs. The following initial parameters were taken: the inner radius of the drum is 0.10 m; the length is 1.00 m; the rib height is 0.04 m; the angular velocity is 5 rad/s; the natural slope angle of the mixture is 25.000°, the density of the mixture is 1000 kg/m³. In accordance with the design scheme, the volume of the mixture located on the rib was determined at different positions of the rib within the rotation range of the drum from 0.000 to 150.000°, taking into account the density of the weight and the moment of resistance created by this weight. Calculations of the RMS power required to rotate a drum with a given number of ribs and its length, depending on the angle



of rotation, have been performed. This made it possible to calculate the required power of the drum drive motor, taking into account its efficiency. Depending on the parameters of the mixer selected as a sample for calculation, the power consumption is 0.589 W. Using the methodology and calculation program tested on this sample, it is not difficult to determine the power consumption for other mixer parameters. For example, for a mixer with an internal drum radius of 0.50 m and a length of 2.00 m, the program outputs a power consumption of 64 W.

Keywords: ingredient, moment, angular velocity, volume, slope angle, equation, mixer, feed, compound feed

For citation: Samosyuk V. V., Petko V. G., Shakhov V. A., Rakhimzhanova I. A., Uchkin P. G. Method of calculating the drive power of a drum-type feed mixer. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2025;(7):138–145. (In Russ.). <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i7pp138-145>.

Введение. Одними из условий качественного приготовления комбинированного корма для животных являются правильная дозировка и равномерность распределения ингредиентов и в особенности микродобавок по всему его объему. С этими задачами справляются различного рода дозаторы и смесители кормов.

Качество смешивания ингредиентов зависит от конструкции и принципа действия смесителей. Ниже рассматривали смесители комбикормов барабанного типа, в которых смешивание достигается за счет многократного пересыпания ингредиентов во время вращения барабана, расположенного под определенным углом.

Цель исследования – расчет мощности и момента на приводном валу смесителя для качественного смешивания компонентов комбикорма при оптимальных затратах ресурсов.

Материалы и методы. Для смешивания комбикормов используют установку [9, 11], реализующую способ приготовления сыпучих материалов путем многократного пересечения потоков ингредиентов. Установка содержит дозатор-распределитель и смесительный канал, в рабочей зоне которого закреплены наклонные направляющие потока смеси. Ее недостатком является то, что часть потока смеси, отражаясь от направляющих, движется сверху вниз зигзагообразно, а часть между направляющими движется прямооток с большей скоростью. В результате пересечение потоков смеси неполное, что ухудшает равномерность перемешивания ее ингредиентов.

В значительной степени свободен от указанных недостатков смеситель комбикормов, изображенный на рисунке 1 [8, 11, 12].

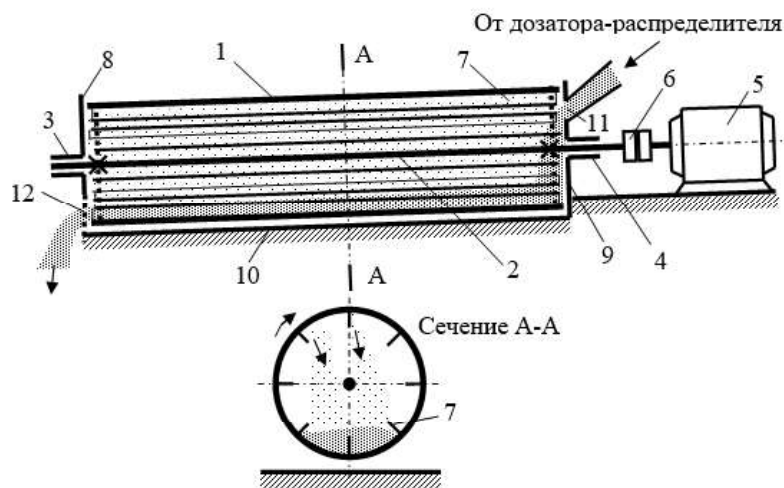


Рисунок 1 – Смеситель кормов барабанного типа

Figure 1 – Drum-type feed mixer

Смеситель содержит дозатор-распределитель ингредиентов смеси (на чертеже не показан) и смесительный канал 1 в виде цилиндрического барабана. Смесительный канал соосно закреплен на валу 2, установленном в подшипниках 3 и 4. Вал связан с валом мотор-редуктора 5 через соединительную муфту 6. С внутренней стороны в цилиндрическом канале по периметру установлены перемешивающие продольные ребра 7. С торцов канал закрыт подшипниковыми щитами 8 и 9, установленными неподвижно на станине смесителя 10. Щиты имеют загрузочное окно 11 и окно 12 выгрузки готового продукта. Цилиндрический смесительный канал 1 расположен с уклоном в сторону перемещения смеси [1].



