

Уваров В. А., д-р техн. наук, проф.,  
Лозовой Н. М., аспирант  
Белгородский государственный технический университет им. В. Г. Шухова

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ В СМЕСИТЕЛЕ С ИЗМЕНЯЕМОЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

lozwa88@mail.ru

Предложена расчетная схема движения материальной точки  $M$  для определения сил, действующих на нее при перемешивании материалов в устройстве с изменяемой рабочей камерой, а также получены уравнения для определения сил, затрачиваемых на преодоления сопротивлений смешиваемой среды от конструктивных и технологических параметров.

**Ключевые слова:** изменяемая камера, силы, вращение с эксцентриситет, траектория, межсекторальный слой.

Для определения геометрических параметров разрабатываемого устройства [1-2], при проведении прочностных расчетов необходимо

определить силы, действующие в загрузке. Была предложена расчетная схема (рис. 1) для их определения.

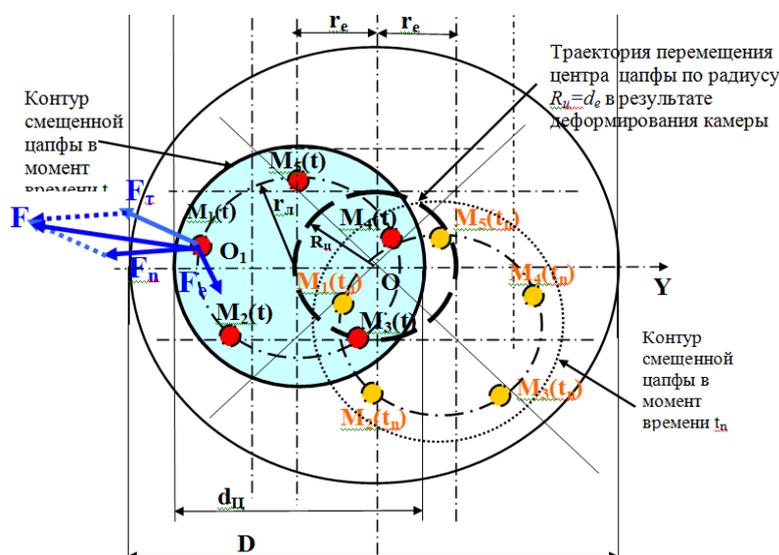


Рис. 1. Расчетная схема для моделирования кинематики загрузки в смесительных устройствах с изменяемыми рабочими камерами

Для проверки правильности выбора расчетной схемы были проведены оценочные испытания. При исследовании характера смешивания компонентов в поперечном сечении производилось имитирование перемещения смеси лопатками 1, закрепленными в цапфе 2 в слое материала толщиной 10 мм (светлый – песок 3, темный – земля 4) в стеклянной емкости 5, (рис. 2, а), а характер перемещения частиц фиксировался поэтапным фотографированием через 2, 5, 10 и 20 оборотов перемещения цапфы в стеклянной емкости.

По рисунку 1 в поперечном сечении материальная точка  $M_i$ , вращается вместе с лопаткой по радиусу  $r_n$  и цапфой центр которой перемещается относительно оси камеры с радиусом равным  $R_e = d_e$ , в результате каждая лопатка и вовлекаемые ими частицы материала должны

совершать обороты по окружности, что видно на фотографии рисунка 3, а.

В процессе дальнейшего перемешивания вовлекаются прилежащие частицы. Таким образом, после 20 оборотов цапфы практически все частицы, прилегающие к лопаткам поперечного слоя перемешиваются (рис. 3). Из рисунка 3, г видно, что имеют место не перемешанные области, так называемые мертвые зоны, которые можно ликвидировать, добавив дополнительные лопатки, расположенные на радиусе ближе к центру цапфы. Таким образом, фотографии подтверждают правильность принятой расчетной схемы движения материальной точки  $M$  (рис. 1) для определения сил, действующих на нее при перемешивании материалов в устройстве с изменяемой рабочей камерой.

