

Расчет потребной мощности на смешивание для одновального смесителя
периодического действия

В НПО "Белсельхозмеханизация" разработаны новая малозатратная и малоэнергоёмкая технология и комплект оборудования для подготовки кормов к скармливанию. Ее особенность заключается в том, что к скармливанию подготавливаются только те корма, которые нуждаются в обработке. Из измельченных зернофуража, корнеплодов и БВМД, с учетом минерального состава местных кормов, приготавливается обогатительная смесь (добавка), позволяющая сбалансировать рацион животных по питательности. Эти компоненты предварительно измельчаются, загружаются в смеситель. Остальные, готовые к употреблению корма, такие как силос, сенаж, сено скармливаются напрямую без вторичной обработки.

Анализ существующих конструкций смесителей показал высокую эффективность использования в качестве рабочих органов ленточных лопастей полукольцевого типа. Для увеличения степени воздействия на кормосмесь он выполнен с двумя рядами полувитков, в виде внутренней и внешней спиралей различных направлений навивок. В результате вращения рабочего органа создается множественные противотоки смеси, способствующие внедрению частиц одного материала между частицами другого, что и обеспечивало их равномерное распределение. Основной задачей при разработке данного смесителя было обеспечить требуемое качество приготавливаемой смеси и минимальную энергоёмкость процесса.

Затраты энергии на привод рабочего органа смесителя N_c можно представить как сумму энергий для преодоления сил сопротивления: вращения внутренней N_1 и внешней N_2 спиралей, а также движению в материале несущих кронштейнов N_3 и очистных скребков N_4

$$N_{cm} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad (1)$$

Для определения затрат энергии, потребной на преодоление сил сопротивления вращения в материале внешней спирали смешивающего рабочего органа, возьмем на спирали площадку $dS = L dx$ (рис.1). Если лопасть поставлена под углом α_1 к плоскости, перпендикулярной к оси смесителя, то проекция элементарной площадки будет

$$dS_1 = L_1 \sin \alpha_1 dx \quad (2)$$

Элементарная сила сопротивления для площадки

$$dF_1 = k_{уд} L_1 \sin \alpha_1 dx_1 \quad (3)$$

где $k_{уд}$ - коэффициент удельного сопротивления движению лопасти в кормовой мас-

се.

Элементарный момент сопротивления

$$dM_1 = k_{уд} L_1 \sin \alpha_1 x dx \quad (4)$$

Суммарный момент сопротивления равен интегралу от R_0 до R_1 :

$$M_1 = \int_{R_0}^{R_1} k_{уд} L_1 \sin \alpha_1 x dx = \frac{1}{2} k_{уд} L_1 \sin \alpha_1 (R_1^2 - R_0^2) \quad (5)$$

где R_0 - радиус окружности, описываемый внутренним краем лопасти; R_1 - радиус-окружности, описываемый внешним краем лопасти.

Длина винтовой линии для лопастей кольцевого типа равна:

$$L_1 = \frac{\pi D}{360} \gamma = \frac{R_0 + R_1}{2} \gamma \quad (6)$$

где D - средний диаметр лопасти; γ - угол развертки лопасти.

Подставляя значения L в формулу (2.6) получим:

$$M_1 = \frac{k_{уд} \frac{R_0 + R_1}{2} \gamma \sin \alpha_1 (R_1^2 - R_0^2)}{2} \quad (7)$$

Работа всех сил сопротивления при вращательном движении равна произведению момента сил относительно оси вращения на угол поворота

$$A_1 = \int_{\beta_{01}}^{\beta_{02}} M_1(F_1) d\beta = \frac{1}{2} k_{уд} L_1 \beta \sin \alpha_1 (R_1^2 - R_0^2) \quad (8)$$

где β_{01} , β_{02} - угол вхождения лопасти в материал и выхода из него; β - угол заполнения, соответствующий дуге контакта материала с корпусом смесителя.

Зависимость коэффициента заполнения от угла заполнения приведен на рисунке 2. График построен исходя из условия, что коэффициент заполнения есть отношение площади сегмента, занимаемого материалом, ко всей площади поперечного сечения бункера смесителя.