Работает смеситель следующим образом. При запущенном мотор-редукторе и вращающемся цилиндрическом барабане 1 открывается заслонка (на чертеже не показана) на выходе дозатора-распределителя, подлежащие смешиванию ингредиенты в заданной пропорции непрерывным потоком установленной интенсивности поступают через загрузочное окно 11 в камеру смесительного канала. В канале ингредиенты подвергаются механическому воздействию ребер, перемешиваются ими, поднимаются в верхнюю часть барабана и, пересыпаясь через края ребер, снова оказываются в его нижней части. Этот процесс перемешивания и пересыпания повторяется многократно. А ввиду того, что барабан установлен наклонно, перемещение отдельных конкретных частиц продукта осуществляется по спирали, шаг которой будет тем больше, чем выше угол наклона барабана. Количество циклов перемешивания и пересыпания до выхода готового продукта будет тем больше, а, следовательно, однородность смеси на выходе будет тем выше, чем меньше шаг и чем длиннее канал смешивания.

С помощью регулировки длины барабана и угла его наклона можно установить необходимую кратность циклов перемешивания и пересыпания и за счет этого обеспечить высокую однородность кормовой смеси, определяющую качество ее приготовления.

Результаты исследований. Практический интерес для определения потребной мощности приводного электродвигателя смесителя представляет теоретический анализ его энергетических характеристик. С этой целью ниже излагается методика расчета и на ее основе пример расчета момента и мощности смесителя в функции угла поворота его барабана. Расчет осуществим на базе применения математического пакета MathCAD.

В качестве исходных параметров для расчета примем следующие: внутренний радиус барабана смесителя $R = 0,1$ м; длина барабана $L = 1$ м; высота ребер $h = 0,04$ м; угловая скорость барабана $\omega = 5$ рад/с; плотность смеси $\rho = 1000$ кг/м³; угол естественного откоса смеси $\beta_{00} = 25,000^\circ$ [4]; диапазон изменения угла поворота ребра относительно оси барабана $\alpha = 0,000 \dots 150,000^\circ$ с дискретностью $1,000^\circ$ (в MathCAD задан командой $\alpha := 0,1..150$); диапазон изменения декартовой координаты X с дискретностью $0,001$ м, проходящей горизонтально с началом в точке пересечения этой координаты с осью барабана $X := 0,0001..R$.

Расчетная кинематическая схема смесителя приведена на рисунке 2.

На схеме одно из ребер показано в моменты времени $t(\alpha) = \frac{\alpha\pi}{180\omega}$, соответствующие углам поворота барабана α , равным: $0; 30,000; 65,000; 78,982; 85,000; 90,000; 110,000$ и $128,368^\circ$.

При вращении барабана на смесь в радиальном направлении действует центробежная сила f_c . В расчете на единицу массы (1 кг) она пропорциональна квадрату угловой скорости и радиусу барабана $f_c := \omega^2 R = 2,5$ Н. Поскольку сила действует в радиальном направлении, она стремится прижать частицы смеси к внутренней стенке барабана. Поэтому при угловой скорости $\omega_m := (9,8 \div R)^{0,5} = 9,899$ рад/с отрыв частиц смеси даже в верхней части полости барабана не происходит. Для нормальной работы смесителя угловая скорость его барабана не должна превышать эту величину.

