

Определение линейной зависимости плотности от давления в конусном двухзаходном шнеке

В.В. Новиков, к.т.н. Д.Р. Ермолаева, аспирант, А.С. Грецов, к.т.н., ФГБОУ ВО Самарская ГСХА

В Самарской ГСХА на кафедре «Сельскохозяйственный машины и механизация животноводства» разработана конструкция шнекового пресса, позволяющая производить отжим влаги из сельскохозяйственной продукции (рис. 1).

Устройство состоит из загрузочного бункера 2, корпуса 1, внутри которого установлен составной шнек, состоящий из трёх соосно установленных на приводном валу шнеков: подающего шнека 3, выполненного в виде двухзаходного шнека, прессующего шнека 4, имеющего на последнем витке прямоугольные радиальные прорези, и шнека 7, выполненного с уменьшением шага витка, образующих четыре зоны переработки

продукта (зона загрузки – I, зона сжатия – II, зона стабилизации давления – III, зона интенсивного сжатия – IV).

Подающий двухзаходный шнек выполнен в виде конусной втулки. При этом диаметр большего основания конусной втулки равен внешнему диаметру заднего витка прессующего шнека.

Цель работы – определить зависимость плотности исходного материала от давления в конусном двухзаходном шнеке.

Задачи исследования:

- установить преимущества двухзаходного шнека от однозаходного в процессе экструзионной обработки;
- дать аналитические зависимости изменения плотности от длины шнека;

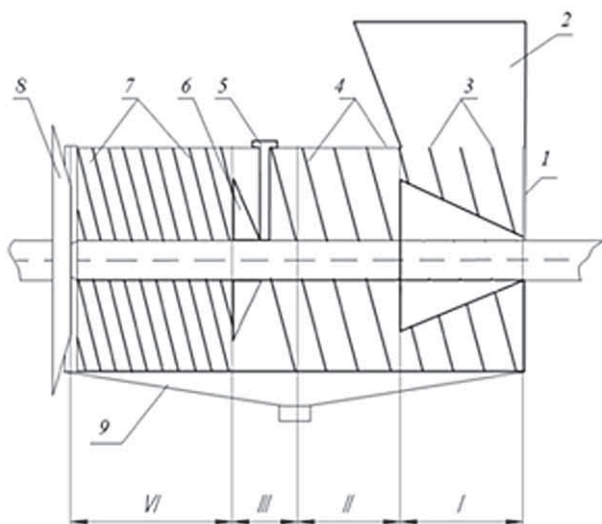


Рис. 1 – Шнековый пресс для отжима влаги из сельскохозяйственной продукции:

1 – корпус; 2 – загрузочный бункер; 3 – подающий шнек; 4 – прессующий шнек; 5 – разрыхлитель мезги; 6 – конусная втулка; 7 – шнек; 8 – регулятор давления; 9 – влагосорбник; I – зона загрузки, II – зона сжатия, III – зона стабилизации давления, IV – зона интенсивного сжатия

– провести сравнение внешнего воздействия на элемент материала в двухзаходном и однозаходном шнеках.

Данная конструкция зоны подачи пресса позволяет значительно повысить плотность исходного материала, уменьшить нагрузку на подшипниковый узел, а в итоге увеличить выход жидкости и повысить эксплуатационную надёжность установки.

Достоинства одно- и многозаходных шнеков могут меняться в зависимости от технологических требований. Однако, если целью является достижение повышения плотности конечного продукта, преимущество, в частности, двухзаходного шнека перед однозаходным очевидно [1].

В данном исследовании определяющим фактором, влияющим на динамику процесса отжима, будет число заходов винтового канала. Следует оговорить ряд допущений, практически не влияющих на значимость конечного результата [1]:

1. Суммарный объём винтовых каналов не зависит от числа заходов.

2. Относительная толщина гребня незначительна.

3. Давление является только функцией расстояния вдоль оси шнека.

4. Коэффициент трения не зависит от давления.

5. Центробежные силы незначительны.

