УДК 622.647.2.002.8

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ ЭКСТРУДИРОВАНИЕМ

Разуваев Д.А., магистрант, Грудачев А.Я., канд. техн. наук, проф.
Донецкий национальный технический университет

Разработана и исследована математическая модель процесса утилизации отработанных резинотканевых конвейерных лент на основе упруго-сдвиговых деформаций, действующих на материал, во время его экструдирования.

Designed and explored mathematical model of the utilization process, perfected conveyor belts on base springy-shift deformation, acting on material, during its extrusion.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Для Украины актуальным является утилизация промышленных отходов. Одним из направлений, которой является переработка изношенных, вышедших из строя конвейерных лент, в настоящее время этому недостаточно уделяется внимание. Протяженность конвейерных лент на шахтах Украины составляет примерно 2000 км. При этом срок ее службы в среднем 4-5 лет, следовательно, ежегодно подлежит утилизации около 400 км конвейерных лент. Объемы отработанной ленты существенные, если ее не утилизировать, то теряется качественное и дешевое сырье, нужное для изготовления битума, резиновой крошки, и других дешевых вторичных продуктов.

Анализ исследований и публикаций. По теме утилизации резинотехнических изделий есть множество литературы, однако тема утилизации конвейерной ленты практически не рассмотрена, есть некоторые ссылки на возможность переработки, но не указано процесс и метод. В статье Я.Г. Двойнос, В.Н. Бондаренко [1] рассматривается образец техники для утилизации резинотехнических изделий и получение резиновой крошки.

В книге Торнера Р.В. [2], приведены конструкции машин и механизмов для переработки резины. Даны теоретические зависимости по переработке резанием, сдавливанием, плавлением.

В книге Бекина Н.Г., Шанина Н.П. [3] представлено оборудование заводов резиновой промышленности, их технические и технологические характеристики. Даны теоретические зависимости, описывающие работу данных машин. Однако математической модели переработки ленты в экструдере нет, что не позволяет обосновать рациональные процессы утилизации. Поэтому создание такой модели и ее исследование являются актуальными.

Постановка задачи. Разработка математической модели процесса утилизации отработанных резинотканевых конвейерных лент на основе упруго-сдвиговых деформаций, действующих на материал во время его экструдирования, обеспечивающей технический, экономический эффект и экологическую безопасность.

Изложение материала и результаты. Рассмотрим состояние материала в экструдере, с учетом уравнения Навье-Стокса [5] и предложенной упруго-сдвиговой механической модели можно описать выражением:

$$\frac{dv^2}{dy^2}=\frac{p_t}{G}\left(\frac{dp}{dz}\right) \tag{1}$$

Здесь ось y направлена по нормали к поверхностям цилиндра и червяка, ось z – вдоль винтовой канавки, а ось x – поперек нее.

Распределение скоростей в любой точке пространства между червяком и корпусом определится после двойного интегрирования уравнения (1):

$$v=\frac{p_t}{G}\left(\frac{dp}{dz}\right)\frac{y^2}{2}+C_1 y+C_2\ . \tag{2}$$

Найдем постоянные интегрирования C_1 и C_2 из граничных условий: при $y=H$ $v=V$; при $y=0$ $v=0$. Откуда $C_2=0$, а

$$C_1=\frac{V}{H}-\frac{p_t}{G}\left(\frac{dp}{dz}\right)\frac{H}{2}\ . \tag{3}$$

Подставим значения C_1 в уравнение (2) и проведя группировку членов, получим уравнение распределения скоростей в пространстве между червяком и цилиндром:

$$v=\frac{V\cdot y}{H}+\frac{p_t(y^2-H\cdot y)}{2G}\left(\frac{dp}{dz}\right). \tag{4}$$

Первый член правой части уравнения дает закон распределения скоростей движения материала по глубине канала, вызванный движущейся поверхностью. Второй - закон распределения скоростей, вызванный градиентом давления. Анализ зависимости по выражению (4) приведен на рис. 1.

