

УДК: 631.363.7

*А. В. КИТУН*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ НА ПРИВОД ШНЕКОВЫХ СМЕШИВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ**

*Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: anton.kitun@mail.ru*

Для приготовления кормосмеси из отдельных кормовых компонентов в смесителях кормов используются шнеки. Характер перемещения кормов в бункере различен, поэтому затраты энергии на выполняемый процесс будут зависеть от отдельных рабочих зон шнека. Одним из важных технических элементов, влияющим на мощность, затрачиваемую на выполнение технологического процесса транспортировки, является угол наклона винтовой линии шнека. Установлено, что этот параметр зависит от физико-механических свойств кормов и геометрических параметров бункера и шнеков, расположения их в бункере. Результаты исследований реализованы в мобильном смесителе-раздатчике СРК-10 для формирования и выдачи животным многокомпонентной обогатительной добавки.

*Ключевые слова:* кормосмесь, смеситель, шнек, бункер, затраты энергии, угол наклона винтовой линии шнека.

*A. V. KITUN*

### **DETERMINATION OF POWER TO THE DRIVE OF SCREW MIXING WORKING BODIES**

*The Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: anton.kitun@mail.ru*

To make feed mixtures from separate feed components screws are used in fodder mixers. The nature of feed movement in a hopper is different that is why energy consumption depends on separate working zones of a screw. One of the important technical elements affecting power required for transportation is a screw helix angle. It's established that this parameter depends on physical and mechanical properties of feed and geometric parameters of a hopper and a screw. The results of the research are implemented in a mobile fodder mixer IBS-10 for a multi-component enriched additive.

*Keywords:* feed mixture, fodder mixer, screw, hopper, energy consumption, screw helix angle.

Для приготовления животным кормосмеси из отдельных кормовых компонентов в смесителях используются шнеки. Эти рабочие органы, перемещая кормовые компоненты в бункере, обеспечивают за счет взаимного пересечения кормовых потоков, получение кормосмеси. Характер перемещения кормов в бункере различен, поэтому затраты энергии на выполняемый процесс будут зависеть от отдельных рабочих зон шнека [1, 2].

Цель работы – определение параметров шнека для смешивания кормовых компонентов, влияющих на мощность, затрачиваемую на выполнение технологического процесса.

Так как шнек расположен у днища бункера, то часть энергии будет затрачиваться на преодоление силы трения корма по этой поверхности (рис. 1). Эту мощность можно определить по формуле

$$N_{\text{тр}} = F_{\text{тр}}v_{\text{см1}}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{тр}}$  – сила трения корма о днище бункера, Н;  $v_{\text{см1}}$  – скорость перемещения корма вдоль оси днища бункера, м/с.

Сила трения  $F_{\text{тр}}$  возникает под действием силы тяжести корма, находящегося в рабочей части шнека. Тогда:

$$F_{\text{тр}} = m_{\text{к}}gf, \quad (2)$$

где  $m_{\text{к}}$  – масса корма, перемещаемая шнеками по днищу бункера, кг,

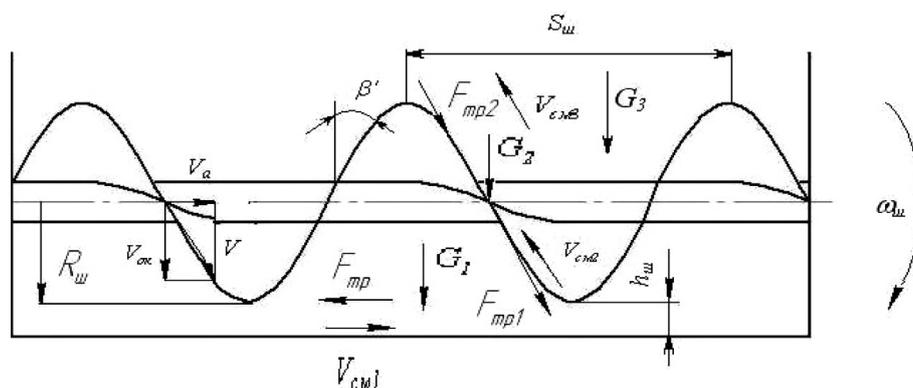


Рис. 1. Схема для определения мощности на привод шнека

$$m_k = W_k \rho,$$

$W_k$  – объем корма,  $m^3$ ;  $\rho$  – плотность корма,  $кг/м^3$ .

