

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОГО РАСХОДА ЭКСТРУДАТА В ЗОНЕ ПРЕССОВАНИЯ ОДНОШНЕКОВОГО ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА

Ключевые слова: пресс-экструдер, шнек, экструдат, зона прессования, поток, объемный расход, средняя скорость, перепад давления, производительность, конструктивные параметры.

Рассматривая рабочий орган пресс-экструдера как систему загрузочной, прессующей и дозирующей зон, нельзя не отметить сложность получения теоретических зависимостей, позволяющих с необходимой точностью определить его основные параметры.

Объясняется это в первую очередь тем, что жесткая связь между данными зонами не позволяет обосновать оптимальное число оборотов рабочего органа, определяемое на основе одинаковых подходов к состоянию обрабатываемого крахмалсодержащего сырья. И действительно, в первой зоне материал находится в твердом сыпучем состоянии, во второй – в виде вязкопластичной массы, в третьей – в виде вязкопластичной массы или при определенных режимах и состояниях обрабатываемого сырья – в виде псевдожидкости.

Зона загрузки пресс-экструдера определяет производительность всего процесса экструзии. При этом следует отметить, что от соотношения объемного расхода экструдата в данной зоне и в двух других зонах зависит режим работы экструдера. Если Q_3 – объемный расход экструдата в зоне загрузки; $Q_{пв}$ – объемный расход экструдата в зоне прессования; Q_d – объемный расход экструдата в зоне дозирования и $Q_3 < Q_d$ или $Q_{пв} < Q_d$, то говорят, что экструдер работает в режиме недостаточного питания.

Многочисленные теоретические исследования и практический опыт эксплуатации одношнековых пресс-экструдеров показывают, что наилучшие результаты получаются при соблюдении следующего условия:

$$Q_3 \geq Q_{пв} \geq Q_d. \quad (1)$$

В этом случае работа пресс-экструдера протекает более стабильно, а качество экструдата оказывается наилучшим.

С другой стороны, если $Q_3 \geq Q_d$, то зона дозирования может попасть в режим избыточного питания, и ее регулирующее воздействие может оказаться недостаточным для удовлетворительной стабилизации режима экструзии.

Теоретические исследования, позволяющие определить пропускную способность зоны загрузки пресс-экструдера, приведены в работах многих исследователей, в том числе и авторов статьи [1, 2]. Вместе с тем единая модель работы экструдера, увязывающая между собой взаимодействие всех его рабочих зон, до последнего времени обоснована недостаточно полно.

Известно, что основная работа по изменению качественных свойств экструдированного материала выполняется в зоне прессования, обеспечивающей сжатие, нагрев и измельчение (гомогенизацию) частиц сырья. При этом данная зона отличается от зоны загрузки и дозирующей зоны наличием не одного, а двух потоков – прямого и обратного [3, 4].

Считается, что прямой поток обуславливается внешними силами, возникающими в системе шнек-цилиндр, а обратный поток в общем случае зависит от перепада давлений в начале и конце зоны прессования.

Обратный поток имеет две составляющие, из которых первая направлена в зазор между шнеком и цилиндром, а вторая – вдоль винтового канала шнека пресс-экструдера.

Рассмотрим объемный расход вязкой несжимаемой жидкости, создаваемый шнеком пресс-экструдера (рис. 1).

Один оборот шнека создает расход жидкости, равный объему между гребнями шнека [5].

$$Q_{\text{шн}} = V_{\text{ср}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{ср}} \cdot (t - m), \quad (2)$$

где $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость течения жидкости;

$R_{\text{ср}}$ – средний радиус витка шнека,

$$R_{\text{ср}} = \frac{R_1 + R_2}{2};$$

t – шаг витка шнека;

m – средняя величина витка шнека,

$$m = \frac{a + b}{2}.$$

Средняя скорость течения жидкости в данном случае будет равна:

$$V_{\text{ср}} = \frac{\omega \cdot R_1}{2} = \frac{2\pi n}{60 \cdot 2} \cdot R_1, \quad (3)$$

где ω – угловая скорость шнека;

n – частота вращения шнека.

