

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЛА, ПРЕССУЕМОГО В ШНЕКОВОМ КАНАЛЕ ЭКСТРУДЕРА

На основе модели упруго-пластического тела рассмотрено напряженное состояние прессуемого материала в канале шнекового пресса, исследовано влияние на развиваемое напряжение параметров прессуемого материала и параметров канала шнека. Определено предельное напряжение, которое может развивать шнековый пресс.

Ключевые слова: канал шнекового пресса, псевдопластическое тело, опилки, процесс прессования, брикет, напряжение, предел текучести.

Обычно при описании поведения материала в канале одношнекового пресса пользуются моделью псевдопластического тела. Известны случаи, когда материалу приписывают свойство ньютоновской жидкости. Но в отдельных случаях поведение материала нельзя описать свойствами ньютоновской жидкости. К таким материалам относят опилки. Поэтому следует рассматривать другие формы представления свойств этого материала. Одним из таких представлений может служить модель пластического тела.

При движении материала в пространстве прессующего механизма его напряженное и деформированное состояние непрерывно изменяется. Представляя в начале процесса прессования сыпучее тело, опилки под действием высокого всестороннего давления консолидируются и превращаются в твердое тело, которое проявляет упруго-пластические свойства [2].

Во всех известных в настоящее время моделях прессов для формования брикетов из опилок процесс образования брикета можно разделить на два этапа: предварительное сжатие материала при высоком всестороннем давлении в специально созданном для этого пространстве и перемещение материала в канале фильеры в сжатом состоянии [2].

При формовании опилок на шнековых прессах решающее влияние оказывает величина давления, развиваемого шнеком, в рабочей камере.

Сложность геометрии рабочего пространства, образованного цилиндрическими и винтовыми поверхностями затрудняет описание поведения прессуемого материала. Поэтому часто для исследования шнекового механизма используют его модель в виде развертки коак-

сиальных цилиндрической поверхности шнекового цилиндра и цилиндрической поверхности шнека на две неограниченные параллельные плоскости. Тогда движение прессуемого материала можно представить его движением между парой параллельных плоскостей. При этом сохраняется свойство непрерывности объемной производительности в шнековом механизме [1].

В данной модели прессуемый материал движется по прямоугольным каналам, образованным развертками контактных поверхностей шнека и шнекового цилиндра.

Известно, что касательное напряжение может достигать предельного напряжения сдвига в случае достижения материалом пластического состояния [5].

По условию пластичности Мизеса пластические деформации возникают тогда, когда интенсивность напряжений достигает величины предела текучести материала [3]:

$$\sigma_i = \sigma_T \quad (1)$$

где σ_U – интенсивность напряжений, МПа;
 σ_T – предел текучести, МПа

Пренебрегая влиянием лопастей шнека, заменим канал шнека моделью из двух неограниченных параллельных пластин, расположенных на расстоянии, равном глубине канала шнека z_u . Расположим систему координат zOy как показано на рисунке 1.

Касательное напряжение опилок τ на контактной поверхности канала определяется в зависимости от нормального напряжения σ_z на этой же поверхности и коэффициента трения f законом Кулона:

$$\tau = f \cdot \sigma_z \quad (2)$$

Кроме того, будем полагать, что коэффициент трения f является функцией нормального напряжения σ_z , т. е.:

$$f = F(\sigma_z). \quad (3)$$

В области, где касательное напряжение контактного трения достигает предела текучести сдвига опилок, дальнейшее его увеличение не может происходить. В противном случае начнется скольжение материала в пристенном слое и будет происходить образование так называемой «пластической гайки» [4].

Условие пластичности можем записать в следующем виде:

$$\sigma_y - \sigma_z = 0, \quad (4)$$

где σ_y, σ_z – соответственно нормальные напряжения вдоль осей Oy и Oz, МПа.

Будем для простоты приписывать сжимающим напряжениям в материале, находящемся в рабочем пространстве, положительные значения. Тогда условие равновесия материала можно записать дифференциальным уравнением в виде:

$$\tau = -\frac{d\sigma_y}{dy} \cdot (z - z_c), \quad (5)$$

где z – координата плоскости шнекового цилиндра;

z_c – координата плоскости, на которой касательное напряжение $\tau = 0$

Принимаем граничные условия:

при $z = z_{uu}$ $\tau = \tau_T$ (6)

при $z = 0$ $\tau = f\sigma_y$, (7)

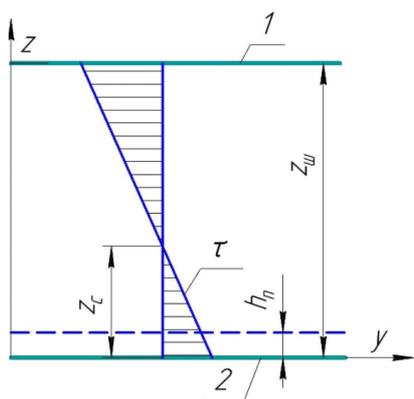


Рисунок 1. Схема модели шнекового канала. Здесь: z_{uu} – глубина канала шнека, h_n – толщина слоя проскальзывания, τ – касательное напряжение, z_c – координата плоскости, на которой касательное напряжение $\tau = 0$

