

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНОГО СМЕСИТЕЛЯ

Семенцов В.И., к.т.н.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко*

*Установлено, что мощность для привода центробежного смесителя расходуется на перемещение потока сыпучего корма по рабочим каналам ротационного диска, а также для осуществления холостого хода. Базируясь на общих теоремах динамики систем, в частности теореме об изменении кинетической энергии системы за данный интервал времени, определена мощность для привода центробежного смесителя*

**Постановка проблемы.** Для обеспечения нормальной жизнедеятельности организма животного в большинстве случаев традиционных кормов недостаточно, при этом возникает необходимость добавления недостающих компонентов, которые являются дефицитными в традиционных кормах [1]. Поэтому для решения вопроса полноценного кормления сельскохозяйственных животных должен быть создан ряд взаимосвязанных технологических операций и машин, которые обеспечат строгое соблюдение соотношения компонентов рациона и равномерное их смешивание. Процесс смешивания компонентов является завершающим этапом и играет основную роль как фактор, от выполнения которого зависит качество конечного продукта и его себестоимость [2].

**Анализ последних исследований.** Процесс смешивания сыпучих материалов является сложным механическим процессом, механизм действия которого зависит главным образом от способа смешивания и конструкции смесителя, что вызывает дополнительные трудности в математическом истолковании этого явления [3]. Для осуществления процесса смешивания создано множество конструкций смесителей, которые в зависимости от цикличности выполнения технологического процесса делятся на смесители периодического действия и смесители непрерывного действия. Смесители непрерывного действия имеют значительные преимущества, так как у них процесс смешивания установившийся и стабильный, при этом появляется возможность получать такие смеси, в которых концентрация некоторых компонентов составляет 0,1 – 1% (лечебные препараты, микроэлементы, витамины и другие). Перспективным направлением повышения качества процесса смешивания является создание таких способов смешивания сыпучих материалов, которые обеспечат управление перераспределением смешиваемых компонентов, а их реализация в конструкциях смесителей позволит обеспечить заданную однородность смеси и снизить затраты на процесс смешивания [4].

**Результаты исследований.** Основным показателем, характеризующим

работу смесителей сыпучих кормов, является потребляемая мощность для его привода. Расчеты расхода мощности для привода центробежных дисков приведены в работах [5, 6], применительно к центробежным аппаратам для внесения минеральных удобрений и центробежного смесителя сыпучих материалов. Однако известные аналитические зависимости для определения мощности привода ротационных дисков не могут быть применены в нашем случае по причине значительных отличительных особенностей технологических принципов их работы и конструктивного исполнения.

Исходя из конструктивных особенностей центробежного смесителя сыпучих кормов (рис. 1) определяем, что мощность для его привода расходуется на перемещение потока сыпучего корма по рабочим каналам ротационного диска, а также для осуществления холостого хода.