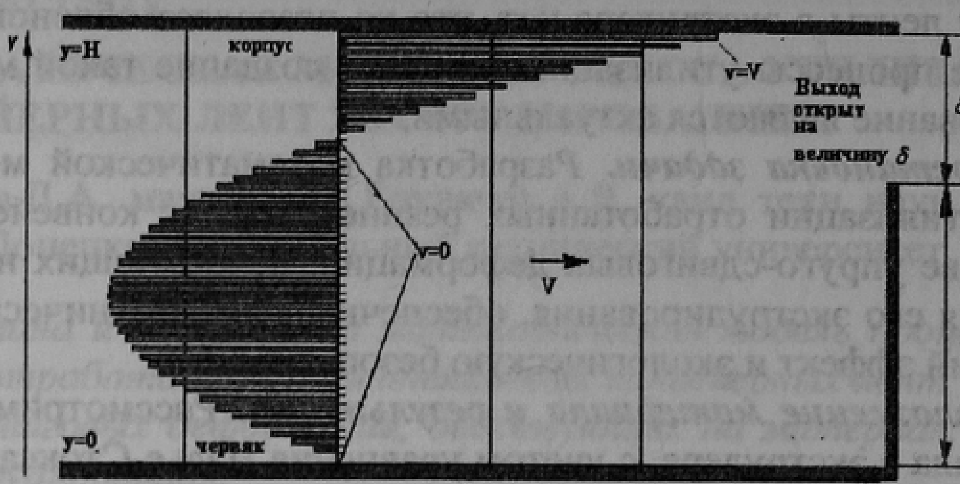

Рисунок 1 – Эпюра скоростей движения материала в экструдере при суммарном воздействии градиента давления и движущейся поверхности

Приведенная зависимость показывает, что эффективность сдвига материала зависит, не только от толщины щели между каналом и червяком, а также, от создаваемого выходным отверстием градиента давления, направленного, в противоположную сторону от направления выдавливания.

Объемная производительность экструдера определится как произведение объема между витками на скорость прохождения материала. Для нахождения объема проинтегрируем выражение:

$$Q = \int_0^h wvdy \; . \tag{5}$$

Подставим в выражение (5) значение скорости из (6), проведем интегрирование и получим:

$$Q = \frac{V \cdot w \cdot h}{2} - \frac{p_t \cdot w \cdot h^3}{12G}\left(\frac{dp}{dz}\right) . \tag{6}$$

Выразим величины представленные в уравнении (6) через геометрические размеры червяка и число оборотов.

$$u = \pi \cdot D \cdot N \; , \tag{7}$$

где u - скорость вращения червяка.
При этом:

$$u \cdot \cos\varphi = V \; . \tag{8}$$

Выразим V

$$V = \pi \cdot D \cdot N \cdot \cos\varphi \; . \tag{9}$$

Ширина нарезки:

$$w = \left(\frac{t}{i} - e\right)\cos\varphi, \tag{10}$$

Подставим выражения (9), (10) в уравнение (6), получим:

$$Q = \frac{\pi D N \left(\frac{t}{i} - e\right)\cos^2\varphi h i}{2} - \frac{p_t i \left(\frac{t}{i} - e\right)\cos\varphi h^3}{12G}\left(\frac{dp}{dz}\right). \tag{11}$$

Для однозаходного червяка данная производительность будет выглядеть так:

$$Q = \frac{\pi^2 D^2 h N \cos\varphi \sin\varphi}{2} - \frac{p_t D \sin\varphi h^3}{12G}\left(\frac{dp}{dz}\right). \tag{12}$$

Обозначим постоянные геометрические размеры через коэффициенты: $k_1 = \frac{1}{2}\pi^2 D^2 h \sin\varphi\cos\varphi$, $k_2 = \frac{1}{12}\pi D h^3 \sin\varphi$.

Тогда уравнение (12) запишется в виде:

$$Q = k_1 \cdot N - \frac{p_t \cdot k_2}{G}\left(\frac{dp}{dz}\right). \tag{13}$$

Данное выражение, как и уравнение скорости, состоит из двух частей: первая часть представляет собой объемное движение материала, вызванное сцеплением с движущейся поверхностью; вторая – объемный расход, вызванный наличием градиента давления.