Центробежную силу можно разложить на горизонтальную

$$f_{cg}(\alpha) := f_c \sin \frac{\alpha\pi}{180} \quad (1)$$

и вертикальную

$$f_{cb}(\alpha) := f_c \cos \frac{\alpha\pi}{180} \quad (2)$$

составляющие. В нашем конкретном случае, например, при повороте ребра на 30° $f_{cg}(30) = 1,25$ Н, а $f_{cb}(30) = 2,165$ Н. В результате модуль результирующей силы, действующей на единицу массы смеси в функции угла поворота ребра: $f(\alpha) := ((9,8 + f_{cb}(\alpha))^2 + f_{cg}(\alpha)^2)^{0,5}$ Н (см. рисунок 2). Для угла поворота ребра 30° – $f(30) = 12,03$ Н. По тангенсу угла φ отклонения этой силы от вертикали $\operatorname{tg}\varphi(\alpha) := \frac{f_{cg}(\alpha)}{9,8 + f_{cb}(\alpha)}$ можно найти непосредственно и сам угол:

$$\varphi(\alpha) := \operatorname{atan}(\operatorname{tg}\varphi(\alpha)) \frac{180}{\pi}. \quad (3)$$

Для выбранных нами параметров барабана смесителя и угла α , равного 30° : $\varphi(30) = 5,964^\circ$.

Далее для определения коэффициента внутреннего трения K_t смеси определим нормальную

