

## УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ВДОЛЬ РАДИУСА МЕШАЛКИ

**И.М. Швед, ст. преподаватель, А.В. Китун, докт. техн. наук, доцент, Н.Н. Дедок, канд. ф-м. наук, доцент, В.М. Колончук, ст. преподаватель (БГАТУ); В.И. Передня, докт. техн. наук, профессор (РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»); С.В. Стасюкевич, студент (БГАТУ)**

### Аннотация

*Внедрение энергосберегающей техники на фермах и комплексах позволит уменьшить затраты на выполнение сложных технологических операций. В статье приведен теоретический расчет, позволяющий определить уравнение движения частицы вдоль радиуса мешалки.*

*The introduction of energy-saving technology on farms and complexes will allow reducing expenses for performance of the technological operation. In the article the theoretical calculation is given, that allows defining the equation of movement of the particle along mixer radius.*

### Введение

Современное производство животноводческой продукции для обеспечения своего благоприятного экономического положения должно быстро реагировать на требования рынка сбыта продукции. В сфере производства продукции животноводства, которое отличается совокупностью большого разнообразия биологических и технических объектов, природных факторов и сложностью их взаимодействия, это возможно при наличии механизма, определяющего место и время реализации управляющего воздействия в технологической цепи производства [1].

Интенсификация животноводческой отрасли сельскохозяйственного производства путем внедрения достижений научно-технического прогресса – это сложный процесс, охватывающий все экономические аспекты и оказывающий большое влияние на увеличение валовой продукции, снижение ее себестоимости и повышение рентабельности отрасли.

### Основная часть

Одной из энергоемких операций в животноводстве является смешивание кормов в различного рода смесителях, перемешивание до однородного состояния жидкого навоза в навозохранилищах миксером. В качестве активных рабочих органов для реализации механического способа перемешивания различных сред используются мешалки.

В конструкции мешалки можно выделить всасывающую поверхность (тыльную) и нагнетательную поверхность (лицевую), при вращении которой происходит увеличение давления и скорости потока жидкой среды [2]. В этом случае, в результате разности скоростей между вращающейся вокруг оси мешалкой и частицей перемешиваемой массы, происходит разрушение слежавшегося осадка с последующим перемешиванием его до однородного состояния.

Параметры мешалки должны обеспечивать условия для осуществления перемешивания среды до од-

нородного состояния, разрушения слежавшегося слоя осадка с минимальными затратами энергии.

Для определения уравнения движения частицы вдоль радиуса мешалки рассмотрим силы (рис. 1), которые действуют на нее при перемещении по ее рабочей поверхности.

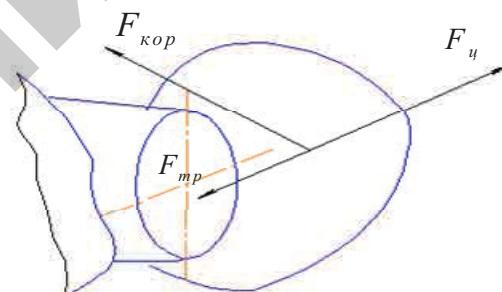


Рисунок 1. Схема сил, приложенных на частицу

При перемешивании массы, ее частицы поступают в рабочую зону мешалки и подвергаются воздействию. При этом частицы начинают двигаться с относительной скоростью и перемещаться в радиальном направлении [3].

Одновременно они приобретают переносную скорость, действием которой увлекаются в круговое движение. При этом на частицу, перемещающуюся по рабочей поверхности мешалки, действуют следующие силы:

– сила трения частицы о рабочую поверхность мешалки

$$F_{mp} = f \cdot m \cdot g, \quad (1)$$

где  $f$  – коэффициент трения по металлу;

$m$  – масса частицы, кг;

$g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ ;

– центробежная сила:

$$F_u = m \cdot \omega_m^2 \cdot r, \quad (2)$$

где  $\omega_m$  – угловая скорость мешалки,  $\text{с}^{-1}$ ;

$r$  – радиус перемещения частицы, м;

– кориолиссова сила:

$$F_{\text{кор}} = 2 \cdot m \cdot \omega_m \cdot \frac{dr}{dt}, \quad (3)$$

где  $\frac{dr}{dt}$  – скорость движения частицы навоза, м/с.