Мощность привода определится суммой мощностей в нарезке червяка и зазоре между вершиной червяка и корпусом. Элементарная мощность для преодоления сил вязкого трения в нарезке червяка, равна произведению силы на скорость:

$$dZ = u \cdot dF\ . \tag{14}$$

При этом элементарная сила, действующая на материал, равна произведению усилия сдвига на элементарную поверхность:

$$dF_\varphi = \tau dS\ . \tag{15}$$

$$dF_\varphi = dF \cdot \cos\varphi, \text{ а } dS = w \cdot dz \approx \pi \cdot D \cdot \sin\varphi \cdot dz \tag{16}$$

Для конвейерной ленты, из раннее полученного уравнения $\tau = \frac{p_t}{G}\frac{dv}{dy}$, где $\frac{dv}{dy}$ - градиент скорости в крайней точке материала.

Проинтегрируем это выражение один раз, получим:

$$\frac{dv}{dy} = \frac{p_t}{G}\left(\frac{dp}{dz}\right)y + \frac{V}{h} - \frac{p_t}{G}\left(\frac{dp}{dz}\right)\frac{h}{2}. \tag{17}$$

При $y = h$ градиент скорости на стенке равен:

$$\left(\frac{dv}{dy}\right)_{y=h} = \frac{V}{h} + \frac{p_t \cdot h}{2G}\left(\frac{dp}{dz}\right). \tag{18}$$

Подставив в уравнение (14) значения величин из выражений (15), (16), (17) и проведя преобразования, получим:

$$dZ = \frac{\pi^3 \cdot D^3 N^2 \cdot G}{p_t \cdot h} dl + \frac{Q_d dp}{\cos^2 \varphi}, \tag{19}$$

где $Q_d = \frac{1}{2}\pi D^2 N^2 h \sin\varphi \cos\varphi$ - производительность прямого потока.

Мощность, затрачиваемая на сдвиг перерабатываемого материала в элементарном зазоре δ между вершиной червяка и корпусом, определится аналогичным образом. Элементарная поверхность сдвига будет равна:

$$dS_2 = e \cdot \cos\varphi \cdot dz\ . \tag{20}$$

Скорость сдвига в зазоре определится следующим образом:

$$\left(\frac{dv}{dy}\right)_{cp} = \frac{V}{\delta} = \frac{\pi D N \cos\varphi}{H}. \tag{21}$$

После преобразований получим элементарную мощность, затрачиваемую двигателем для сдвига материала в зазоре:

$$dZ_2 = \frac{\pi^2 D^3 N^2 p_t}{G \delta tg\varphi} dl. \tag{22}$$

Полные затраты энергии для привода определятся суммой:

$$dZ = \frac{\pi^3 D^3 N^2 G}{p_t h} dl + \frac{Q_d dP}{\cos^2 \varphi} + \frac{\pi^2 D^3 N^2 p_t}{G \delta tg\varphi} dl\ . \tag{23}$$

После интегрирования (24) и соответствующих преобразований получим уравнение для мощности:

$$Z = \frac{\pi^3 D^3 N^2 G l_ч}{p_t h} + \frac{\pi^2 D^3 N^2 p_t l_ч}{G \delta tg\varphi} + \frac{Q_d P_г}{\cos^2 \varphi}, \tag{24}$$

где $P_г = \frac{l_ч dz}{dp \sin\varphi}$ - давление в головке червяка; $l_ч$ - длина червяка.

Математическая модель экструзии ленты:

$$\begin{cases} Q = k_1 N - \dfrac{p_t k_2}{G}\left(\dfrac{dp}{dz}\right) \\ P_г = \dfrac{l_ч dz}{dp \sin\varphi} \\ Z = \dfrac{\pi^3 D^3 N^2 G l_ч}{p_t h} + \dfrac{\pi^2 D^3 N^2 p_t l_ч}{G\delta tg\varphi} + \dfrac{Q_d P_г}{\cos^2\varphi} \\ \Delta = H - y_0 \end{cases} \quad (25)$$

Исследуем модель для экструдера с: D=150 мм, H=45 мм, δ=0,3 мм, φ=30°, $l_д$ = 2,5 м. Результаты приведены на (рис. 2).