$$f_{n00} := 9,8 \cdot \cos \beta_{00} \frac{\pi}{180} = 8,882 \quad (4)$$



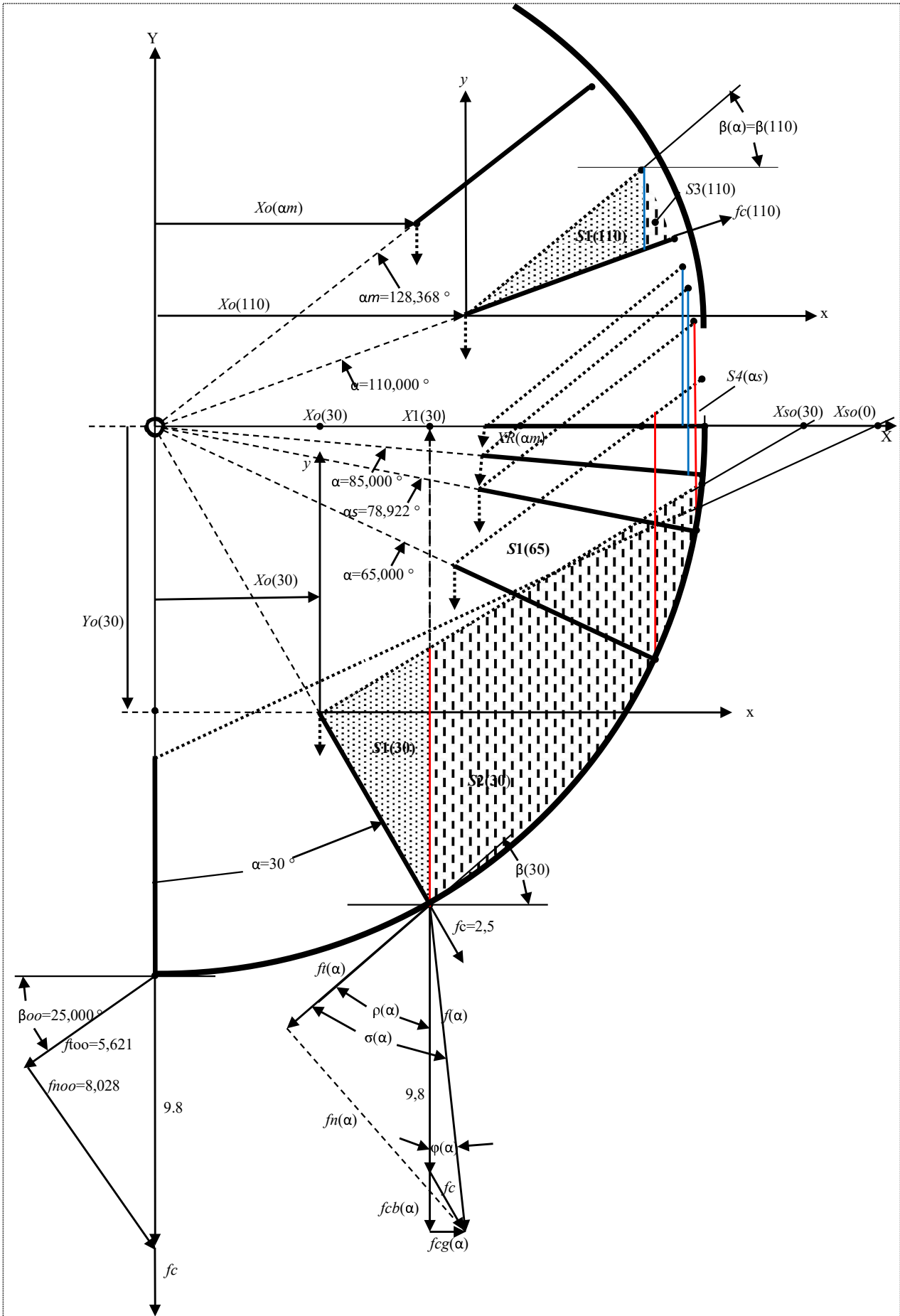


Рисунок 2 – Расчетная кинематическая схема лабораторного смесителя

Figure 2 – Calculated kinematic scheme of the laboratory mixer

и тангенциальную

$$f_{n00} := 9,8 \cdot \cos \beta_{00} \frac{\pi}{180} = 4,142 \quad (5)$$

силы давления слоя смеси на единицу площади поверхности слоя при $\alpha = 0$ и $\omega = 0$. Тогда

$$Kt := \frac{f_{t00}}{f_{n00}} = 0,466, \quad (6)$$

что вполне соответствует справочным данным [10].

С учетом того, что связь между продольной f_d и поперечной f_t составляющими результирующей силы относительно поверхности смеси описывается выражением $f_t = f_d \cdot Kt$, их конкретные значения определяются следующим образом:

$$fd(\alpha) := \left[\frac{f(\alpha)^2}{1 + Kt^2} \right]^{0,5} \text{ и } ft(\alpha) := fd \cdot Kt. \quad (7)$$

При этом тангенс угла σ результирующей силы $tg\sigma(\alpha) := \frac{fd(\alpha)}{ft(\alpha)}$ и непосредственно сам угол $\sigma(\alpha) := atan(tg\sigma(\alpha)) \frac{180}{\pi}$. Конкретно для угла α , равного 30° : $fd(30) = 10,903$ и $ft(30) = 5,084$ Н, а σ независимо от α равен 65° . Далее по известным φ и σ определяются угол ρ между вертикалью и поверхностью смеси $\rho(\alpha) := \sigma(\alpha) - \varphi(\alpha)$ и окончательно искомый в функции угла поворота ребра угол откоса $\beta(\alpha)$ между горизонталью и поверхностью смеси $\beta(\alpha) := 90 - \rho(\alpha)$. Например, для рассматриваемого смесителя при угле поворота 30° угол откоса $\beta(30) = 30,964^\circ$.

Полное освобождение ребра от смеси произойдет при $\alpha = \alpha_m$, когда углы откоса и наклона ребра относительно горизонтали $\gamma(\alpha) = \alpha - 90$ сравняются. Средствами MathCAD этот угол определяется по команде $\alpha_m := root(\alpha - \gamma(\alpha), \alpha, 90, 180) = 128,368^\circ$.

Как видим, угол откоса увеличивается от естественного (25°) до 40° по мере увеличения угла α вплоть до 100° , что вполне объяснимо увеличивающейся горизонтальной составляющей центробежной силы $f_{cg}(\alpha)$, стремящейся прижать частицы смеси к внутренней стенке барабана [6, 9].

Для определения момента сопротивления и мощности, затрачиваемой на подъем и пересыпание смеси, помимо полярной $r-\alpha$ и декартовой $X-Y$ систем координат воспользуемся вспомогательной $x-y$ системой координат, оси x и y которой параллельны осям X и Y , а начало привязано к вершине ребра и смещено относительно начала системы $X-Y$ на величину $X_0(\alpha) := (R - h) \sin \alpha \frac{\pi}{180}$ и $Y_0(\alpha) := (h - R) \cos \alpha \frac{\pi}{180}$. Это позволяет относительно простое уравнение линии поверхности смеси в координатах x и y ($y_s = x \cdot \tan \alpha \frac{\pi}{180}$) выразить в координатах X и Y :

$$Y_s(\alpha, X) := (X - X_0(\alpha)) \cdot \tan \frac{\pi \beta(\alpha)}{180}. \quad (8)$$

Таким образом, координата поверхности смеси по вертикали является функцией двух независимых переменных α и X . В графическом виде эта зависимость представлена на рисунке 3.