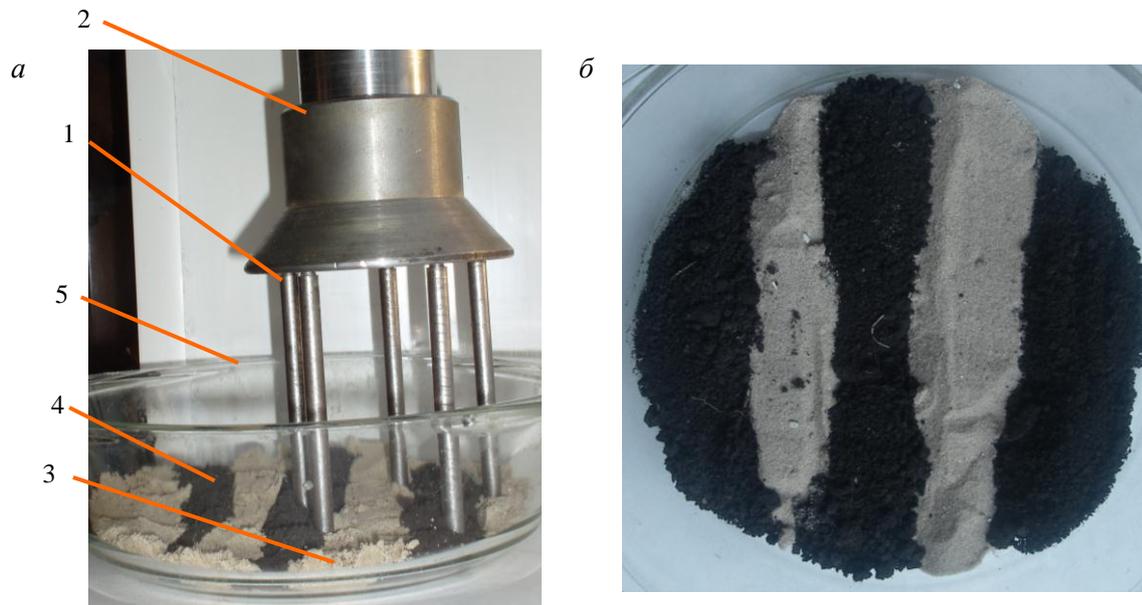


Рис. 2. Организация исследования характера смешивания компонентов в поперечном сечении

Рассмотрим силы, действующие на движущуюся материальную точку  $M$  в рабочей камере деформируемой вращением с эксцентриситетом (рис. 1, 4) [3-5]. При этом рабочая камера имеет следующие геометрические параметры:

$B_1B_2=d_{ц}$  - диаметр цапфы рабочей камеры;

$A_1A_2=D$  - диаметр основания;

$OO_e=d_e$  - эксцентриситет вращения камеры;

$OO_1=L$  - длина камеры;

$C_1C_2$  - диаметр срединной части камеры.

Ось  $OX$  совпадает с осью симметрии камеры, при этом значения  $x$  изменяются от точки  $O_1$  до  $O$ . Вращение камеры с эксцентриситетом яв-

ляется вращением вокруг оси  $O_1O_e$ . Для расчетов принимаем цилиндрическую систему координат. В этом случае радиус  $r$  описываемый точкой  $M$ , будет изменяться в пределах от

$$0 \leq x \leq L; \quad r'_1(x) - r' \leq r \leq r'_2(x) + r', \quad (1)$$

где  $r'$  - определяется из соотношения подобных треугольников (рис. 4, б);

$$r' = \frac{L-x}{L} d_e. \quad (2)$$

где  $x$  - иксовая координата материальной точки;  $d_e$  - эксцентриситет вращения камеры.