Тогда уравнение (2) можно представить в виде

$$Q_{\text{шн}} = \frac{2\pi n}{60 \cdot 2} \cdot R_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{R_1 + R_2}{2} \cdot (t - m). \quad (4)$$

Данное выражение определяет зависимость расхода жидкости без учета перетекания ее вдоль канала (между гребнями шнека) против общего движения жидкости Q_1 и обратных течений через гребни по щелям («назад») Q_2 .

Тогда суммарный расход, создаваемый шнеком («вперед»), будет равен

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{шн}} - Q_1 - Q_2. \quad (5)$$

Следует отметить, что расход жидкости, создаваемый шнеком, обеспечивают силы вязкости, а обратные течения (Q_1 и Q_2) – перепады давления вдоль витков и поперек.

Для определения давления вязкой жидкости, создаваемого в шнековой части пресс-экструдера, рассмотрим схему движения жидкости между двумя плоскими стенками, одна из которых движется равномерно со скоростью V_0 (рис. 2).

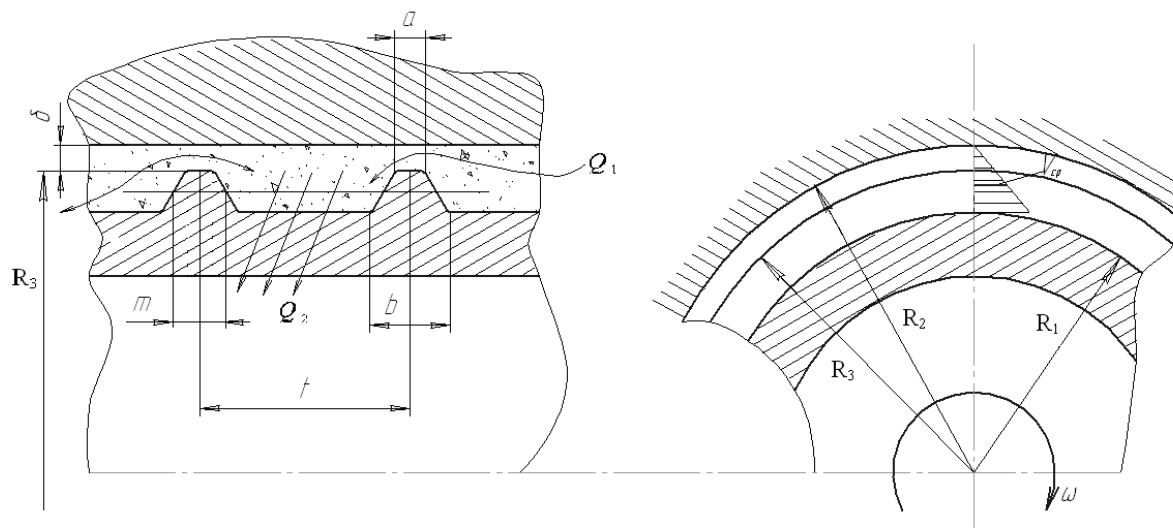


Рис. 1. Схема движения жидкости в зазоре между цилиндром и шнеком

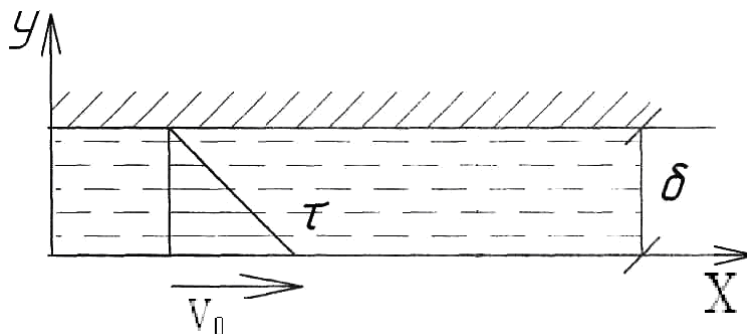


Рис. 2. Схема движения жидкости между двумя плоскими стенками

Касательные напряжения, возникающие в жидкости при деформации сдвига, можно определить на основании обобщенного закона Ньютона [6]

$$\tau = \mu \frac{dV_0}{d\delta} = \mu \frac{V_0}{\delta}, \quad (6)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости жидкости;

δ – высота щели канала.