Мощность, необходимая для перемещения одной лопасти в массе в пределах шага

$$N = \frac{AW}{2\pi} \quad (9)$$

а энергия для смесителя с z_1 лопастями

$$N_1 = \frac{A_1 W z_1}{2\pi}$$

или

$$N_1 = \frac{k_{уд} L_1 \beta \sin \alpha_1 (R_1^2 - R_0^2) W z_1}{4\pi} \quad (10)$$

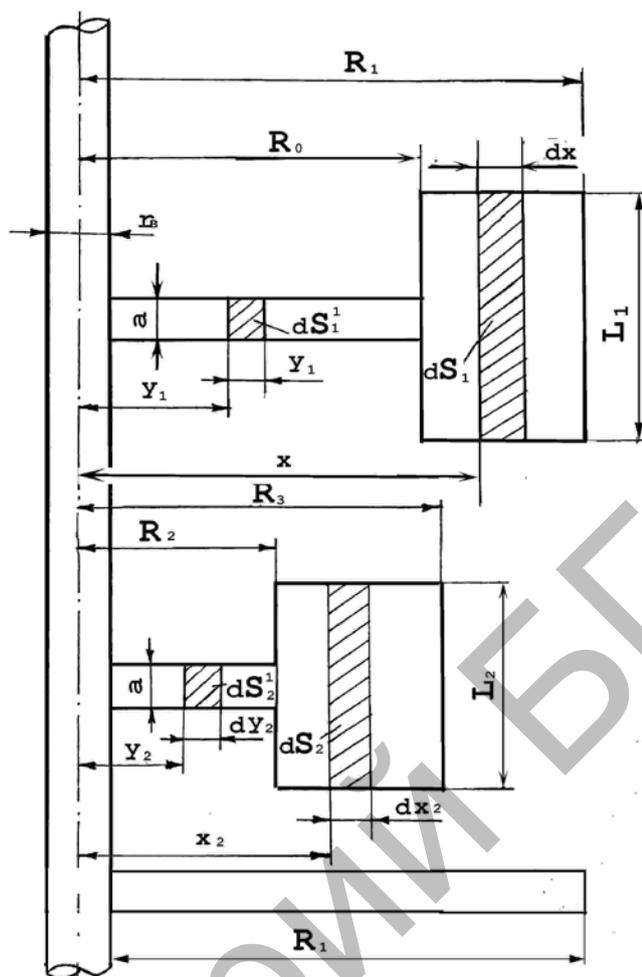


Рисунок 1 Схема действия сил

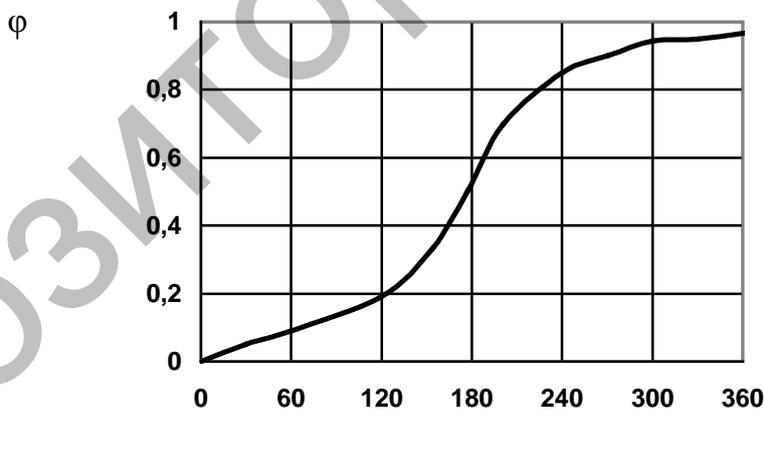


Рисунок 2 Зависимость коэффициента заполнения φ от угла заполнения β .

Вывод формулы затрат энергии N_2 , необходимой для преодоления сил сопротивления вращению в материале полувитков внутренней спирали, аналогично вышеизложенной. Угол установки лопастей в обоих случаях равен α_1 , а угол развертки - γ .