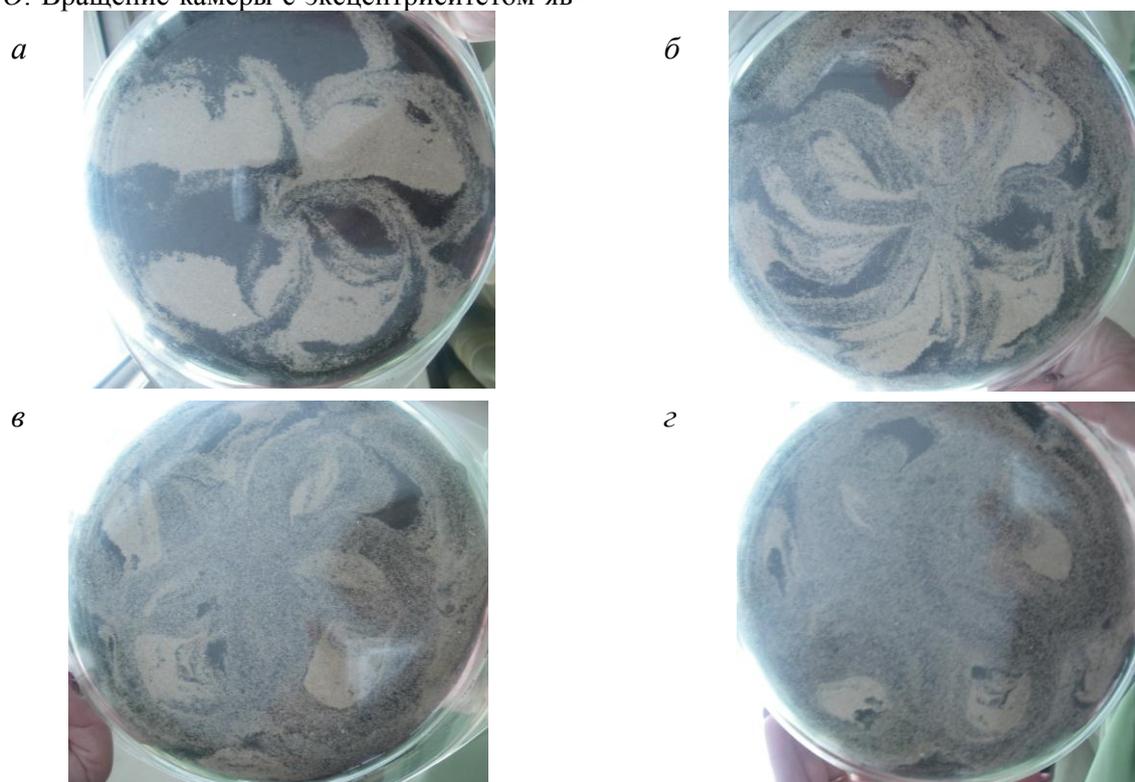


Рис. 3. Характер перемешивания смеси в поперечном сечении

Для упрощения расчетов, поверхность деформирования камеры данной схемы задается параболой  $A_2C_2B_2$  (рис 4, а), формула, которой в общем виде задается  $y^2 = 2px$ . Из построения следует, что  $d_u = 0,4D$ , тогда уравнение искомой параболы примет вид

$$y^2 = 0,045 \frac{D^2}{L} x. \quad (3)$$

$$\begin{cases} 0,5D = k_2L^2 + l_2L + m_2 \\ 0,35D = k_2 \frac{L^2}{4} + l_2 \frac{L}{2} + m_2 \\ 0,2D = m_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k_2 = -\frac{0,6D}{L^2} \\ l_2 = \frac{0,9D}{L} \\ m_2 = 0,2D \end{cases}. \quad (5)$$

Из анализа рисунка 1 на загрузку действуют следующие силы:

–  $F_n$  - сила обуславливающая сдвиг межсекториальных слоев загрузки;

Функции  $r_1(x)$  и  $r_2(x)$  представляют собой уравнения парабол проходящих через точки  $A_1C_1B_1$  и  $A_2C_2B_2$ . Определим параметры этих парабол:

при  $A_2(L; 0,5D); C_2(\frac{L}{2}; 0,35D); B_2(0; 0,2D)$ ,

т.к. из ф.3  $C_xC_2 \approx 0,15D$ .