где τ – касательное напряжение, МПа;

τ_T – предельное напряжение сдвига на контактной поверхности, МПа;

Подставляя условия (6) и (7) в уравнение (5) и учитывая, что высота канала шнека z_{up} получим:

$$\tau_T = -\frac{d\sigma_y}{dy} \cdot (z_{uu} - z_c), \quad (8)$$

$$f\sigma_y = -\frac{d\sigma_y}{dy} \cdot (-z_c). \quad (9)$$

Исключив z_c из уравнений (8) и (9), приведем дифференциальное уравнение к виду:

$$\frac{d\sigma_y}{dy} = \frac{f\sigma_y - \tau_T}{z_{uu}}. \quad (10)$$

Интегрируя это уравнение, получим:

$$\ln(f\sigma_y - \tau_T) = f \frac{y}{z_{uu}} + C, \quad (11)$$

где y – сечение канала шнека, м.

Получено частное решение уравнения при заданных условиях: при $y = y_0, \sigma_y = 0$, т. е. при рассмотрении сечения y канала шнека, находящегося на окончании его физической длины y_0 , очевидно, что нормальное напряжение σ_y вдоль оси Oy будет соответствовать нулевому значению.

$$\ln(-\tau_T) = f \frac{y_0}{z_{uu}} + C, \quad (12)$$

где y_0 – длина канала шнека, м.

Из частного решения получена математическая зависимость для постоянной интегрирования C .

В окончательном виде после преобразований уравнение (12) примет вид:

$$\sigma_y = \frac{\tau_T}{f} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{f}{z_{uu}} (y - y_0) \right] \right\}. \quad (13)$$

Из анализа уравнения можно сделать заключение, что предельное напряжение σ_y , которое может развивать шнековый пресс равно:

$$\sigma_y = \frac{\tau_T}{f}. \quad (14)$$

Справедливо предположить, что большее предельное напряжение σ_y развивается при большей длине канала шнека y .

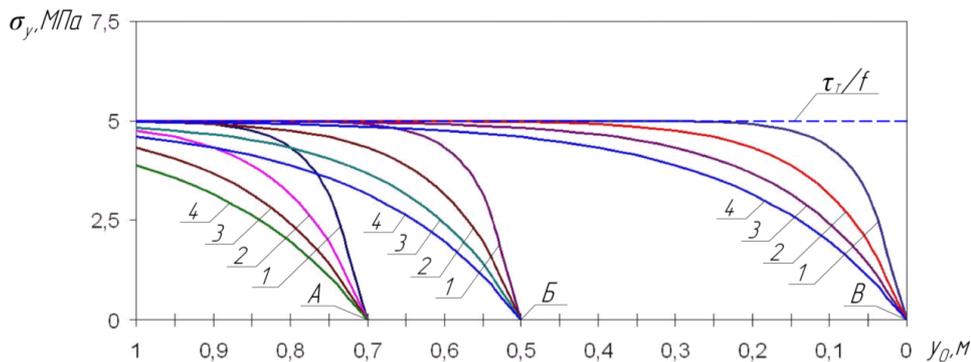


Рисунок 2. Диаграммы зависимости развиваемого давления от длины и глубины канала шнека при различных значениях глубины z_u и длины y_0 канала шнека: 1 - $z_u = 0,01$ м; 2 - $z_u = 0,02$ м; 3 - $z_u = 0,03$ м; 4 - $z_u = 0,04$ м; А - длина канала шнека $y_0 = 0,3$ м; Б - $y_0 = 0,5$ м; В - $y_0 = 1$ м.

Для проведения предварительного анализа влияния длины канала шнека y_0 и глубины канала шнека z_u на развиваемое давление, построены зависимости согласно уравнению (13), представленные на рисунке 2. Приняты постоянные значения предельного напряжения сдвига на контактной поверхности $\tau_T = 1 \text{ МПа}$ и коэффициента трения материала о поверхность шнека $f = 0,2$.

Анализ диаграмм, изображенных на рисунке 2, показывает интенсивность роста давления, стремящегося к предельному значению, полученному при данных условиях. Изменения давления по длине развёртки канала шнека имеет одинаковый характер и не зависит от физической длины шнека. Максимальное давление возможное для данных условий создаётся на длине шнека соответствующей трём виткам. Рост давления принимает экспоненциальный вид. Следовательно, для прессования пластических материалов, нет необходимости наличия чрезмерной уплотняющей зоны шнека, превышающей длину трёх витков.