Так как шнек охвачен только нижней стенкой бункера на ограниченном участке, то объем перемещаемого корма можно определить по формуле

$$W_k = \frac{\pi R_{ш} h_{ш} \alpha_{ш1} L_{ш}}{360^\circ}, \quad (3)$$

где  $R_{ш}$  – радиус шнека, м;  $h_{ш}$  – зазор между витками шнека и нижней стенкой бункера, м;  $\alpha_{ш1}$  – угол охвата шнека нижней стенкой бункера, град;  $L_{ш}$  – длина шнека, м.

Скорость перемещения корма вдоль оси днища бункера ввиду малого зазора между витками шнека и стенкой будет равна осевой скорости, определяемой по формуле [3, 4]

$$v_{cm1} = v_a = S_{ш} \omega_{ш}. \quad (4)$$

Тогда мощность на преодоление силы трения корма у днища бункера определим по выражению

$$N_{тр} = \frac{\pi R_{ш} h_{ш} \alpha_{ш1} L_{ш} \rho}{360^\circ} g f S_{ш} \omega_{ш}. \quad (5)$$

где  $S_{ш}$  – шаг витков шнека, м;  $\omega_{ш}$  – частота вращения шнека,  $c^{-1}$ .

При вращении шнека кормовая масса перемещается по плоскостям его витков. Для этой части шнека величину затрат энергии на преодоление трения о витки можно определить по формуле

$$N_{тр1} = F_{тр1} v_{cm2}, \quad (6)$$

где  $F_{тр1}$  – сила трения корма о поверхность витков шнека, охваченных днищем бункера, Н.

Силу трения  $F_{тр1}$  определим по формуле

$$F_{тр1} = m_{k1} g f, \quad (7)$$

где  $m_{k1}$  – масса корма в межвитковом пространстве, кг,

$$m_{k1} = W_1 \rho \frac{\alpha_{ш2}}{360^\circ},$$

$W_1$  – объем корма в межвитковом пространстве,  $m^3$ ;  $\alpha_{ш2}$  – угол шнека не охваченный нижней стенкой бункера, град.

Объем корма в межвитковом пространстве на длине, равной одному шагу, определим по формуле

$$W_1 = (D_{ш}^2 - d_s^2) S_{ш} K_V, \quad (8)$$

где  $D_{ш}$  – диаметр шнека, м;  $d_{в}$  – диаметр вала шнека, м;  $K_V$  – коэффициент, учитывающий использование межвиткового пространства.

Тогда силу трения  $F_{тр1}$  можно определить по формуле

$$F_{тр1} = (D_{ш}^2 - d_{в}^2) S_{ш} K_V \rho \frac{\alpha_{ш2}}{360^\circ} g f. \quad (9)$$

Так как витки шнека ограничены днищем бункера, то корма перемещаются преимущественно в осевом направлении. Тогда можно принять, что  $V_{см2} = V_a \cos \beta'$ , и затраты энергии на перемещение кормов по виткам шнека определим по формуле

$$N_{тр1} = \frac{\alpha_{ш2}}{360^\circ} (D_{ш}^2 - d_{в}^2) 2 S_{ш} K_V \rho g f \omega_{ш} \cos \beta'. \quad (10)$$

Для части шнека, не ограниченной днищем бункера, затраты энергии на перемещение кормов по виткам, можно определить по уравнению

$$N_{тр2} = F_{тр2} v_{см3} \quad (11)$$

( $F_{тр2}$  – сила трения, возникающая при перемещении корма по виткам шнека не ограниченного днищем бункера, Н).

Силу трения, вызванную силой тяжести, можно определить по формуле

$$F_{тр2} = (W_{\delta} - W_{ш}) \rho g f, \quad (12)$$

где  $W_{\delta}$  – объем бункера, м<sup>3</sup>;  $W_{ш}$  – объем шнека, м<sup>3</sup>.