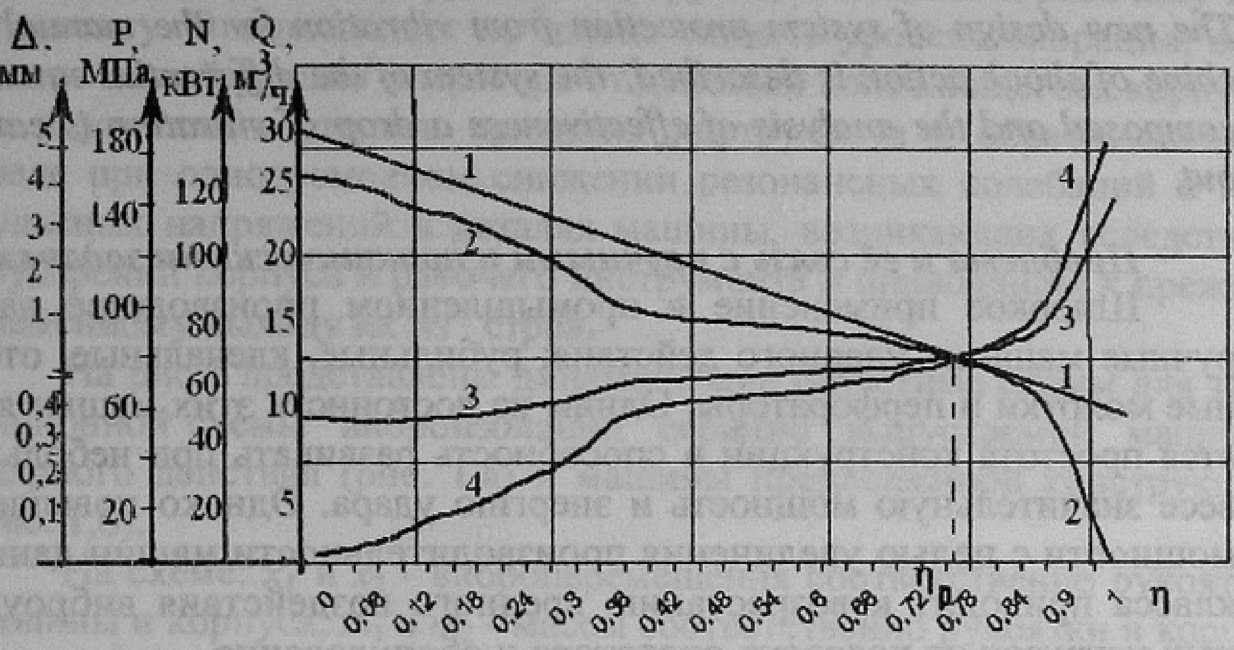

Рисунок 2 – Исследование математической модели: 1 - Δ - дисперсность выходного продукта; 2 – Q – производительность процесса; 3 – Z – мощность двигателя; 4 – $P_Г$ – давление в головке

Выводы и направления дальнейших исследований. Разработана математическая модель процесса утилизации конвейерных лент экструдированием, из которой следует, что производительность процесса тесно связана с мощностью двигателя, и давлением в головке. Направлением дальнейших исследований является нахождение рациональных параметров процесса утилизации, для снижения удельных энергозатрат.

Список источников.

1. Двойнос Я.Г. Экотехнологии и ресурсосбережение. 1999, №2, с. 21-25.
2. Тонер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров.- М.: 1977-380с.
3. Бекин Н.Г., Шанин Н.П. Оборудование заводов резиновой промышленности.-Л.: Химия, 1978. – 400с.

Дата поступления статьи в редакцию: 18.10.06