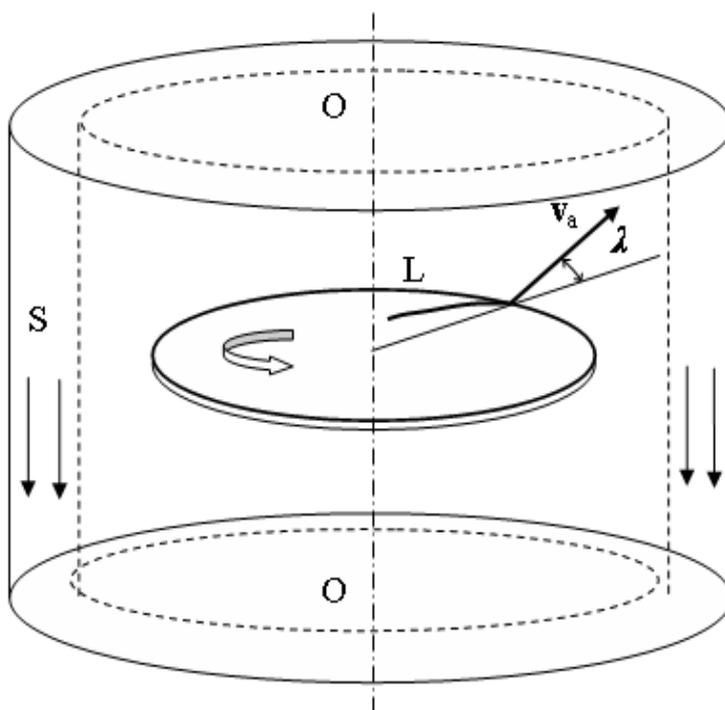


Рисунок 1 – Принципиальная схема центробежного смесителя сыпучих кормов

В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде вдоль его стенок движется слой  $S$  сыпучего материала. Внутри цилиндра находится диск с каналами  $L$ , расположенный горизонтально и вращающийся вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . По каналам  $L$  от центра к периферии диска под действием центробежной силы двигаются частицы внедряемой фракции. Движение по каналу начинается на расстоянии  $R_0$  от оси вращения и заканчивается на расстоянии  $R$ . Затем эти частицы внедряются в слой  $S$ . Для каждого канала значения  $R$  различные и выбираются так, чтобы частицы внедряемого материала равномерно распределялись по толщине слоя  $S$ . При движении частицы по каналу действующие на нее силы совершают работу, что дает дополнительную нагрузку на двигатель. От двигателя прикладывается крутящий момент  $M_{кр}$  к диску смесителя. После раскрутки

диска до стационарного режима мощность двигателя затрачивается на преодоление сил трения подшипников самого двигателя со смесителем и дополнительные затраты энергии на перемещение частиц по каналам. В дальнейшем нас будет интересовать именно этот дополнительный расход энергии.

Подсчет требуемой мощности на перемещение частиц по каналам диска базируется на общих теоремах динамики систем [7]. Так как крутящий момент  $M_{кр}$  прикладывается к диску, то в состав системы введем диск и частицу сыпучего материала, движущуюся по каналу. На систему действуют: крутящий момент  $M_{кр}$  и сила тяжести  $mg$ , относящиеся к внешним силам; силы взаимодействия между частицей и диском, относящиеся к внутренним силам. На рис. 2 изображены силы  $T$ ,  $M = Nn + mgk$  ( $n$  – главная нормаль кривой линии канала,  $T$  – сила трения,  $M$  – сила нормального давления, лежащая в плоскости  $P$ ) с которыми действует диск на частицу.

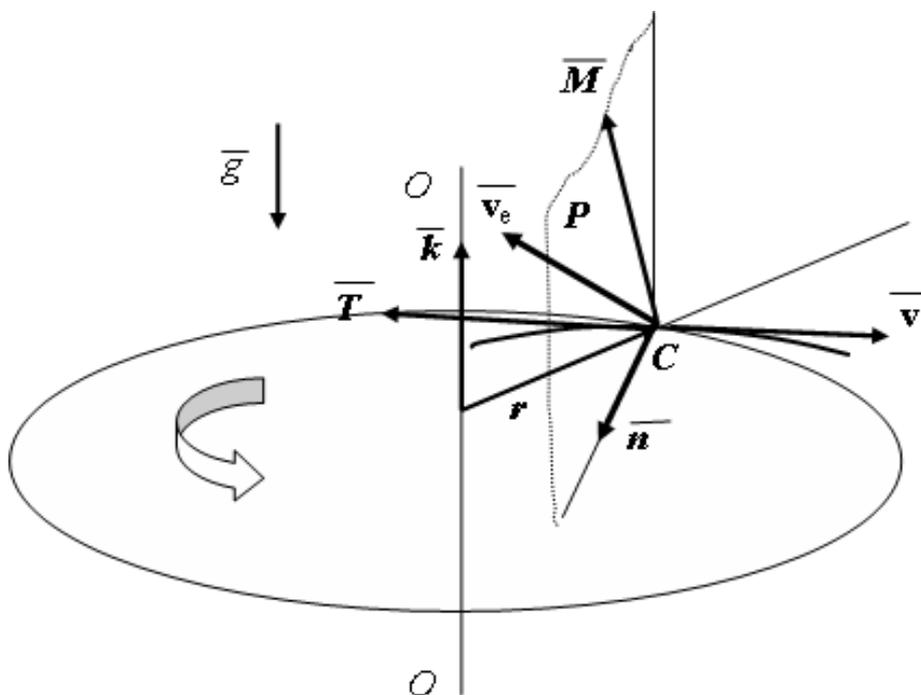


Рисунок 2 – Схема сил, действующих на частицу сыпучего корма при движении ее по рабочему каналу диска

В силу третьего закона Ньютона те же силы только противоположного направления действуют со стороны частицы на диск. Согласно теореме об изменении кинетической энергии изменение кинетической энергии системы за данный интервал времени равняется работе, совершаемой внешними и внутренними силами, действующими на систему, за интервал времени [7].