Так как верхняя часть шнека не ограничена вспомогательными плоскостями, то скорость перемещения корма по виткам будет равна сумме осевой и окружной скоростей:

$$v_{см3} = \sqrt{v_a^2 + v_{ок}^2}. \quad (13)$$

Величину окружной скорости можно определить из выражения

$$v_{ок} = v_a \operatorname{tg}(\beta' + \varphi_{тр}) = S_{ш} \omega_{ш} \operatorname{tg}(\beta' + \varphi_{тр}). \quad (14)$$

где  $\beta'$  – угол подъема винтовой линии шнека, град;  $\varphi_{тр}$  – угол трения, град.

Тогда

$$v_{см1} = \sqrt{(S_{ш} \omega_{ш})^2 \left[ 1 + \operatorname{tg}(\beta' + \varphi_{тр})^2 \right]}. \quad (15)$$

Подставив в уравнение (12) значения (13) и (15), получим

$$N_{тр2} = (W_{\delta} - W_{ш}) \rho g f \sqrt{(S_{ш} \omega_{ш})^2 \left[ 1 + \operatorname{tg}(\beta' + \varphi_{тр})^2 \right]}. \quad (16)$$

Суммировав затраты энергии на преодоление сил трения, определим мощность на привод шнека, которая зависит от физико-механических свойств кормов и геометрических параметров бункера и шнека:

$$N_{сумар} = N_{тр} + N_{тр1} + N_{тр2}. \quad (17)$$

Из приведенных теоретических изысканий видно, что мощность на привод шнековых рабочих органов зависит от физико-механических свойств кормов и геометрических параметров бункера и шнеков, расположения их в бункере.

Одним из важных технических элементов, влияющим на мощность, затрачиваемую на выполнение технологического процесса транспортировки, является угол наклона винтовой линии шнека. Для определения факторов, влияющих на данный параметр, рассмотрим винтовую по-

верхность шнека и действующие на нее силы при перемещении кормов (рис. 2).

При вращении на виток шнека действует сила обжатия корма  $F_{обж}$  и сила сжатия  $F_{сж}$ , направленная параллельно оси вала. Проекцией указанных сил является нормальная сила, которую можно выразить через угол трения и определить по формуле

$$N_{нор}^2 = (F_{обж}^2 + F_{сж}^2) \cos \varphi, \quad (18)$$

где  $\varphi$  – угол трения, град.

От нормальной силы возникает сила трения:

$$F_{тр} = N_{нор} f, \quad (19)$$

где  $f$  – коэффициент трения,

$$F_{тр} = \sqrt{F_{обж}^2 + F_{сж}^2} \cos \varphi. \quad (20)$$

При перемещении витком шнека корма, последний сжимается от действия сил  $F_{обж}$  и  $F_{сж}$  до величины  $h_{сж}$ . Относительное сжатие  $\varepsilon_{сж}$  можно выразить через относительную деформацию:

$$\varepsilon_{сж} = \mu \frac{h_{сж}}{h} \quad (21)$$

( $\mu$  – коэффициент Пуассона).

Силу сжатия можно определить по формуле

$$dF_{сж} = E \frac{h_{сж}}{h} dh_{сж} \operatorname{tg} \beta^1, \quad (22)$$

$$F_{сж} = \frac{E}{h} \operatorname{tg} \beta^1 \int_0^{h_{сж}} h_{сж} dh_{сж} = \frac{E}{2} \frac{h_{сж}^2}{h} \operatorname{tg} \beta^1. \quad (23)$$

Силу обжатия корма можно определить по формуле:

$$dF_{обж} = \varepsilon E dh_{сж} = \mu \frac{h_{сж}}{h} E dh_{сж}, \quad F_{обж} = \mu \frac{E}{h} \int_0^{h_{сж}} h_{сж} dh_{сж} = \mu \frac{E}{2} \frac{h_{сж}^2}{h}, \quad (24)$$

где  $E$  – модуль деформации корма, Н/м<sup>2</sup>.