При длине канала l в конце его среднее гидростатическое давление составит:

$$\Delta P = \frac{F}{S} = \frac{\tau \cdot l}{\delta \cdot l} = \mu \frac{V_0 \cdot l}{\delta \cdot \delta} = \mu \frac{V_0 \cdot l}{\delta^2}, \quad (7)$$

где F – сила давления;

S – площадь выходного сечения канала.

Данный перепад давления будет способствовать появлению обратного потока жидкости с расходом, равным [2]

$$Q_l = \frac{2}{3} \frac{\Delta P \cdot \delta^3}{\mu \cdot l \cdot \delta}. \quad (8)$$

Подставив значение перепада давления (7) в формулу (8), получим

$$Q_l = \frac{2}{3} \frac{\mu \cdot V_0 \cdot \delta^3 \cdot l}{\delta^2 \cdot \mu \cdot l \cdot \delta} = \frac{V_0 \cdot \delta}{12} = \omega R_1 \cdot \frac{\delta}{12} = \frac{\pi \cdot n (R_2 - R_1)}{30 \cdot 12}. \quad (9)$$

Далее оценим поперечные перетекания жидкости через гребни витка шнека «назад», в зону с меньшим давлением. Примем, что длина щели равна ширине витка шнека, т.е. $l_{щели} = a_{шнека}$ (рис. 3).

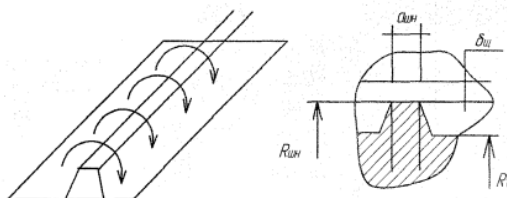


Рис. 3. Схема перетекания жидкости через витки шнека

$$Q_{\Sigma} = \frac{\pi^2 n R_1 \cdot (R_1 + R_2) (t - m)}{60} - \frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{(R_2 - R_1)}{12} - \frac{\delta_{щ}^3 \cdot \pi^2 n R_1^2 \cdot 2\pi R_2}{12 \cdot 30 \cdot (R_2 - R_1)^2}. \quad (17)$$

С учетом условия (1) для стабильной работы пресс-экструдера необходимо обеспечить выполнение неравенства

$$Q_3 \geq \frac{\pi^2 n R_1 \cdot (R_1 + R_2) (t - m)}{60} - \frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{(R_2 - R_1)}{12} - \frac{\delta_{щ}^3 \cdot \pi^2 n R_1^2 \cdot 2\pi R_2}{12 \cdot 30 \cdot (R_2 - R_1)^2}. \quad (18)$$

Объемная производительность зоны дозирования пресс-экструдера может быть определена на основании следующей зависимости [1]:

$$Q_3 = \frac{(D - h)}{4} \cdot \omega \cdot \sin \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot h \cdot \rho \cdot \psi \cdot \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (19)$$

где D – диаметр шнека;

h – глубина канавки шнека;

Полный перепад давления по длине одного витка шнека равен

$$\Delta P_{max} = \frac{\mu \cdot V_0 \cdot l}{\delta^2}. \quad (10)$$

Тогда средний перепад по этой длине составит

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Delta P_{max}}{2} = \frac{\mu \cdot V_0 \cdot l}{2\delta^2}, \quad (11)$$

где l – длина витка шнека ($l = 2\pi R_1$).