Применяя эту теорему для случая бесконечно малого интервала времени  $dt$ , получим

$$dK = \delta A^{(e)} + \delta A^{(i)}, \quad (1)$$

где  $K$  – кинетическая энергия системы;

$\delta A^{(e)}$  - элементарная работа, совершаемая внешними силами;  
 $\delta A^{(i)}$  - элементарная работа, совершаемая внутренними силами.

В нашем случае кинетическая энергия системы  $K$  состоит из кинетической энергии диска  $K_d$  и материальной точки  $K_t$ . Будем считать диск однородным. Тогда

$$K_d = \frac{J_z \omega^2}{2}, \quad J_z = \frac{MR^2}{2}, \quad (2)$$

где  $M$  – масса диска;  
 $J_z$  – момент инерции диска относительно оси вращения  $OO$ .

Кинетическая энергия материальной точки равна

$$K_t = \frac{mv_a^2}{2}, \quad (3)$$

где  $v_a$  – абсолютная скорость частицы;  
 $m$  – ее масса.

Работа внешних сил состоит из работы крутящего момента двигателя, приложенного к диску, и равной  $M_{кр} \cdot \omega \cdot dt$ . Так как центр масс диска в процессе его движения не меняет своего положения в пространстве, то работа сил тяжести для вращающегося диска равна нулю. Частица в канале движется в горизонтальной плоскости, т.е. в направлении, перпендикулярном направлению силы тяжести. Следовательно, работа силы тяжести, действующей на частицу, также равна нулю. Таким образом,

$$\delta A^{(e)} = M_{кр} \omega dt. \quad (4)$$

Работа внутренних сил определяется следующим выражением

$$\delta A^{(i)} = \vec{T} \cdot d\vec{r}_a - \vec{T} \cdot d\vec{r}_e + \vec{M} \cdot d\vec{r}_a - \vec{M} \cdot d\vec{r}_e, \quad (5)$$

где  $d\vec{r}_a = \vec{v}_a dt$ ,  $d\vec{r}_e = \vec{v}_e dt$  - элементарные перемещения частицы и точки диска, в которой в данный момент находится частица.

Слагаемые в правой части выражения (5), взятые со знаком плюс, представляют собой работу внутренних сил, действующих на частицу, а со знаком минус – работу внутренних сил, действующих со стороны частицы на диск. Из соотношения (5) следует

$$\delta A^{(i)} = \vec{T} \cdot (\vec{v}_a - \vec{v}_e) dt + \vec{M} \cdot (\vec{v}_a \cdot \vec{v}_e) dt = (\vec{T} \cdot \vec{v} + \vec{M} \cdot \vec{v}) dt \quad (6)$$

Так как векторы  $M$  и  $v$  являются ортогональными, то второе слагаемое в скобках в (6) обращается в нуль.

При стационарном вращении диска кинетическая энергия его сохраняется. Поэтому соотношение (1) можно представить в виде

$$\frac{dK_t}{dt} = M_{кр} \omega + \vec{T} \cdot \vec{v}. \quad (7)$$

Уравнения динамики абсолютного движения частицы имеет вид [1]

$$m \frac{d\vec{v}_a}{dt} = \vec{T} + m\vec{g} + \vec{M} \quad (8)$$

Если умножить скалярным образом обе части уравнения (8) на вектор  $\vec{v}_a$  и учесть то, что векторы  $\vec{v}_a$  и  $\vec{g}$  ортогональны, то после несложных преобразований перейдем к соотношению, выражающему собой теорему "живых сил"

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{mv_a^2}{2} \right) = \frac{dK_t}{dt} = (\vec{T} + \vec{M}) \cdot \vec{v}_a. \quad (9)$$