Силу трения после определения составляющих определим по формуле

$$F_{тр} = \sqrt{\left( \frac{E}{2} \frac{h_{сж}^2}{h} \operatorname{tg} \beta^1 \right)^2 + \left( \mu \frac{E}{2} \frac{h_{сж}^2}{h} \right)^2} \cos \varphi. \quad (25)$$

Величина окружного усилия зависит от частоты вращения шнека  $\omega_{ш}$ , массы частицы корма, находящегося на плоскости витка шнека  $m_{в}$ , и радиуса приложения окружного усилия  $r_{ш}$  [5]:

$$F_{окр} = r_{ш} m_{в} \omega_{ш}^2. \quad (26)$$

Уравнение равновесия частицы корма будет иметь следующий вид:

$$F_{окр} - F_{тр} = 0. \quad (27)$$

В уравнение (27) подставим составляющие сил и определим угол наклона витка шнека:

$$r_{ш} m_{в} \omega_{ш}^2 - \sqrt{\left( \frac{E}{2} \frac{h_{сж}^2}{h} \operatorname{tg} \beta^1 \right)^2 + \left( \mu \frac{E}{2} \frac{h_{сж}^2}{h} \right)^2} \cos \varphi = 0.$$

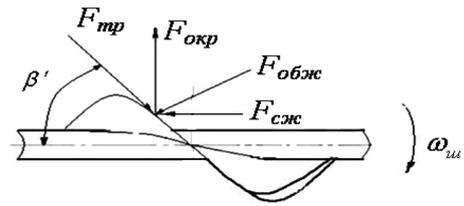


Рис. 2. Схема к определению угла наклона винтовой линии шнека

Откуда:

$$\beta' = \arctg \sqrt{\frac{(r_{ш} m_{в} \omega_{ш}^2)^2 - \mu^2 \frac{E^2 h^4}{4 h^2} \cos^2 \varphi}{\frac{E^2 h^4}{4 h^2} \cos^2 \varphi}}. \quad (28)$$

Из формулы (28) видно, что угол наклона винтовой линии шнека зависит от физико-механических свойств кормов, геометрических параметров шнека и частоты его вращения.

На основании проведенных теоретических изысканий были рассчитаны параметры шнеков, расположенных в модуле для многокомпонентной обогатительной добавки, устанавливаемом на мобильном смесителе-раздатчике СРК-10. Эти технические элементы смесителя выполняют две технологические операции – смешивание высокоэнергетических кормовых компонентов и подачу их на встречу находящихся во взвешенном состоянии стебельчатых кормов.

Новизна конструкции смесителя-раздатчика кормов и его технических элементов защищена патентами Республики Беларусь [6, 7].

### Выводы

Для получения кормосмеси в смесителях используются шнеки, которые, перемещая кормовые компоненты в бункере, обеспечивают за счет взаимного пересечения кормовых потоков получение кормосмеси. Так как характер перемещения кормов в бункере различен, то необходимо определять затраты энергии на выполняемый процесс с учетом отдельных рабочих зон шнека.

Установлено, что мощность на привод шнековых рабочих органов зависит от физико-механических свойств кормов и геометрических параметров бункера и шнеков, расположения их в бункере. Одним из важных технических элементов, влияющим на мощность, затрачиваемую на выполнение технологического процесса транспортировки, является угол наклона винтовой линии шнека.

### Список использованных источников

1. Кукта, Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г. М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 163 с.
2. Макаров, Ю. И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
3. Передня, В. И. Определение мощности на привод горизонтально установленных шнековых смешивающих рабочих органов смесителя кормов / В. И. Передня, А. В. Китун, А. Л. Передня // Инженер. вест. – 2007. – № 1. – С. 27–29.
4. Китун, А. В. Определение мощности на привод горизонтально расположенных шнековых смешивающих рабочих органов / А. В. Китун // Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: доклады междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12–13 июня 2008 г. / Белорус. гос. аграр.-техн. ун-т; редкол.: А. В. Кузьмицкий [и др.]. – Минск, 2008. – С. 41–44.
5. Моисеев, В. И. Расход энергии на экструдирование АКД / В. И. Моисеев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1982. – № 8. – С. 15–19.
6. Смеситель-раздатчик кормов: пат. № 1688 / В. И. Передня, А. В. Китун, А. А. Передня, А. А. Китун, В. М. Глецевич. – Оpubл. 04.12.2004.
7. Рабочий орган измельчителя кормов: пат. № 1523 / В. И. Передня, А. В. Китун. – Оpubл. 21.01.2004.

Поступила в редакцию 13.03.2015