

О.Н. Протасеня, М.Л. Протасеня, Л.В. Ларченков

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАССЕИВАТЕЛЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Рационально спроектированная и построенная машина должна отвечать требованиям прочности, долговечности, технологичности, экономичности, должна быть дешевой по цене и безопасной в обслуживании.

Эти положения отражаются в исходных требованиях, которые являются документом для конструкторской проработке экспериментального образца.

В нашей работе показан расчет конструктивных и технологических исходных параметров машины точного распределения сыпучих материалов по поверхности поля. К ним относятся: фрезерный торф, минеральные удобрения, известковые материалы и др.

Сегодня сельское хозяйство не получает технику, выполняющую технологические операции с высокой степенью точности. Например, новый разбрасыватель минеральных удобрений, выпускаемый промышленностью, имеет неравномерность по распределению их по полю 25%, при требовании 5% - для азотных, 10% - для фосфорных, 15% - для калийных. По мере эксплуатации разбрасывателя неравномерность увеличивается до 60-70%, что приводит к существенной потере урожая.

Хотя такой разбрасыватель называют центробежным, однако приобретенной энергией сыпучим материалом управлять невозможно, отсюда высокая степень неравномерности.

В предыдущих наших работах показан принцип управления энергией центробежных сил с помощью кольцевого метателя, на внутреннюю поверхность которого непрерывно и закрыто от воздействия внешней среды подается сыпучий материал. За счет сил трения материал разгоняется до требуемой величины угловой скорости и равномерно распределяется по поверхности поля или направляется концентрированно точно в указанное место. Для подачи материала на поверхность кольца и предварительного разгона его служит конус, в который материал поступает из горизонтального винтового конвейера. Препятствуют свободному перемещению материала по поверхности конуса также силы трения, поэтому он перемещается принудительно.

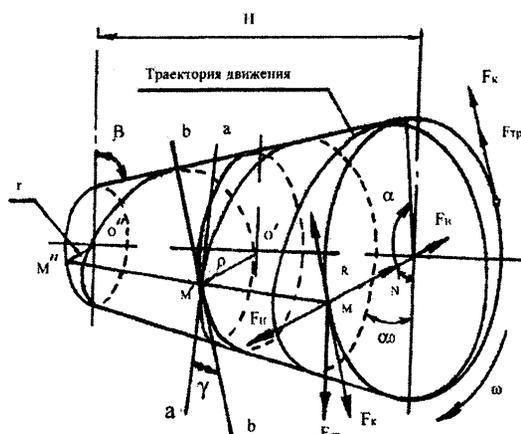


Рис. 1

В начальный момент времени $t = t_0 = 0$ частица материала находится в нижней точке M_0 конической поверхности, т.е. в относительном покое. При повороте конуса на угол $\alpha_0 = \omega \cdot t$ частица повернется на тот же угол α_0 и переместится в точку M (рис.1). Все силы, действующие на нее, уравновешены: сила тяжести $F_{с.м.} = mg$ направлена по поверхности вниз; реакция поверхности N направлена по нормали от M к O ; сила $F_{тр} = fN$ направлена по касательной к окружности радиуса R вращения конуса; сила инерции переносного движения $F_n = m\omega^2 R$

направлена в сторону обратную нормальной силе N ; сила инерции от поворотного ускорения $F_k = 2m\omega_n R$ направлена в обратную сторону действия ускорения инерции. Эта сила увеличивает силу трения материала о поверхность конуса.

При установившемся режиме работы метателя величина поступающего сыпучего материала будет постоянной ($Q = const$) по всей высоте конуса H , определяемая сплошностью материала на окружности радиуса R . Под сплошностью понимается: частицы материала прилегают плотно друг к другу по всей длине окружности. На длине окружности с радиусом больше R частицы не касаются друг друга. Угол γ между касательными $a-a$ и $b-b$ к окружности и траектории движения равен нулю.

Элементарная работа (кинетическая энергия) сил материальной точки $dE_k = -mg \sin \alpha \cdot ds$. Кинетическая энергия нормальной силы N равна нулю, так как она перпендикулярна перемещению точки. То же и сила инерции.