Первое слагаемое в правой части (7) представляет собой мощность  $N_{дв}$  двигателя, необходимую для перемещения частицы по каналу. Приравнявая правые части в соотношениях (8) и (9), и учитывая ортогональность векторов  $\vec{v}_a$  и  $\vec{k}$  получим выражение для мощности двигателя  $N_{дв}$

$$\vec{N}_{дв} = \vec{T} \cdot \vec{v}_e + N\vec{n} \cdot \vec{v}_e. \quad (10)$$

Для получения выражений сил  $T$  и  $N$  удобнее рассматривать движение точки в неинерциальной подвижной системе координат  $(x, y, z)$  (рис. 3), связанной с диском.

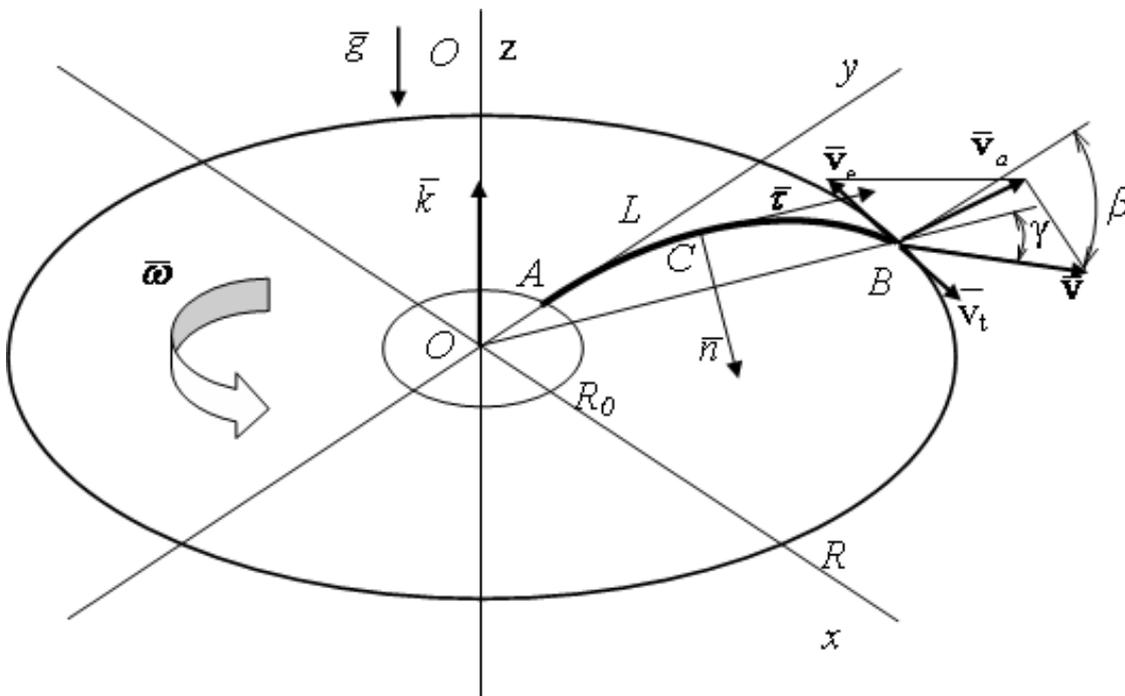


Рисунок 3 – Схема движения материальной точки в неинерциальной подвижной системе координат

Уравнения движения частицы в проекциях на оси естественного трехгранника в этом случае имеют вид

$$m\ddot{s} = T + m\omega^2 \vec{r} \cdot \vec{\tau}, \quad (11)$$

$$m\dot{s}^2 / R_1 = N + m\omega \vec{r} \cdot \vec{n} + 2m\omega \dot{s}, \quad (12)$$

$$0 = -mg + G, \quad (13)$$

где  $s$  – дуговая координата частицы в канале  $L$ ;

$$T = -\text{sign}(\dot{s}) f \sqrt{N^2 + G^2}. \quad (14)$$

Из соотношения (2.44) находится  $G$ , а из (12) величина  $N$

$$N = mv^2 / R_1 - m\omega \vec{r} \cdot \vec{n} - 2m\omega v, \quad (v = \dot{s}). \quad (15)$$