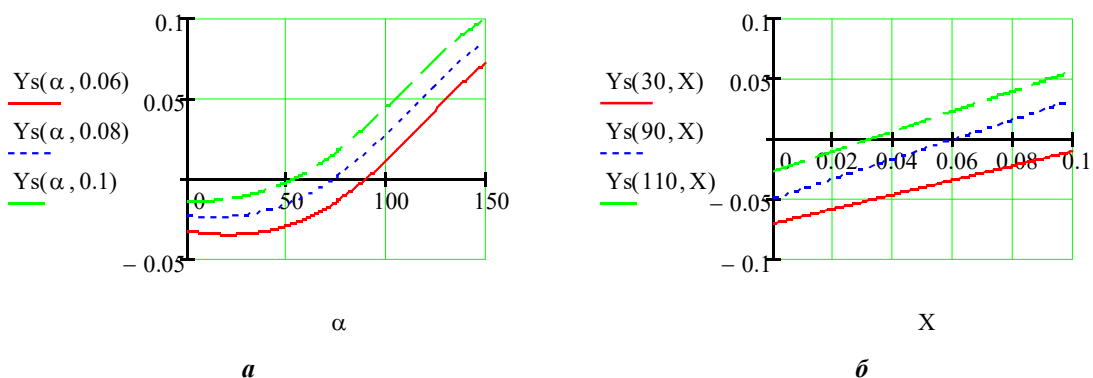


Рисунок 3 – Зависимости высоты слоя смеси от угла поворота ребра при $X = 0,06; 0,08$ и $0,10$ м (а) и от координаты X при угле поворота ребра $30, 90$ и 110° (б)

Figure 3 – Dependences of the height of the mixture layer on the angle of rotation of the rib at $X = 0.06, 0.08$ and 0.10 m (a) and on the X coordinate at the angle of rotation of the rib of $30, 90$ and 110° (b)

Более просто выглядит уравнение линий ребра $Y_r(\alpha, X) := -X \tan \frac{\alpha \pi}{180}$, непосредственно позволяющее определить координату концевой части ребра $X_R := R \sin \frac{\alpha \pi}{180}$ и окружности барабана $Y_b := (R^2 - X^2)^{0,5}$ для верхней его части и $Y_b := -(R^2 - X^2)^{0,5}$ для нижней.



Полученное уравнение линии поверхности смеси позволяет определить зависимость координаты пересечения этой линии с осью X от угла α поворота ребра $X_{so}(\alpha) := \text{root}(Y_s(\alpha, X), X, 0, 10 \cdot R)$ (рисунок 4, а).

В зависимости от того, больше или меньше $X_{so}(\alpha)$, чем R , зависит абсолютная величина разности ординат поверхностей смеси и барабана. Поэтому в обоих случаях средствами MathCAD она находится следующим образом:

$$\Delta Y_{sb}(\alpha, X) := \text{if}(X_{so}(\alpha) > R, Y_s(\alpha, X) + Y_b(X), Y_s(\alpha, X - Y_b(X))). \quad (9)$$

Тогда абсцисса точки пересечения внутренней поверхности барабана и поверхности смеси в зависимости от α :

$$X_{sb}(\alpha) := \text{root}(\Delta Y_{sb}(\alpha, X), X, 0, R). \quad (10)$$

На рисунке 4, б представлен график этой зависимости.