Тогда

$$r_2(x) = k_2x^2 + l_2x + m_2; \quad (4)$$

–  $F_r$  - сила взаимодействия компонентов смеси со стенками рабочей камеры;

–  $F_e$  - сила, зависящая от эксцентриситета и отвечающая за перемещение загрузки по высоте камеры в результате ее деформирования.

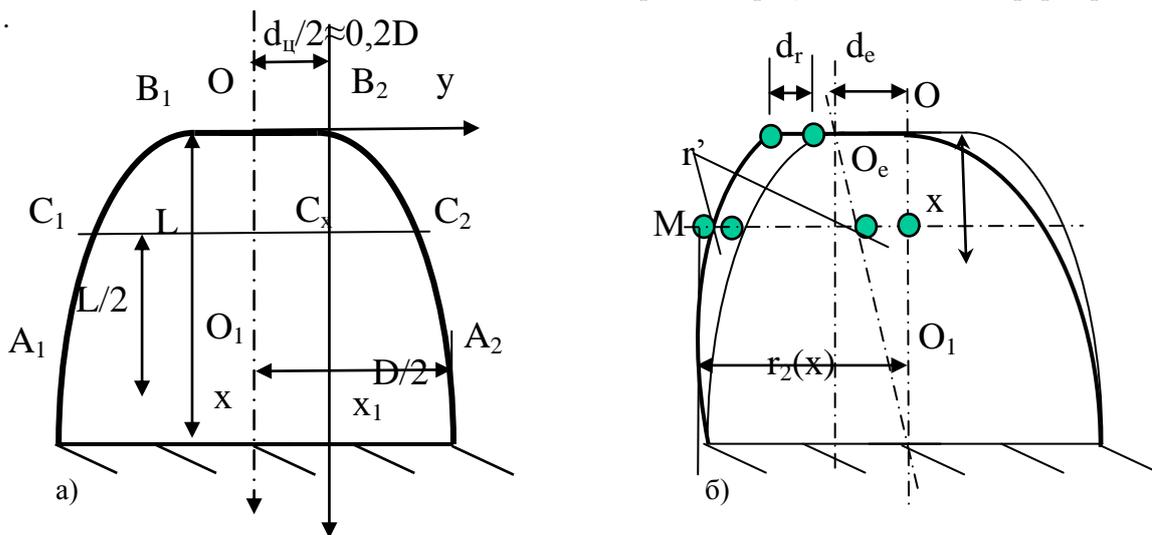


Рис. 4. Расчетная схема

Выражение для элементарной силы  $F_n$ , действующей на элементарную массу  $dm$  выглядит:

$$dF_n = \frac{f_n}{2} (1 - f_n) \omega_0^2 r_e(x) dm, \quad (6)$$

где  $dm = \rho r d\phi r dx$ ,  $r_e(x) = \frac{L-x}{L} (d_e + d_r)$

- радиус движения материальной точки вдоль длины камеры;

$d_r$  - максимальное смещение верхней части камеры.

Подставляя значение величины  $r_2(x)$  вычислим интеграл

$$\int_0^L \left(1 - \frac{x}{L}\right) (k_2x^2 + l_2x + m_2) dx = 0,012L(D^2 + 0,5D + 5,7). \quad (7)$$

Тогда значение силы  $F_n$  во всем рассматриваемом объеме будет определяться выражением после подстановки  $k_2, l_2, m_2$ :

$$F_n = 0,006\pi f_n (1 - f_n) \omega_0^2 \rho (d_e + d_r) L (D^2 + 0,5D + 5,7). \quad (8)$$

