

# МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

Евстратов В. А., д-р техн. наук, проф.,  
Хальфин М. Н., д-р техн. наук, проф.,  
Евстратова Н. Н., канд. техн. наук, доц.,  
Рудь А. В., канд. техн. наук,  
Апачанов А. С., канд. техн. наук

Шахтинский институт Южно – Российского государственного  
технического университета (Новочеркасского политехнического института)

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ШНЕКОВОГО ПРЕССА С ФОРМУЕМОЙ МАССОЙ

vae602@yandex.ru

*Рассмотрены процессы, протекающие в массиве формуемой массы в винтовом канале шнекового пресса и на поверхностях ее контакта с рабочими органами пресса. Получена зависимость для определения формы поверхности скольжения в формуемой массе при различных условиях прессования.*

**Ключевые слова:** шнек, пресс, поверхность скольжения, коэффициент трения, площадь винтового канала, давление, подача, формуемая масса.

Основной операцией при производстве глиняного кирпича является формование, которое осуществляется на ленточных шнековых прессах. В настоящее время теоретическая интерпретация и математическое описание процессов взаимодействия рабочих органов винтовых прессов с глиняной массой не всегда адекватно отражают явления, происходящие на поверхностях контактов формуемой массы с рабочими органами и в массиве материала, что существенно затрудняет создание высокоэффективных ленточных прессов.

Рассмотрим элементарный объем материала, вырезанный из канала шнека, аналогично [1,3], с учетом координат точек приложения сил и нагрузок. Характер приложения нагрузок к рассматриваемому элементу материала, представляющего собой пластинку переменной толщины, а также небольшое различие между коэффициентами внешнего и внутреннего трения материала, позволяют предположить возможность появления в нем криволинейной поверхности скольжения, соединяющей края шнековой лопасти (рис.1). Максимальная поперечная сила действует на цилиндрической поверхности контакта материала с корпусом пресса. Однако существует ряд вогнутых криволинейных поверхностей вращения, соединяющих края шнековой лопасти, площадь которых меньше, чем площадь соответствующей цилиндрической по-

верхности. Если на какой-либо из этих поверхностей касательные напряжения в материале в направлении оси  $Y1$  (рис.1) превысят предельно – допустимые, то произойдет относительное скольжение слоев материала, и весь материал разделится на две части. При этом часть материала, расположенная ближе к шнеку, будет вращаться по концентрическим окружностям, т. е. не будет иметь поступательного движения в направлении подачи, что отрицательно повлияет на эффективность функционирования шнекового пресса. Сдвиг в материале произойдет по поверхности, касательные напряжения на которой будут максимальными:

$$\tau = \frac{Q}{S_M} = \max. \quad (1)$$

Величина касательных напряжений на любой криволинейной поперечной поверхности элемента материала зависит от площади этой поверхности  $S_M$  и от поперечной силы  $Q$ , действующей на этой поверхности в направлении оси  $Y1$  (рис. 1).

Величина поперечной силы  $Q$ , действующей в сечении материала, зависит от формы этой поверхности (рис. 1) и может быть определена из уравнения

$$Q = F_{тр.в.} + 2F_{тр.л.} + \Delta PS'_k,$$

где  $S'_k$  - площадь части канала шнека, ограниченная линией пересечения рассматриваемого

сечения материала с плоскостью  $X1Z1$  (кривые 1, 2 и 3, рис. 2) и отрезками прямых  $Z1=r$ ,  $X1=-t/2$  и  $X1=t/2$ ;  $\Delta P$  - разность давлений на переднюю и заднюю поверхности рассматриваемого элемента материала;  $F_{тр.с.}$  - сила трения материала о вал шнека;  $F_{тр.л.}$  - составляющая силы трения материала о лопасть шнека.

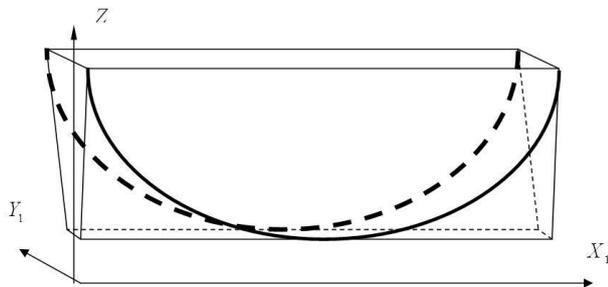


Рис. 1. Криволинейная поверхность скольжения в подаваемом материале

Так как площадь поперечного сечения канала шнека  $S_k$  равна (рис.2)

$$S_k = \int_{-t/2}^{t/2} (R - r) dx,$$

то

$$S'_k = \int_{-t/2}^{t/2} (f(x) - r) dx$$

где  $f(x)$  - функция, график которой является линией пересечения рассматриваемой поверхности с плоскостью  $X1Z1$  (кривые 1, 2 и 3, рис. 2);  $t$  - шаг шнека;  $R$  - радиус лопасти шнека;  $r$  - радиус вала шнека.