С увеличением глубины канала интенсивность роста давления прессования существенно снижается.

На рисунке 3 изображены диаграммы зависимости изменения давления в канале шнека от длины канала при различных коэффициентах трения материала о поверхность шнека.

Анализ диаграмм, изображенных на рисунке 3, показывает, что с увеличением коэффициента трения прессуемого материала о поверх-

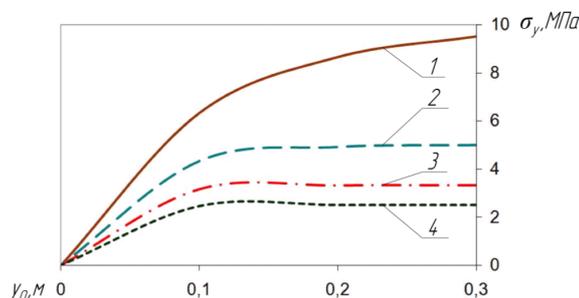


Рисунок 3. Диаграммы зависимости изменения давления в канале шнека от длины канала при различных коэффициентах трения материала f о поверхность шнека: 1 - $f = 0,1$; 2 - $f = 0,2$; 3 - $f = 0,3$; 4 - $f = 0,4$.

ности шнека наблюдается снижение максимального давления, способного создаваться в прессующем механизме.

С увеличением значения коэффициента трения градиент давления по длине канала падает, и давление раньше достигает максимально возможного значения.

В условиях всестороннего сжатия при давлении прессования, превышающего значения предельного напряжения сдвига на контактной поверхности, материал перестаёт скользить по поверхностям рабочих органов. При этом величина коэффициента трения достигает своего максимального значения.

Следовательно, для обеспечения работоспособности шнековых прессующих машин необходимо создать возможность скольжения прессуемого материала по поверхностям рабочих органов в данной зоне.

13.03.2013

Список литературы:

1. Гомонай М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы [Текст]: Монография / М.В. Гомонай. – М: МГУЛ, 2006 г. – 68 с.
2. Бостанджиан С.А., Столин А.М. Течение неньютоновской жидкости между двумя параллельными плоскостями / С.А. Бостанджиан, А.М. Столин. – Изв. АН СССР. Механика. 1965 г, №1. с. 185-188.
3. Унсков Е.П. Инженерная теория пластичности [Текст] / Е.П. Унсков. – М.; Машгиз, 1959 г. – 328 с.
4. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин. – М.; Машиностроение, 1968 г. – 400 с.
5. Полищук В.Ю., Коротков В.Г. Зубкова Т.М. Проектирование экструдеров для отраслей АПК / В.Ю. Полищук, В.Г. Коротков, Т.М. Зубкова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003 г. – 200 с.

Сведения об авторах:

Полищук Владимир Юрьевич, заведующий кафедрой машин и аппаратов химических и пищевых производств Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, профессор

Ханин Виктор Петрович, преподаватель кафедры машин и аппаратов химических и пищевых производств Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент

Лежнева Ирина Ивановна, аспирант кафедры машин и аппаратов химических и пищевых производств Оренбургского государственного университета

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 372464, e-mail: mahpp@mail.osu.ru

UDC 674.08:662.818

Lezhneva I.I., Polischuk V.Y., Khanin V.P.

Orenburg state university, e-mail: mahpp@mail.osu.ru

TENSION OF THE PLASTIC BODY PRESSED IN SCREW THE CHANNEL OF EKSTRUDER

On the basis of model of an elastic and plastic body the tension of a pressed material in the channel of a screw press is considered, influence on developed tension of parameters of a pressed material and channel parameters screw is investigated. Limiting tension which can develop a screw press is defined.

Key words: channel of a screw press, pseudo-plastic body, sawdust, pressing process, briquette, pressure, fluidity limit.

Bibliography:

1. Gomonay M. V. Production of fuel briquettes. Wood raw materials, equipment, technologies, operating modes [Text]: Monograph/m of Century Gomonay. – M: MGUL, 2006 – 68 p.
2. Bostandzhiyan S. A., Stolin A.M. A current of not Newtonian liquid between two parallel planes / Pages. A.Bostandzhiyan, A.M.Stolin. – Изв. Academy of Sciences of the USSR. Mechanics. 1965, No. 1. p. 185-188.
3. Unksov E.P. Engineering theory of plasticity of [Text] / E.P. Unksov. – M; Mashgiz, 1959. 328 p.
4. Malinin N. N. Applied theory of plasticity and creep/N N. Malinin. – M; Mechanical engineering, 1968 – 400 p.
5. Polischuk V.Y., Korotkov V.G., Zubkova T.M. Design of extruders for APK/V.Yu branches. Polischuk, V. G. Korotkov, T.M.Zubkov. – Yekaterinburg: URO Russian Academy of Sciences, 2003 – 200 p.