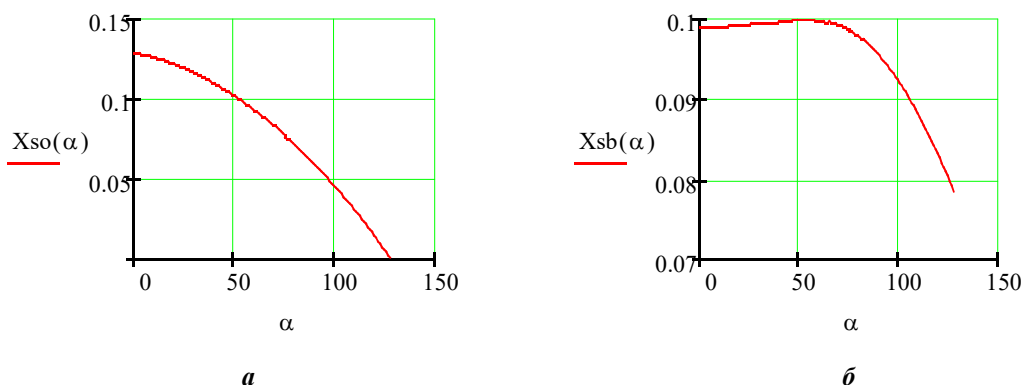


Рисунок 4 – Зависимость абсциссы точки пересечения линии поверхности смеси: а – с осью X ; б – с поверхностью барабана

Figure 4 – Dependence of the abscissa of the intersection point of the surface line of the mixture: а – with the X -axis; б – with the surface of the drum

Представляет интерес определить угол поворота ребра, при котором наблюдается равенство абсцисс точек пересечения поверхности смеси и ребра с поверхностью барабана $\alpha_s := \text{root}(X_{sb}(\alpha) - X_R(\alpha))$. В данном примере $\alpha_s = 78,922^\circ$, при этом $X_{sb}(\alpha_s) = 0,098$ м, а $Y_{sb}(\alpha_s) = 0,020$ м.

Для упрощения записи нижеследующих уравнений введем универсальную в зависимости от соотношения абсцисс точек пересечения линии ребра и поверхности смеси с поверхностью барабана абсциссу

$$X_1(\alpha) := \text{if}[X_R(\alpha) < X_{sb}(\alpha), X_R(\alpha), X_{sb}(\alpha)]. \quad (11)$$

Тогда величины площадок, м^2 , поперечного сечения валика смеси, удерживаемого на ребре при различных углах α его поворота (см. рисунок 2) будут рассчитываться следующим образом:

$$\begin{aligned} S_1(\alpha) &:= \int_{X_{so}(\alpha)}^{X_1(\alpha)} \Delta Y_{sr}(\alpha, X) dX; \\ S_2(\alpha) &:= \text{if}[0 \leq \alpha \leq \alpha_s, \int_{X_1(\alpha)}^{X_{sb}(\alpha)} (Y_s(\alpha, X) + Y_b(X)) dX, 0; \\ S_3(\alpha) &:= \text{if}[\alpha_s \leq \alpha \leq \alpha_m, \int_{X_1(\alpha)}^{X_{br}(\alpha)} (Y_s(\alpha, X) - Y_b(X)) dX, 0; \\ S_4(\alpha) &:= \text{if}[\alpha_s \leq \alpha \leq 90, 2 \int_{X_{br}(\alpha)}^R Y_b(X) dX, 0, \end{aligned} \quad (12)$$

общая площадь поперечного сечения валика:

$$S(\alpha) := S_1(\alpha) + S_2(\alpha) + S_3(\alpha) + S_4(\alpha). \quad (13)$$



Аналогичным образом находим и зависимости от угла поворота моментов, создаваемых каждой из долей валика, Н·м:

$$\begin{aligned}
 M1(\alpha) &:= \int_{Xo(\alpha)}^{X1(\alpha)} LpX\Delta Ysr(\alpha, X)dX; \\
 M2(\alpha) &:= \text{if}[0 \leq \alpha \leq \alpha s, \int_{X1(\alpha)}^{Xsb(\alpha)} LpX(Ys(\alpha, X) + Yb(X))dX, 0; \\
 M3(\alpha) &:= \text{if}[\alpha s \leq \alpha \leq \alpha m, \int_{X1(\alpha)}^{Xbr(\alpha)} LpX(Ys(\alpha, X) - Yb(X))dX, 0; \\
 M4(\alpha) &:= \text{if}[\alpha s \leq \alpha \leq 90,2 \int_{Xbr(\alpha)}^R LpX Yb(X)dX, 0,
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

суммарный момент валика:

$$M(\alpha) := M1(\alpha) + M2(\alpha) + M3(\alpha) + M4(\alpha). \tag{15}$$

При заданной угловой скорости вращения легко определяется и зависимость от угла поворота ребра мощность $P(\alpha) := M(\alpha)\omega$. На рисунке 5 приведен график этой зависимости.