Поэтому для внутренних лопастей учитывая вышеизложенное элементарная сила сопротивления

$$dF_2 = k_{уд} L_2 \sin \alpha_1 dx_2 \quad (11)$$

Элементарный момент сопротивления

$$dM_2 = k_{уд} L_2 \sin \alpha_1 x_2 dx_2 \quad (12)$$

Суммарный момент сопротивления

$$M_2 = \int_{R_2}^{R_3} k_{уд} L_2 \sin \alpha_1 x_2 dx_2 = \frac{1}{2} k_{уд} L_2 \sin \alpha_1 (R_3^2 - R_2^2) \quad (13)$$

где R_3 и R_2 - радиусы окружностей, описываемых соответственно наружным и внутренним краями полувитков.

Длина винтовой линии для полувитков кольцевого типа равна

$$L_2 = \frac{\pi D}{360} \alpha = \frac{R_3 + R_2}{2} \gamma \quad (14)$$

Подставляя значения L_2 в формулу (2.15) получим:

$$M_2 = \frac{1}{2} k_{уд} L_2 \sin \alpha_1 (R_3^2 - R_2^2) \quad (15)$$

Работа всех сил сопротивления на один оборот ($\varphi = 2\pi$) равна

$$A_2 = \int_{\beta_{01}}^{\beta_{02}} M_2(F_2) d\beta = \frac{k_{уд} L_2 \beta \sin \alpha_1 (R_3^2 - R_2^2)}{2} \quad (16)$$

Мощность, необходимая для перемещения z_2 полувитков для смесителя

$$N_2 = \frac{A_2 W z_2}{2\pi} \quad (17)$$

или

$$N_2 = \frac{k_{уд} L_2 \beta \sin \alpha_1 (R_3^2 - R_2^2) W z_2}{4\pi}$$

Каждая лопатка смешивающего рабочего органа закреплена на несущих кронштейнах, поэтому необходимо учитывать сопротивление которое будет возникать при их движении в массе.

Возьмем на кронштейне площадку $dS = a dy$. Ширина кронштейнов обеих лопастей одинакова и равна a , общее число кронштейнов рабочего органа - n_k .

Тогда элементарная сила сопротивления кормосмеси для площадки кронштейнов внешней и внутренней лопастей соответственно равна

$$dF_1^l = k_{уд} a \sin \alpha_1 dy_1 \quad (18)$$

$$dF_2^I = k_{уд} a \sin \alpha_1 dy_2 \quad (19)$$

элементарный момент сопротивления среды

$$dM_1^I = k_{уд} a \sin \alpha_1 y_1 dy_1 \quad (20)$$

$$dM_2^I = k_{уд} a \sin \alpha_1 y_2 dy_2 \quad (21)$$

Суммарный момент сопротивления одного кронштейна равен интегралу от r_B до R_0

$$M_1^I = \int_{r_B}^{R_0} k_{уд} a \sin \alpha_1 y_1 dy_1 = \frac{1}{2} k_{уд} a \sin \alpha_1 (R_0^2 - r_B^2) \quad (22)$$

$$M_2^I = \int_{r_B}^{R_2} k_{уд} a \sin \alpha_1 y_2 dy_2 = \frac{1}{2} k_{уд} a \sin \alpha_1 (R_2^2 - r_B^2) \quad (23)$$

Работа всех сил сопротивления на один оборот ($\beta = 2\pi$) равна

$$A_1^I = \int_{\beta_{01}}^{\beta_{02}} M_1^I(F_1^I) d\beta = \frac{k_{уд} a \sin \alpha_1 (R_0^2 - r_B^2)}{2} \quad (24)$$

$$A_2^I = \int_{\beta_{01}}^{\beta_{02}} M_2^I(F_2^I) d\beta = \frac{k_{уд} a \sin \alpha_1 (R_2^2 - r_B^2)}{2} \quad (25)$$

Мощность, необходимая для перемещения n_k кронштейнов смесителя в массе

$$N_3 = \frac{(A_1^I + A_2^I) W n_k}{2\pi} \quad (26)$$

или

$$N_3 = \frac{k_{уд} a W n_k \beta (\sin \alpha_1 (R_0^2 - r_B^2) + \sin \alpha_1 (R_2^2 - r_B^2))}{4\pi}$$