Из рассмотренных на рис. 1 разности сил, приложенных на частицу, можно записать дифференциальное уравнение движения частицы:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 r}{dt^2} - m \cdot \omega_m^2 \cdot r + 2 \cdot f \cdot m \cdot \omega_m \cdot \frac{dr}{dt} &= \\ = -f \cdot m \cdot g. \end{aligned} \quad (4)$$

Полученное уравнение является линейно-неоднородным дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами. Его общее решение состоит из суммы общего решения однородного уравнения (5) и частного решения полного уравнения (4):

$$\frac{d^2 r}{dt^2} - \omega_m^2 \cdot r + 2 \cdot f \cdot \omega_m \cdot \frac{dr}{dt} = 0. \quad (5)$$

Решая уравнение (5), получим:

$$\begin{aligned} r = C_1 \cdot e^{-\left(f \cdot \omega_m + \omega_m \sqrt{f^2 + 1}\right)t} + \\ + C_2 \cdot e^{-\left(f \cdot \omega_m - \omega_m \sqrt{f^2 + 1}\right)t}. \end{aligned} \quad (6)$$

где  $C_1, C_2$  – постоянные коэффициенты.

Находим частное решение неоднородного уравнения (4):

$$\text{При } r=C \text{ имеем } \frac{d^2 r}{dt^2} = 0 \text{ и } \frac{dr}{dt} = 0.$$

Тогда уравнение (4) примет вид

$$0 - \omega_m^2 \cdot C + 0 = -f \cdot g,$$

$$\text{откуда } C = \frac{f \cdot g}{\omega_m^2}.$$

Таким образом, искомое общее решение уравнения (4) имеет вид

$$\begin{aligned} r = C_1 \cdot e^{-\left(f \cdot \omega_m + \omega_m \sqrt{f^2 + 1}\right)t} + \\ + C_2 \cdot e^{-\left(f \cdot \omega_m - \omega_m \sqrt{f^2 + 1}\right)t} + \frac{f \cdot g}{\omega_m^2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Постоянные интегрирования находим по начальным условиям. При начальных условиях  $t=0, r=r_0$ ,  $\frac{dr}{dt} = 0$  получим:

$$\begin{cases} r_0 = C_1 + C_2 + \frac{f \cdot g}{\omega_m^2}, \\ -C_1 \cdot \omega_m \cdot \left( f + \sqrt{f^2 + 1} \right) - \\ -C_2 \cdot \omega_m \cdot \left( f - \sqrt{f^2 + 1} \right) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Решим систему уравнений относительно  $C_1$  и  $C_2$ :

$$\begin{cases} C_1 = r_0 + \frac{f \left( f \cdot g - r_0 \cdot \omega_m^2 \right)}{2 \omega_m^2 \sqrt{f^2 + 1}} - \\ - \frac{\sqrt{f^2 + 1} \left( f \cdot g + r_0 \cdot \omega_m^2 \right)}{2 \omega_m^2 \sqrt{f^2 + 1}}, \\ C_2 = -\frac{\left( f + \sqrt{f^2 + 1} \right) \cdot \left( f \cdot g - r_0 \cdot \omega_m^2 \right)}{2 \omega_m^2 \sqrt{f^2 + 1}}. \end{cases} \quad (9)$$

Тогда решение (7) уравнения (4) примет вид:

$$\begin{aligned} r = & \left( r_0 + \frac{f \left( f \cdot g - r_0 \cdot \omega_m^2 \right) - \sqrt{f^2 + 1} \left( f \cdot g + r_0 \cdot \omega_m^2 \right)}{2 \omega_m^2 \sqrt{f^2 + 1}} \right. \\ & \times e^{-\left(f \cdot \omega_m + \omega_m \sqrt{f^2 + 1}\right)t} - \frac{\left( f + \sqrt{f^2 + 1} \right) \cdot \left( f \cdot g - r_0 \cdot \omega_m^2 \right)}{2 \omega_m^2 \sqrt{f^2 + 1}} \\ & \times e^{-\left(f \cdot \omega_m - \omega_m \sqrt{f^2 + 1}\right)t} + \frac{f \cdot g}{\omega_m^2}. \end{aligned} \quad (10)$$

**Заключение**

Из формулы (10) видно, что при движении частицы вдоль радиуса мешалки необходимо учитывать динамический характер процессов, происходящих при перемешивании различных сред в рабочей зоне мешалки, физико-механические свойства этих сред и параметры мешалки.