Расход через гребень на единицу ширины этой щели (удельный расход) можно определить из выражения

$$Q_{2y\delta} = \frac{2 \cdot \delta_{щ}^3 \cdot V_0 \cdot \mu \cdot 2\pi \cdot R_1}{3 \cdot \delta \cdot \mu \cdot a_{щ} \cdot 2 \cdot (R_2 - R_1)^2}. \quad (12)$$

$$V_0 = \omega R_1 = \frac{2\pi \cdot n \cdot R_1}{60}$$

Так как $\frac{2\pi \cdot n \cdot R_1}{60}$, то после подстановки получим

$$Q_{2y\delta} = \frac{\delta_{щ}^3 \cdot \pi^2 \cdot n R_1^2}{12 \cdot a_{щ} \cdot 30 \cdot (R_2 - R_1)^2}. \quad (13)$$

Исходя из того, что средняя скорость жидкости на гребне равна

$$V_{2cp} = \frac{Q_{2y\delta}}{a_{щ}}, \quad (14)$$

общий расход жидкости, перетекающей на гребне протяженностью $2\pi R_2$, определим как

$$Q_2 = Q_{2y\delta} \cdot 2\pi R_2. \quad (15)$$

Или, учитывая уравнение (13), общий расход жидкости, перетекающей между гребнями шнека, будет выражаться формулой

$$Q_2 = \frac{\delta_{щ}^3 \cdot \pi^2 \cdot n R_1^2 \cdot 2\pi R_2}{12 \cdot 30 \cdot (R_2 - R_1)^2}. \quad (16)$$

Подставив в уравнение (5) значения составляющих, получим

- ω – угловая скорость шнека;
 α – угол наклона винтовой линии шнека;
 ρ – плотность материала;
 ψ – коэффициент заполнения межвиткового объема шнека;
 φ – угол трения, $\varphi = \arctg f$.

Тогда условие стабильной работы одношнекового пресс-экструдера будет представлено следующим аналитическим выражением:

$$\frac{(D-h)}{4} \cdot \omega \cdot \sin \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot h \cdot \rho \cdot \psi \cdot \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi} \geq \frac{\pi^2 n R_1 \cdot (R_1 + R_2)(t-m)}{60} - \frac{2\pi m}{60} \cdot \frac{(R_2 - R_1)}{12} - \frac{\delta_{ш}^3 \cdot \pi^2 n R_1^2 \cdot 2\pi R_2}{12 \cdot 30 \cdot (R_2 - R_1)^2} \quad (20)$$

С учетом $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ формулу (20) представим в виде

$$\frac{(D-h)}{4} \cdot \sin \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot h \cdot \rho \cdot \psi \cdot \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi} \geq \frac{\pi \cdot R_1 \cdot (R_1 + R_2)(t-m)}{2} - \frac{(R_2 - R_1)}{12} - \frac{\delta_{ш}^3 \cdot \pi^2 \cdot R_1^2 \cdot R_2}{6 \cdot (R_2 - R_1)^2} \quad (21)$$

Таким образом, формула (21) показывает, что объемный расход экструдата в зоне прессования одношнекового пресс-экструдера зависит от параметров шнека, его рабочих режимов и физико-механических свойств обрабатываемого сырья.

Как следует из приведенного выражения, производительность пресс-экструдера может быть увеличена за счет снижения интенсивности обратных потоков экструдата в зоне прессования, которые, в свою очередь, прямо пропорциональны разности давлений в начале и конце данной зоны.

Библиографический список

1. Денисов С.В. Определение пропускной способности зоны загрузки пресс-экструдера / С.В. Денисов, В.В. Новиков, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 12. – С. 73-76.
2. Новиков В.В. Обоснование потребной производительности отдельных участ-

ков шнекового пресса / В.В. Новиков, Д.В. Беляев, А.Л. Мишанин // Вестник Саратовского ГАУ им. Вавилова. – 2007. – № 4. – С. 48-49.

3. Ковриков И.Т. Совершенствование и обоснование основных параметров пресс-экструдеров для переработки комбинированных кормов / И.Т. Ковриков, С.В. Шабанова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2004. – № 7. – С. 148-151.

4. Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс. Принцип действия, конструирование и эксплуатация / Г. Шенкель; пер. с нем. – Л.: Госхимиздат, 1962. – 467 с.

5. Новиков В.В. Исследование рабочего процесса и обоснование параметров пресс-экструдера для приготовления карбамидного концентрата: дис. ... к.т.н. / В.В. Новиков. – Саратов: СИМСХ, 1981. – 157 с.

6. Исаев А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур. – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.