С обеих сторон торцевых стенок корпуса смесителя, согласно зоотехническим требованиям, для очистки торцевых стенок от остатков корма установлены очистные скребки, которые также испытывают сопротивление среды. Ширину скребков примем равной ширине несущих кронштейнов.

$$dF_3 = k_{уд} a \sin \alpha_1 dy_3 \quad (27)$$

Элементарный момент сопротивления среды

$$dM_3 = k_{уд} a \sin \alpha_1 y_3 dy_3 \quad (28)$$

Суммарный момент сопротивления одного скребка равен

$$M_3 = \int_{r_B}^{R_1} k_{уд} a \sin \alpha_1 y_3 dy_3 = \frac{1}{2} k_{уд} a \sin \alpha_1 (R_1^2 - r_B^2) \quad (29)$$

Работа всех сил сопротивления на один оборот ($\beta = 2\pi$) павна

$$A_3 = \int_{\beta_{01}}^{\beta_{02}} M_3(F_3) d\beta = \frac{k_{уд} a \beta \sin \alpha_1 (R_1^2 - r_B^2)}{2} \quad (30)$$

Мощность, необходимая для перемещения n_c скребков смесителя в массе

$$N_4 = \frac{A_3 W n_{ск}}{2\pi} \quad (31)$$

или

$$N_4 = \frac{k_{уд} a \beta W n_{ск} \sin \alpha_1 (R_1^2 - r_B^2)}{4\pi}$$

Суммарная потребная на смешивание будет равна

$$N = \frac{k_{уд} L_1 \beta \sin \alpha_1 (R_1^2 - R_0^2) W z_1}{4\pi} + \frac{k_{уд} L_2 \beta \sin \alpha_1 (R_3^2 - R_2^2) W z_2}{4\pi} +$$

$$\frac{k_{уд} a W n_k \beta \sin \alpha_1 (R_0^2 + R_2^2 - 2r_B^2)}{4\pi} + \frac{k_{уд} a W n_{ск} \beta (\sin \alpha_1 (R_1^2 - r_B^2))}{4\pi} \quad (32)$$

После преобразования формула (33) примет следующий вид

$$N_{см} = \frac{k_{уд} \beta \sin \alpha_1 W}{4\pi} [(R_1^2 - R_0^2) L_1 z_1 + (R_3^2 - R_2^2) L_2 z_2 +$$

$$+ a (n_k (R_0^2 + R_2^2 - 2r_B^2) + n_{ск} (R_1^2 - r_B^2))] \quad (33)$$

Из приведенной формулы видно, что потребная мощность на процесс смешивания зависит от конструктивных и технологических параметров рабочего органа, а также физико-механических свойств многокомпонентных кормовых смесей, в частности от удельного сопротивления движению лопастей в кормовой массе. На рис. 3 приведена диаграмма распределения суммарной мощности по составляющим, рассчитанным по полученным аналитическим зависимостям.

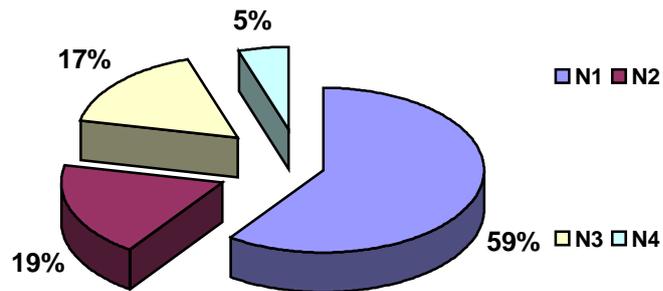


Рисунок 3 Баланс мощности: N_c , N_1 , N_2 , N_3 , N_4 - затраты энергии на привод рабочего органа смесителя, на преодоление сил сопротивления: вращения внутренней и внешней спиралей, движение в материале несущих кронштейнов и очистных скребков.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность использования в качестве рабочих органов ленточных лопастей полукольцевого типа. Равномерность смешивания при этом достигала 87...91%.