Найдем силу  $F_e$ , зависящую от эксцентриситета деформирования камеры и обуславливающую перемещение загрузки по длине камеры.

$$dF_e = f_e \rho \omega_0^2 r_e(x) \left( \frac{L-x}{L} \right) d\varphi r dr dx. \quad (9)$$

Подставляя значение  $r_2$ , вычислим интеграл

$$\begin{aligned} & \int_0^L \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \left(k_2 x^2 + l_2 x + m_2\right)^2 dx = \\ & = \int_0^L \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \left(-\frac{0,6D}{L^2} x^2 + \frac{0,9D}{L} x + 0,2D\right)^2 dx = \quad (10) \\ & = 0,048LD^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \int_0^L \left[ \left(1 - \frac{x}{L}\right) \left(k_2 x^2 + l_2 x + m_2 \left(-\frac{d_{\text{ч}}}{2}\right)\right) \right] dx = \\ & = \int_0^L \left[ \left(1 - \frac{x}{L}\right) \left(\frac{-0,6D}{L^2} x^2 + \frac{0,9D}{L} x\right) + 0,2D - 0,5d_{\text{ч}} \right] dx = \frac{L}{12} (2,4B - 3d_{\text{ч}}). \quad (13) \end{aligned}$$

Так как рассматриваем движение мелющих тел в пристенной зоне, то положим, что  $dr \approx d_{\text{ч}}$ , тогда  $r = r_2(x) - \frac{d_{\text{ч}}}{2}$ , при подстановке в выражение (13) значение коэффициентов  $k_2$ ,  $l_2$ ,  $m_2$  получаем следующее выражение. Тогда подставляя в

$$F_{\tau} = \frac{\pi}{6} f_{\tau} \omega_0^2 d_{\text{ч}} \rho (d_e + d_r) L (2,4D - 3d_{\text{ч}}). \quad (14)$$

где  $d_{\text{ч}}$  - диаметр частиц базового материала (песка).

Таким образом, получены уравнения для определения сил, затрачиваемых на преодоления сопротивлений смешиваемой среды от конструктивных ( $L$ ,  $D$ ) и технологических ( $d_e$ ,  $\omega_0$ ,  $d_{\text{ч}}$ ,  $\rho$ ) параметров.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Лозовой Н.М. Смесительно-помольный аппарат с изменяемой рабочей камерой/Научные исследования наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строитель-

Аналогично (6) элементарная сила  $dF_e$ , действующая на объем  $dV$ , после подстановки в выражение (9) значения коэффициентов  $k_2$ ,  $l_2$ ,  $m_2$  равна:

$$F_e = 0,048\pi f_e \omega_0^2 \rho (d_e + d_r) LD^2. \quad (11)$$

Определим силу  $F_{\tau}$  - силу взаимодействия мелющих тел со стенками рабочей камеры.

$$dF_{\tau} = f_{\tau} \rho \omega_0^2 r_e(x) dm, \quad (12)$$

Найдем интеграл, отдельно подставляя значение величины  $r_2(x)$

ных материалов: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 5-8 окт. 2010г./Н.М. Лозовой Белгор. гос. технол. ун-т. –Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. –Ч.3. –158-162 С.

2. Лозовая С.Ю. Моделирование движения загрузки в смесительных устройствах с изменяемыми рабочими камерами/ Научные исследования наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 5-8 окт. 2010г./ С.Ю. Лозовая, В.А. Уваров, Н.М. Лозовой Белгор. гос. технол. ун-т. –Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. –Ч.3. –153-158 С.

3. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела/Уч. Пособие для вузов/ Ю.Н. Работнов – 2-е изд., испр. – М.: Наука 1988. – 712 с.

4. Яблонский А.А. Динамика А.А. Яблонский, В.М. Никифорова - 5-е изд., перераб. - М.: Высшая школа 1977. - Ч.2- 368 с

5. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел / Г.К.Клейн - М.: Высшая школа, 1979. - 269 с.