Также из выражения (10) видно, что при увеличении угловой скорости мешалки перемещение частицы в радиальном направлении вдоль радиуса мешалки также увеличивается.

УДК 539.3; 517.9

**ЛИТЕРАТУРА**

- Шацкий, В.В. Моделирование механизированных процессов приготовления кормов. – Запорожье: ПЦ <<Х – ПРЕСС>>, 1998. – 140 с.
- Машины для перемешивания материалов. – Ч. 2: смесители периодического действия/ Д.Р. Дамдинова. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский гос. технич. университет, 2000.
- Медведев, В.А. Гидравлика и гидравлические машины: учеб. пособ. для вузов/ В.А. Медведев. – Минск: Вышэйш. шк., 1998. – 311 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 5.04.2012

## **МЕТОД КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

**В.Н. Дацков, докт. техн. наук, профессор, Е. В. Жеребятьев, студент (БГАТУ)**

**Аннотация**

*Рассмотрены теоретические подходы к применению при проектировании сельскохозяйственной техники метода создания искусственных местных концентраторов напряжений с использованием современных программных средств и построения модели нагружения детали методом конечных элементов (МКЭ).*

*The article considers theoretical approaches to the use of designing of agricultural technology of artificial local concentrators, using modern software tools and building a model by finite element method (FEM).*

**Введение**

В процессе подготовки будущих инженеров-машиностроителей, как правило, учат избегать концентраторов напряжений, как опасных и нежелательных явлений, снижающих сопротивление тела ударным нагрузкам [1]. Однако это не совсем верно. Целесообразно взглянуть на проектирование деталей с совершенно противоположной стороны. Ведь концентраторы напряжений можно рассматривать и с точки зрения их полезности – будучи размещены в нужном месте, они способны не ослабить деталь, а частично ее разгрузить.

**Основная часть**

Концентрация напряжений в теории упругости – сосредоточение больших напряжений на малых участках, прилегающих к местам с различного рода изменением формы поверхности или сечения деформированного тела. Факторами, обусловливающими концентрацию напряжений (т. н. концентраторами напряжений), являются отверстия, полости, трещины, выточки, надрезы, углы, выступы, острые края, резьба, а также различные неровности поверхности (риски, царапины, метки, сварные швы и т. п.). Для распределения напряжений в зоне концентрации характерно резкое изменение напряжённого состояния, сопровождаемое быстрым затуханием напряжений при удалении от этой зоны (рис. 1, а) [2].

При растяжении широкого образца толщиной  $h$  с двусторонней выточкой, имеющей форму гиперболы (рис. 2), наибольшие напряжения  $\sigma_{\max}$  будут на кон-

туре выточки в её вершине. Для различных  $a/\rho$  в вершине выточки

$$\sigma_{\max} = p \frac{2(a/\rho + 1)\sqrt{a/\rho}}{(a/\rho + 1) \operatorname{arc tg} \sqrt{a/\rho} + \sqrt{a/\rho}} \quad (1)$$

где  $a$  – 0.5 ширины образца  $2a$  между выточками, м;  $\rho$  – радиус кривизны выточки, м;

$p = P/2ah$  так называемое номинальное напряжение, равное среднему нормальному растягивающему напряжению  $P$  по наиболее узкому поперечному сечению образца.

Из формулы (1) видно, что  $\sigma_{\max} = 2,65p$  при  $a/\rho=4$ . По мере удаления от контура выточки  $\sigma_{\max}$  быстро затухают и очень скоро становятся значительно меньше  $p$ , а при уменьшении  $p$  – быстро возрастают. Чем больше максимальное напряжение в месте концентрации по сравнению с  $p$ , тем резче наблюдается затухание напряжений при удалении от наиболее напряженной зоны. Это особенно резко проявляется в случае пространственного напряженного состояния.

Свойством быстрого затухания напряжений возле концентратора можно воспользоваться для уменьшения наибольшего напряжения, имеющегося в соседстве с данным концентратором, путем устройства дополнительного концентратора напряжений.

Количественной оценкой концентратора напряжений служат коэффициенты концентрации напряжений  $a_\sigma$  – теоретический и  $a_t$  – технический, определяемый экспериментально.