Если учесть, что единичные вектора  $\tau$  и  $n$  имеют следующие компоненты  $\tau = (x', y', 0)$ ,  $n = (y', -x', 0)$  ( $()' = d()/ds$ ), а переносная скорость равна  $v_e = \omega \cdot x \cdot r$ , то выражение для мощности  $N_{ДВ}$  принимает вид

$$\begin{aligned} N_{ДВ} &= \left| \vec{T} \cdot (\vec{\omega} \times \vec{r}) + N \vec{n} \cdot (\vec{\omega} \times \vec{r}) \right| = \left| \omega \left[ -T(\vec{r} \cdot \vec{n}) - N(\vec{r} \cdot \vec{\tau}) \right] \right| \\ &= \left| \omega \left[ T(xy' - yx') + N(xx' + yy') \right] \right|. \end{aligned} \quad (16)$$

Последнее соотношение определяет мощность как функцию времени,  $N_{ДВ}$  зависит от положения частицы в канале. Как правило, в технике пользуются средним значением мощности  $N_{СР}$ , которое определим как отношение работы соответствующих сил к времени  $t_k$ , за которое эта работа выполняется

$$N_{ДВ} = \frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} N_{СР} dt \quad (17)$$

Формула (17) дает выражение средней мощности, необходимой для перемещения одной частицы по соответствующему каналу. В случае движения нескольких частиц по одному и тому же каналу  $N_{СР}$  необходимо умножить на  $n_d$  число частиц, поступающих в канал за единицу времени. При наличии множества каналов различной длины общая мощность  $N_{ОБЩ}$  определяется суммированием всех мощностей, связанных с отдельными каналами

$$N_{ОБЩ} = n_d \sum_{k=1}^{p^*} \frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} N_{СР} dt = n_d \cdot N_{СР} \cdot p^*, \quad (18)$$

где  $p^*$  – число каналов в диске.

**Выводы.** Базируясь на общих теоремах динамики систем, в частности теореме об изменении кинетической энергии изменение кинетической энергии системы за данный интервал времени, определена мощность для привода

центробежного смесителя.

### Список использованных литературных источников

1. Боярский Л.Г. Технология кормления и полноценное кормление сельскохозяйственных животных. - Ростов н/Д: Феникс, 2001. - 200 с.
2. Ревенко І.І., Ревенко Ю.І. Комплексна оцінка варіантів приготування комбінованих кормів // Техніка в АПК. 2000.- №11. – С. 26-27.
3. Макаров Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – 215 с.
4. Семенцов В.І., Бойко І.Г. До питання вибору раціональної технологічної схеми змішувача сипучих матеріалів // Механізація с.г. виробництва: Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2003. – Вип.20. – С.446-449.
5. Назаров С.И. Теоретическое исследование центробежных аппаратов для внесения удобрений // Вопросы сельскохозяйственной механики.– Минск: Ураджай. -1967.- Т. 17. – С. 46-81.
6. Хвальнов А.М. Определение энергетических затрат на работу смесителя центробежного действия для сыпучих тел // Химическое машиностроение. 1962. - №2. – С. 20-23.
7. Кильчевский Н.А. Курс теоретической механики.- М.: Наука, 1972. -453 с.

### Анотація

#### ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ПРИВОДУ ВІДЦЕНТРОВОГО ЗМІШУВАЧА

Семенцов В.І

*Встановлено, що потужність для приводу відцентрового змішувача витрачається на переміщення потоку сипкого корму по робочих каналах ротаційного диска, а також для здійснення холостого ходу. Базуючись на загальних теоремах динаміки систем, зокрема теоремі про зміну кінетичної енергії системи за інтервал часу, визначена потужність для приводу відцентрового змішувача*

### Abstract

#### DETERMINATION OF POWER FOR A DRIVE CENTRIFUGAL MIXER

V. Semenjov

*It is set that power for the drive of centrifugal mixer is expended on moving of stream of friable feed on the working channels of rotary disk, and also for realization of idling. Being based on the general theorems of dynamics of the systems, in particular to the theorem about the change of kinetic energy of the system for this time domain, power is certain for the drive of centrifugal mixer*