$$\frac{\tau}{P} = \frac{2\pi n f_u R r + \frac{n f_u (R^2 - r^2)}{\sin \alpha} + 2\pi n R^2 f_u f_w \cos(\beta - \alpha)}{4\pi n \int_0^{t/2} \sqrt{f^2(x) + T^2} \sqrt{1 + f'^2(x)} dx} + \frac{\frac{2}{\mu} \ln \left| \frac{2\pi n a + P_0}{P_0} \right| \int_0^{t/2} (f(x) - r) dx}{4\pi n \int_0^{t/2} \sqrt{f^2(x) + T^2} \sqrt{1 + f'^2(x)} dx} = \max, \quad (2)$$

где  $\alpha$  - угол подъема винтовой линии шнековой лопасти;  $\mu$  - коэффициент бокового давления (распора);  $f_u$  - коэффициент трения материала о внутреннюю цилиндрическую поверхность корпуса пресса;  $f_w$  - коэффициент трения материала о шнек;  $\beta$  - угол между направлением движения материала и осью шнека;  $P_0$  - давление на входе в шнек;  $a$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств формуемого материала и геометрических параметров шнека;  $n$  - число витков шнека.

Полученное уравнение позволяет определить форму поверхности скольжения в материале -  $f(x)$ . Анализ величин, входящих в (2), по-

Рассматриваемая поверхность образуется в результате движения некоторой кривой  $z(x)$  по спиральной направляющей таким образом, что за один оборот вокруг оси  $X$  приходится ее смещение вдоль оси  $X$  на шаг  $t$ . Площадь этой поверхности можно определить по формуле [4]:

$$S_M = 2\pi \int_{-t/2}^{t/2} \sqrt{f^2(x) + T^2} \sqrt{1 + f'^2(x)} dx, \quad (5)$$

где  $f'^2(x)$  - квадрат первой производной функции  $f(x)$ ;  $T = t/2\pi$ .

С учетом симметрии рассматриваемого элемента материала относительно оси  $Z1$  и уравнений равновесия [3] условие (1) можно записать в следующем виде:

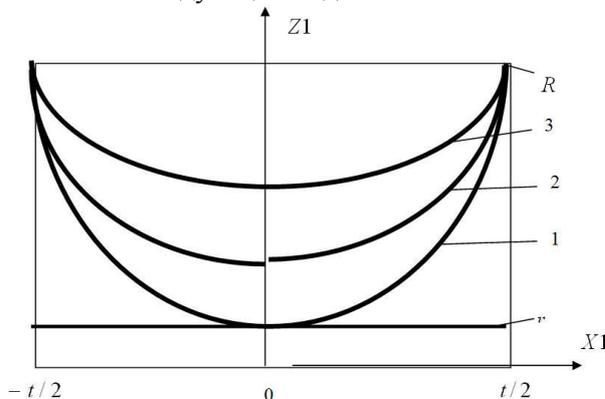


Рис. 2. Возможные формы проекций поверхностей скольжения в материале на плоскость  $X1Z1$

казывает, что  $f(x)$  в общем случае зависит от коэффициентов трения материала о шнек и внутреннюю поверхность корпуса пресса, геометрических параметров шнека и отношения запирающего давления на выходе из шнекового пресса к давлению на входе в пресс.

Рассмотрим частный случай, когда запирающее давление на выходе из шнекового канала пресса отсутствует, т. е. давление на выходе равно давлению на входе в шнековый канал пресса. В этом случае второе слагаемое в (2) равно нулю, поперечные силы на любой криволинейной поверхности, соединяющей края лопастей шнека, одинаковы

$$Q = F_{тр.с.} + 2F_{тр.л.} = const,$$

и задача сводится к нахождению поверхности, площадь которой будет минимальной.

$$S_M = 4\pi n \int_0^{t/2} \sqrt{f^2(x) + T^2} \sqrt{1 + f'^2(x)} dx = \min .$$

Функция, график которой проходит через точки с координатами  $(-t/2; R), (t/2; R)$  (рис. 2) и при движении по спиральной направляющей вокруг оси  $X$  со смещением вдоль оси  $X$  на шаг  $t$ , образует вогнутую поверхность с минимальной площадью, определена методами функционального анализа и вариационного исчисления и представляет собой цепную линию

$$y(x) = cch \frac{x}{\sqrt{c^2 + t^2}},$$

где  $c = y(0) = y_0$  - константа;  $t$  - шаг винтовой линии шнека.

При решении уравнения (2) предварительно задавалась функция  $z = f(x)$  в виде степенной функции  $z = c + mx^n$  с различными коэффициентами. Исследование зависимости (2) с использованием вычислительной техники позволило установить влияние на форму поверхности сдвига в материале в канале шнекового пресса запирающего давления на выходе из шнека, свойств подаваемого материала и геометрических параметров рабочих органов пресса.