Выразим дугу ds через радиус R и угол поворота α :

$$d\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = -mg \sin \alpha \cdot ds = -mg \sin \alpha \cdot R d\alpha$$

После интегрирования в пределах от v_0 до v и от α_0 до α , получим:

$$v^2 - v_0^2 = 2gR \cdot (\cos \alpha - \cos \alpha_0)$$

При допущении, что в верхнем положении нормальная сила N равна нулю, тогда центробежная сила поворотного ускорения равняется проекции силы тяжести на нормаль:

$$mv^2/R = -mg \cos \alpha$$

Подставив значение v^2 в предыдущую формулу, получим:

$$v_0^2/R + 3g \cos \alpha - 2g \cos \alpha_0 = 0$$

Нормальная сила будет присутствовать постоянно, если для $\cos \alpha$ получается значение, больше единицы. Величина нормального давления будет изменяться от $5mg$ внизу до mg сверху.

Рассмотрим промежуточное положение материальной точки M' на конической поверхности.

При движении точки по окружности из нижнего положения в верхнее движущая сила будет постоянно замедлять переносную скорость $v_{nep} = v_{01}$. Движущая сила

$(F_{c.m.} \sin \gamma - F_{mp}) - F_y^{mp} \sin \beta$, где F_y^{mp} — центробежная сила (ее составляющая: $F_y^{mp} \sin \beta$, увеличивающая силу трения) сообщит относительное ускорение:

$$\frac{dv_{omn}}{dt} = \left(\frac{F_{c.m.}}{m} \sin \gamma - \frac{F_{mp}}{m} \right) - \frac{F_y^{mp}}{m} \sin \beta$$

Принимая во внимание, что сила тяжести $F_{c.m.} = mg$, сила трения $F_{mp} = fmg \cos \gamma$ и увеличение силы трения от центробежной силы $F_y^{mp} = fm v_{01}^2 / R$, получим:

$$\frac{dv_{omn}}{dt} = g \sin \gamma \cdot \left(1 - \frac{1}{tg \gamma} \right) - f \frac{v_{nep}^2}{R} \sin \beta$$

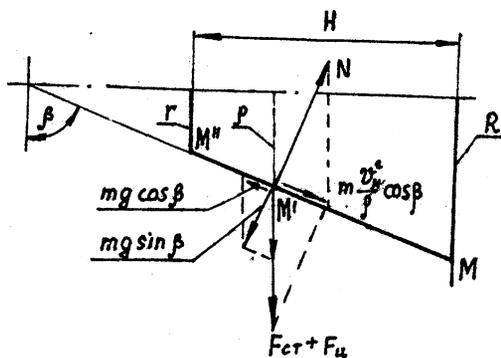


Рис. 2

При увеличении переносной скорости v_{01} с изменением радиуса вращения от r к R , относительное ускорение уменьшается до нуля, после чего движение становится равномерным. Из этого следует, что $dv_{01}/dt = 0$, тогда:

$$g \sin \gamma \left(1 - \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}\right) = \frac{g \sin(\gamma - \varphi)}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi \frac{v_{01}^2}{R} \sin \beta$$

Отсюда получаем:

$$v_{01} = \sqrt{gR \frac{\sin(\gamma - \varphi)}{\sin \varphi \sin \beta}} \quad (1)$$

Рассмотрим промежуточное положение материальной точки для случая, когда коэффициент трения близок коэффициенту качения. На рис.2 можно видеть, что вдоль образующей конуса действуют силы $mg \cos \beta$ и $m \frac{v_{02}^2}{\rho} \cos \beta$.

Движущей силой вверх будет $mg \cos \beta - m \frac{v_{02}^2}{\rho} \cos \beta$. Этому движению препятствует сила трения $\operatorname{tg} \varphi_x \left(m \frac{v_{02}^2}{\rho} \sin \beta + mg \sin \beta\right)$. Движущей силой вниз будет $m \frac{v_{02}^2}{\rho} \cos \beta - mg \cos \beta$. Препятствует этому движению та же сила трения.