Для непосредственного анализа приняты два варианта шнека: однозаходный и двухзаходный. Исследованиям однозаходного шнека и связанных с ним технологических и конструктивно-режимных

параметров в той или иной степени посвящены многие работы [2–9].

В ряде исследований в качестве дополнительного фактора, повышающего внутриканальное давление, использован такой конструктивный приём, как конусность тела шнека [6, 7]. В исследуемой установке также применён вариант с конусным шнеком (рис. 2).

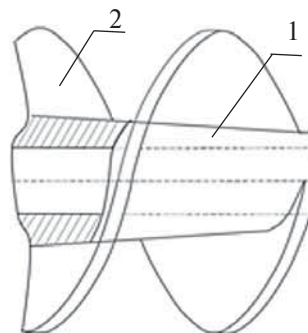


Рис. 2 – Двухзаходный конусный шнек: 1 – конический направлятель; 2 – виток шнека

Таким образом, анализируется шнек с двумя дополнительными факторами, предположительно повышающими качество процесса: конусность тела шнека и многозаходность (двухзаходность) винтового канала.

Связь между отдельными параметрами конструкции технологического режима однозначно установить сложно (даже при наличии доступной литературы), но с определёнными допущениями и упрощениями возможно решение данной задачи.

Исходя из определения массы как $m = \rho \cdot V$ путём дифференцирования можно получить следующее выражение:

$$\frac{dm}{dt} - \frac{d\rho}{dt} \cdot V + \rho \frac{dv}{dt}, \quad (1)$$

где m – текущее значение массы исходного материала, кг;

ρ – текущее значение плотности этого материала, кг/м³;

V – объём данного материала, м³;

t – время, с. Очевидно, что в реальном процессе ни один из четырёх членов правой части не может быть равен нулю. Для дальнейших преобразований можно воспользоваться выражением [10]

$$\frac{\rho_{\infty} - \rho}{\rho_{\infty} - \rho_0} = \exp(-c_1 \cdot p), \quad (2)$$

где ρ_{∞} – предельное значение плотности хорошо спрессованного полимера;

ρ – плотность при давлении p ;

ρ_0 – начальная плотность гранулята;

c_1 – эмпирический коэффициент, м²/Н.

При дифференцировании уравнения (2) член в правой части представляет собой экспоненту, что создаёт определённые сложности при практическом

применении формулы (2). Поэтому можно заметить двумя первыми членами соответствующего функционального ряда [11].

Тогда итоговое выражение примет вид:

$$Q = c_1(\rho_\infty - \rho_0) \cdot V \cdot \frac{dp}{de} \cdot v + \rho \frac{dV}{de} \cdot v, \quad (3)$$

$$\rho \frac{dV}{de} \cdot v = Q = c_1(\rho_\infty - \rho_0) \cdot V \cdot \frac{dp}{de} \cdot v \Rightarrow \rho = \frac{\frac{Q}{v} - c_1(\rho_\infty - \rho_0) \cdot V \cdot \frac{dp}{de}}{\frac{dV}{de}}. \quad (4)$$

После некоторых преобразований получается адекватное выражение:

$$\rho_\infty - \rho = (\rho_\infty - \rho_0) - c_1(\rho_\infty - \rho_0) \cdot p \rightarrow \rho_0 - \rho = -c_1(\rho_\infty - \rho_0) \cdot p \rightarrow \rho = \rho_0 + c_1(\rho_\infty - \rho_0) \cdot p, \quad (5)$$

$$\Delta\rho = c_1(\rho_\infty - \rho_0) \cdot p. \quad (6)$$

Влияние конусности не нашло отражения в итоговом выражении (10), но это означает, что с точки зрения динамики процесса уравнение адекватно при любых используемых значениях конусности [6] (в том числе при нулевом).

Динамический анализ данных вариантов позволяет сделать определённые выводы.

На рисунке 3 с учётом принятых допущений показаны силы, действующие на материал в межвитковом пространстве.