На рис. 3 представлены профили поверхностей сдвига материала в канале шнека при различных значениях запирающего давления на выходе из шнека и при следующих значениях

геометрических параметров рабочих органов: радиус лопасти шнека  $R = 0,2м$ ; радиус вала шнека  $r = 0,05м$ ; угол подъема винтовой линии шнека  $\alpha = 20^\circ$ ; число витков шнека  $n = 4$ . Анализ полученных результатов показывает, что форма поверхности сдвига материала в канале шнека зависит от отношения величин давлений на выходе и входе в шнековый пресс. При  $P_0 = P_{вых}$ . (кривая  $a = 0$ , рис.3) поверхность сдвига в материале совпадает с поверхностью, имеющей минимальную площадь, линия пересечения которой с плоскостью  $XZ$  соединяет края лопасти и имеет общую точку с прямой  $Z = r$ . В этом случае, площадь части канала шнека, в которой подаваемый материал имеет поступательное перемещение, максимальна. На рис. 3 это площадь фигуры, ограниченной линиями  $a = 0$  и  $Z = R$ .

С увеличением запирающего давления линии пересечения поверхностей скольжения материала с плоскостью  $XZ$  имеют более пологую форму, и пассивная область в канале шнека, заполненная материалом, не имеющим осевого перемещения в направлении подачи, увеличивается. Чем больше запирающее давление на выходе из шнека, тем большая часть материала движется по концентрическим окружностям и не имеет перемещения в направлении подачи. При определенном значении запирающего давления поступательное движение материала в шнеке прекращается (весь материал вращается вместе со шнеком).

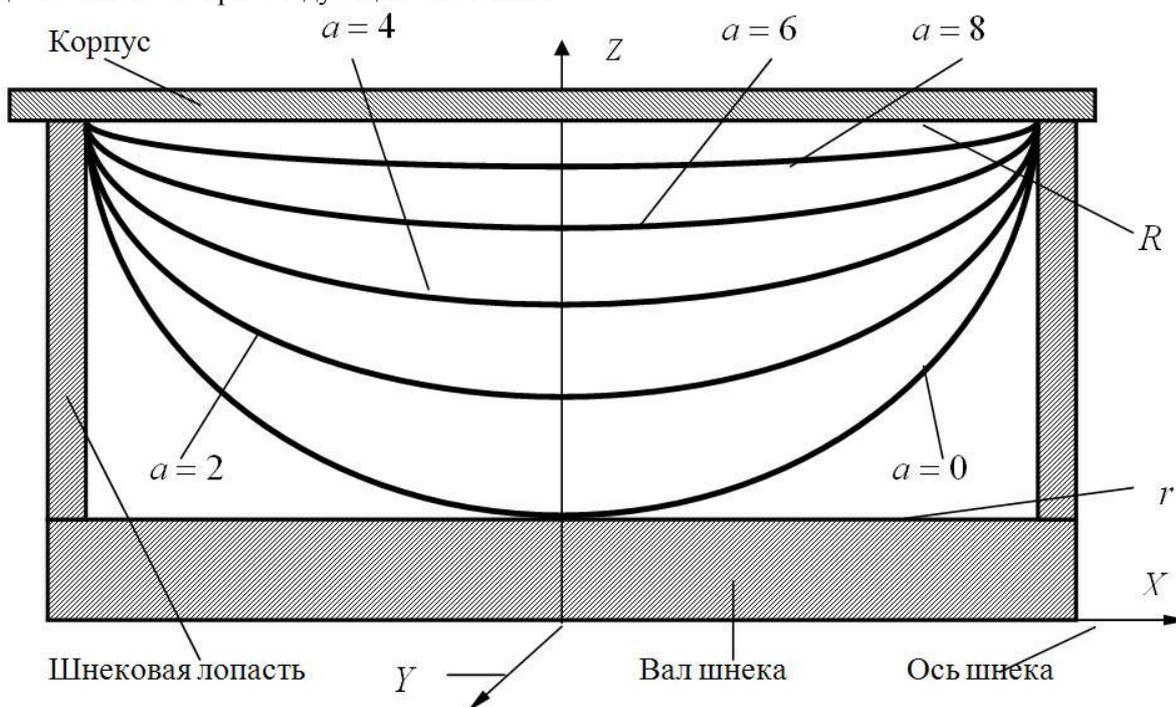


Рис. 3. Зависимость формы поверхности сдвига в материале в канале шнека от величины запирающего давления на выходе из пресса

Установление закономерностей движения материала в шнековом прессе с учетом возможности возникновения в нем поверхности скольжения имеет важное практическое значение, так как позволяет при проектировании шнековых прессов более обоснованно выбирать геометрические параметры рабочих органов и использовать различные конструктивные и структурные решения, обеспечивающие максимальную эффективность функционирования шнекового пресса с учетом свойств формуемой массы и запирающего давления на выходе из шнека.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туренко А.В. Расчет глиноперерабатывающего оборудования и прессов пластического формования для производства керамических строительных изделий. – М.: МИСИ, 1985. – 86 с.
2. Ничипоренко С.П., Абрамович М.Д., Комская М.С. О формировании керамических масс в ленточных прессах / С.П. Ничипоренко, – Киев: Наук. думка, 1971. – 234 с.
3. Загороднюк В.Т., Евстратов В.А., Евстратова Н.Н. Модули шнековых питателей и винтовых конвейеров робототехнических комплексов. – Ростов – н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 139 с.
4. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления: В 2-х кн. – М.: Наука, 1985. 1008 с.