Следовательно, движение от меньшего основания конуса к большему прекратится:

$$mg \cos \beta - m \frac{v_{02}^2}{R} \cos \beta \geq \varphi_x \left(mg \sin \beta + m \frac{v_{02}^2}{R} \sin \beta\right)$$

Отсюда определяется переносная скорость движения:

$$v_{02} \leq \sqrt{\frac{Rg(\cos \beta - \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi_x)}{\cos \beta + \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi_x}} \quad (2)$$

Угол β конуса определяется из неравенства $v_{02} > v_{01}$ (формулы 1 и 2):

$$\frac{gR \sin(\gamma - \varphi)}{\sin \varphi \sin \beta} < \frac{Rg(\cos \beta - \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi_x)}{\cos \beta + \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi_x}$$

Если принять $\varphi = \varphi_x = 4^\circ 30'$, $\rho = R = 0,2 \text{ м}$, $\gamma = 17^\circ \dots 20^\circ$, то решение неравенства является корень $\beta \approx 75^\circ$. Соответственно угол при вершине конуса 30° .

При установившемся режиме работы метателя величина подаваемого материала будет постоянной ($Q = \text{const}$). Сыпучий материал при движении по конусу можно уподобить псевдожидкости, растекающейся от меньшего сечения к большему с замедлением относительной скорости. Соответственно толщина слоя псевдожидкости уменьшается. Исходя из этого, можно рассчитать длину образующей конуса. На выходе допускаемая норма $Q = q + q_{\text{дон}}$ (где q – величина материала, сошедшая с конуса).

В дифференциальной форме это будет:

$$\frac{dq \cdot x}{dx} = -\mu q_{\text{дон}} \cdot x$$

Где x – расстояние по длине $L = H/\sin \beta$ образующей конуса до промежуточного сечения, dx – изменение толщины слоя по длине L , μ – коэффициент пропорциональности, зависящий от режима работы метателя и свойств сыпучей среды.

Разделив переменные и учитывая, что при $x = 0$, $qx = Q$; а при $x = L$, $qx = q_{\text{дон}}$, после интегрирования по x в пределах от 0 до L , получим:

$$q_{\text{дон}} = Ql^{-\mu l}$$

Отсюда длина образующей конуса:

$$L = \frac{1}{\mu} \ln \frac{Q}{q_{\text{дон}}}$$

Таким образом, рассчитываются конструктивные (угол конуса, его высота) и технологические (линейная и угловая скорости движения материала), основываясь на законах динамики.

Кроме этого для конструкторской проработки необходим еще один элемент - это документальное подтверждение новизны предлагаемого к внедрению образца будущей машины. Новизна данного конструктивного решения подтверждается поданной авторами заявки на патент, приоритет которого считается с 24.09.97 за номером 970500 в государственном патентном комитете Республики Беларусь.

Литература. 1. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Учебное пособие для Втузов. В 3-х т. Т. II., динамика, М., Наука, 1991, с 640.

УДК 621.762.222+621.926.32/33

Е.М.Дубовская

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В МЕЛЬНИЦАХ ВАЛКОВОГО ТИПА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Процессы измельчения широко применяются в различных производствах. Это связано с многообразием достигаемых измельчением целей. В металлургии, производстве строительных материалов, химической, пищевой промышленности, при переработке промышленных и бытовых отходов измельчением материалов изменяют их форму, размеры, состояния, улучшают технологические и потребительские свойства, повышают химическую активность материалов, возможности разделения или соединения компонентов при последующей обработке, возможности создания композиций, отвечающих непрерывно возрастающим требованиям и потребностям современной техники. Однако недостаток информации о нетрадиционных конкретных отраслях промышленности способах и устройствах для измельчения материалов, отсутствие научно обоснованных критериев режимов обработки приводит к необоснованным решениям конкретных технических задач, к ограничению используемых способов и устройств небольшим числом конструкций, которые не учитывают реальные физико-химические процессы режимов обработки.

Так, крайне редко в порошковой металлургии, при переработке промышленных отходов, в производстве строительных материалов используются измельчающие устройства валкового типа. Между тем, с точки зрения захвата материала, силового воздействия на него и измельчения за счет предельного обжатия со сдвигом частиц, гладковалковые мельницы функционируют наиболее организованно и рационально [1, 2]. Отсутствие потерь энергии на перемещение по сложным траекториям больших масс размольных тел и обрабатываемого материала, что характерно в частности для шаровых мельниц, обеспечивает более высокую производительность при меньшей удельной энергоёмкости и износе размольных тел, а также более узкое поле рассеяния размеров частиц.

Распространен способ, при котором обрабатываемые куски и частицы непосредственно контактируют с валками, а их конечный размер определяется межвалковым зазором [3, 4]. Однако, как показывает опыт прокатки порошков [1, 5, 6] возможности