Среднеквадратичная мощность за период вращения, необходимая для расчета мощности приводного электродвигателя при условии наличия на барабане двух ребер длиной 1 м определяется следующим образом:

$$P_S := \sqrt{\frac{\int_0^{\alpha m} P(\alpha)^2 d\alpha}{180}} = 0,472 \text{ Вт.} \tag{16}$$

С учетом коэффициента полезного действия передачи η , равным, например, 0,8, необходимая мощность электродвигателя составит:

$$P_d := \frac{P_S}{\eta} = 0,589 \text{ Вт.} \tag{17}$$

Заключение. Таким образом, разработанная методика и программа для ее реализации средствами математического пакета MathCAD [2] позволяют легко определить необходимую мощность приводного электродвигателя для смесителя любых геометрических размеров и физических свойств смешиваемых ингредиентов. Так, например, для смесителя с внутренним радиусом барабана 0,5 м и длиной 2 м потребуется электродвигатель мощностью 64 Вт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационная разработка технологии и оборудования для производства экструдированных кормов с ультрадисперсными частицами / А. Г. Белов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5(79). С. 155–158.
2. Классификация видов движения зернового сырья в бункерах комбикормов / В. В. Самосюк [и др.] // Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем: Матер. национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 70-летию начала освоения целинных и залежных земель в Оренбургской области. Оренбург, 02 февраля 2024 года. М., 2024. С. 309–312.
3. Павлидис В. Д. Теоретические аспекты математического моделирования массопереноса пылевых фракций в процессе переработки зернового сырья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 1(45). С. 46–47.
4. Павлидис В. Д., Чкалова М. В. Некоторые аспекты математического моделирования технологических процессов в сельскохозяйственном производстве // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2007. № 2(14). С. 50–53.
5. Применение экспериментальной установки для приготовления равновесных кормосмесей с ультрадисперсными частицами / В. В. Самосюк [и др.] // В фокусе достижений молодежной науки: Матер. ежегодной итоговой науч.-практ. конф. Оренбург, 23 декабря 2022 года / под общ. ред. В. А. Шахова. Оренбург, 2023. С. 59–62.
6. Расчет потребляемой мощности смесителя комбикормов: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024683338 Российская Федерация / В. В. Самосюк, [и др.]; заявл. 14.10.2024; опубл. 14.10.2024.

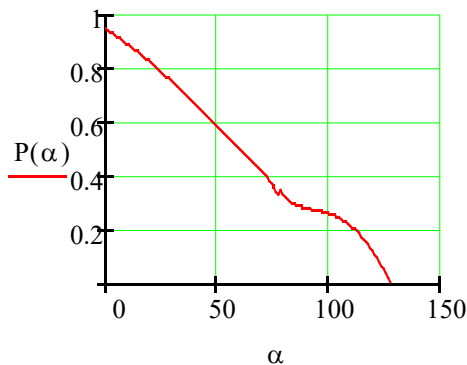


Рисунок 5 – Зависимости мощности подъема смеси на ребре от α

Figure 5 – Dependences of the lifting power of the mixture on the edge of α



7. Самосюк В. В., Шахов В. А. Приготовление нанокормосмеси для интенсивного откорма // Техника и технологии в животноводстве. 2023. № 3(51). С. 45–49. DOI: 10.22314/27132064-2023-3-45.
8. Смеситель комбикормов: патент RU № 2800937 C2 кл. A23N 17/00 / В. А. Шахов, И. А. Рахимжанова, В. В. Самосюк; заявл. 13.01.2022, опубл. 01.08.2023.
9. Современные инновационные подходы к приготовлению микродобавок на специализированной установке / В. А. Пушко [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 4. С. 65–68.
10. Способ смешивания комбикормов и установка для его осуществления: патент RU № 2411883 C1, кл. A23N 17/00 / В. И. Сыроватка, Ю. А. Иванов, А. С. Комарчук; заявл. 21.09.2009, опубл. 20.02.2011.
11. Сыроватка В. И., Обухов А. Д. Логическая структура методологии построения наукоемких предприятий по производству комбикормов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017. № 3. С. 4–14.
12. Сысоев В. Н., Толпекин С. А. Оборудование перерабатывающих производств. Самара: Редакционно-издательский центр Самарской государственной сельскохозяйственной академии, 2013. 174 с.
13. Физико-механические свойства кормов. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5719293/page:9>; дата обращения: 22.08.2024.
14. Физико-механические свойства насыпных продуктов. Режим доступа: https://razvitie-pu.ru/?page_id=6648; дата обращения: 22.07.2021.