В качестве внешней силы принимается сила реакции активной стороны гребня на динамический напор материала:

$$f = \frac{\rho v^2}{2}.$$

Размеры площадок на всех гребнях считаются равными. Изменение плотности материала по ходу движения априори считается асимптотически-

монотонно возрастающим. Скорость движения материала принимается постоянной.

Заменяя, с хорошим приближением, нелинейную зависимость плотности по длине шнека кусочно-линейной, где интервалы линейности соответствуют расстоянию между гребнями, можно записать следующее соотношение:

$$\begin{aligned} \Delta F_1 &= \rho_1 \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \Delta S_1 \\ \Delta F_1' &= \rho_1' \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \Delta S_1' \\ \Delta F_2 &= \rho_2 \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \Delta S_2 \end{aligned} \quad (7)$$

где $\Delta F_1, \Delta F_2$ – силы, действующие на элемент материала соответственно со стороны первого и второго гребня в однозаходном шнеке, Н;

ρ_1, ρ_2 – плотность материала в области контакта, кг/м³;

$\Delta S_1, \Delta S_2$ – площадь контактной поверхности, м²;

$\Delta F_1'$ – дополнительная сила в двухзаходном шнеке, Н;

ρ_1' – плотность материала при наличии второго витка, кг/м³;

$\Delta S_1'$ – площадь контакта в дополнительном гребне, м²;

$v = \text{const}$ – скорость материала, м/с.

Тогда плотности материала в области контакта гребней можно выразить следующим соотношением:

$$\rho_1' = \rho_1 \cdot k_1; \quad (8)$$

$$\rho_2' = \rho_2 \cdot k_2, \quad (9)$$

где k_1 и k_2 – повышающиеся коэффициенты плотности.

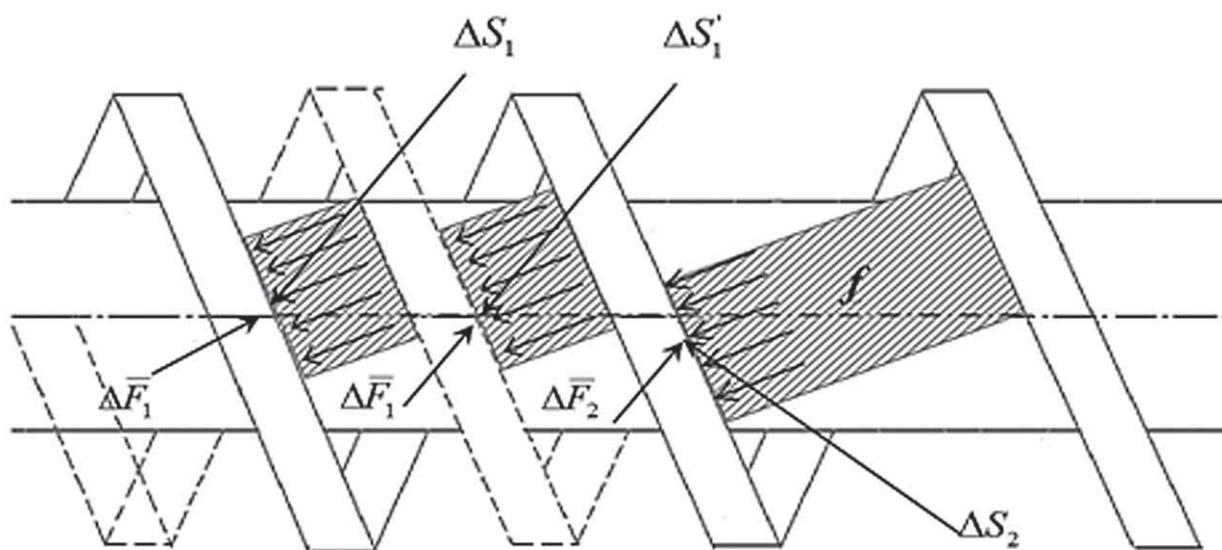


Рис. 3 – Силы, действующие на элемент материала, в одно- и двухзаходном шнеке:

$\Delta F_1, \Delta F_2$ – силы, действующие на элемент материала соответственно со стороны первого и второго гребня в однозаходном шнеке; $\Delta S_1, \Delta S_2$ – площадь контактной поверхности; f – динамический напор; $\Delta S_1'$ – площадь контакта в дополнительном гребне

С учётом асимптотического возрастания плотности:

$$k_1 > 1; k_2 > 1; k_1 < k_2.$$

В этом случае внешнее воздействие на элемент материала в двухзаходном и однозаходном шнеках можно выразить отношением:

$$\frac{\Delta F_1 + \Delta F_1'}{\Delta F_2} = \frac{\rho_1 \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \Delta S_1 + \rho_1' \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \Delta S_1'}{\rho_2 \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \Delta S_2} = \frac{\rho_1 + \rho_1' \cdot k_1}{\rho_2 \cdot k_2} = \frac{1 + k_1}{k_2} > 1. \quad (10)$$

Полученный результат со всей очевидностью доказывает, что активная сила, воздействующая на материал в двухзаходном шнеке, превосходит аналогичную силу в однозаходном, что непременно должно отразиться на качестве технологического процесса.

Вывод. Двухзаходный шнек обладает рядом преимуществ перед однозаходным:

– наличие дополнительного гребня практически вдвое увеличивает осевое усилие, что приводит к значительному повышению давления;

– двухзаходность понижает скорость движения материала, но компенсирует это дополнительным приростом давления;

– контактная площадь винтовых каналов увеличивается в связи с наличием дополнительных гребней, что является следствием повышения заполняемости каналов шнека.

Литература

1. Раувендааль К. Экструзия полимеров / пер. с англ. под ред. А. Я. Малкина. СПб. : Профессия, 2008. 768 с.: ил.
2. Новиков В. В. Исследование рабочего процесса и обоснования параметров пресс-экструдера для приготовления карбамидного концентрата: дисс. ... канд. техн. наук. Саратов: СИМСХ, 1981. 157 с.
3. Харьбина Н. А. Повышение эффективности процесса экструдирования зерна с обоснованием конструктивно-режимных параметров зоны подачи пресс-экструдера: дисс. ... канд. техн. наук. Уфа, 2011, 167 с.
4. Новиков В. В. Теория и расчёт одношнекового пресс-экструдера: монография. Самара, 2009. 127с.
5. Денисов, С. В. Повышение эффективности приготовления кормосмеси на основе стебельчатого корма и обоснование параметров пресс-экструдера: дисс. ...канд. техн. наук. Саратов, 2006. 142 с.
6. Орстик И.Л., Новиков В.В. Методологические аспекты теоретического определения производительности пресс-экструдера с коническим направителем // Нива Поволжья. 2016. № 1 (38).
7. Пат. № 131948 Российская Федерация, МПК7 А23К1/00, В02С13/00. Экструдер для приготовления кормовой массы / В. В. Новиков, В. В. Коновалов, И.Л. Орстик, А. Л. Мишанин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Самарская ГСХА. № 2013112063/13;заявл. 18.03.13; опубл. 10.09.13. Бюл. № 25. 5 с. : ил
8. Корякина М.А., Шахов В.А., Козловцев А. П. Структурно-параметрический синтез шнекового экструдера для отжима рапса: монография. Оренбург, 2016. 212 с.
9. Курочкин А. А. Научное обеспечение актуального направления в развитии пищевой термопластической экструзии: монография / А. А. Курочкин, П. К. Воронина, В. М. Земняков, А. Л. Мишанин, В. В. Новиков, Г. В. Шабурова, Д. Н. Фролов. Прага, 2015. 185 с.
10. Коновалов В. В. Определение подачи цилиндрического шнекового пресса / В. В. Коновалов, В. В. Новиков, Д. В. Беляев, Л. В. Иноземцева // Нива Поволжья. 2010. № 2.
11. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и студентов втузов. М.: Наука, 1981. 720 с.