REFERENCES

1. Innovative development of technology and equipment for the production of extruded feeds containing ultradispersed particles / A. G. Belov, V. A. Shakhov, A. S. Putrin, A. P. Kozlovstev, M. I. Filatov, V. G. Borulko. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;5(79):155–158. (In Russ.).
2. Classification of types of movement of grain raw materials in feed bunkers / V. V. Samosyuk, V. A. Shakhov, E. M. Asmankin, P. G. Uchkin. *Improvement of Engineering and Technical Support of Production Processes and Technological Systems: Materials of the National Scientific and Practical Conference with International Participation Dedicated to the 70th Anniversary of the Beginning of the Development of Virgin and Fallow Lands in the Orenburg Region*. Orenburg, February 02, 2024. Moscow, 2024:309–312. (In Russ.).
3. Pavlidis V. D. Theoretical aspects of mathematical modeling of dust fractions removal in the process of grain raw stuff processing. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2014;1(45):46–47. (In Russ.).
4. Pavlidis V. D., Chkalova M. V. Some aspects of mathematic modeling of technological processes in agriculture. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2007;2(14):50–53. (In Russ.).
5. Application of an experimental setup for the preparation of equally balanced feed mixtures with ultrafine particles / V. V. Samosyuk, V. V. Shakhov, V. A. Shakhov, P. G. Uchkin. *In the focus of achievements of youth science: Materials of the Annual Final Scientific and Practical Conference*. Orenburg, December 23, 2022 / edited by V. A. Shakhov. Orenburg, 2023:59–62. (In Russ.).
6. Calculation of the feed mixer power consumption: Certificate of State Registration of the Computer Program No. 2024683338 Russian Federation / V. V. Samosyuk, V. G. Petko, V. A. Shakhov, I. A. Rakhimzhanova; appl. 10/14/2024; publ. 10/14/2024. (In Russ.).
7. Samosyuk V. V., Shakhov V. A. Preparation of nanocorm mixtures for intensive fattening. *Machinery and Technologies in Animal Husbandry*. 2023;3(51):45–49. (In Russ.). DOI: 10.22314/27132064-2023-3-45.
8. Feed mixer: patent RU No. 2800937 C2 cl. A23N 17/00 / V. A. Shakhov, I. A. Rakhimzhanova, V. V. Samosyuk; appl. 13.01.2022, publ. 08/01/2023. (In Russ.).
9. Modern innovative approaches to manufacture of microadditives in a specialized setting / V. A. Pushko, V. A. Shakhov, S. V. Lebedev, I. G. Boyko, S. A. Solovyov, S. A. Miroshnikov. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(4):65–68. (In Russ.).
10. Method of mixing feed and installation for its implementation: patent RU No. 2411883 C1, cl. A23N 17/00 / V. I. Syrovatka, Yu. A. Ivanov, A. S. Komarchuk; appl. 09/21/2009, publ. 02/20/2011. (In Russ.).
11. Syrovatka V. I., Obukhov A. D. The logical structure of the methodology for building high-tech enterprises for the production of compound feeds. *Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Animal Husbandry Mechanization*. 2017. No. 3. pp.4–14. (In Russ.).
12. Sysoev V. N., Tolpekin S. A. Equipment of processing industries. Samara, 2013. 174 p. (In Russ.).
13. Physical and mechanical properties of feed. Access mode: <https://studfile.net/preview/5719293/page:9>; reference date: 08/22/2024. (In Russ.).
14. Physical and mechanical properties of bulk products. Access mode: https://razvitie-pu.ru/?page_id=6648; reference date: 07/22/2021. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 10.08.2024; одобрена после рецензирования 12.08.2024; принята к публикации 19.08.2024.
The article was submitted 10.08.2024; approved after reviewing 12.08.2024; accepted for publication 19.08.2024.

