

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВИНТА ШНЕКА С ЗАДАНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Фролов Николай Владимирович, канд. техн. наук, проф. кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, д. 10.

Тел.: 8 (84663) 46-3-46.

Мосина Нина Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Математические методы и информационные технологии» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, д. 10.

Тел.: 8 (84663) 46-3-46.

Ключевые слова: шнек, транспортер, изготовление.

В статье предложен алгоритм расчета развертки винтовой спирали шнека с заданными геометрическими параметрами.

Винтовые транспортеры (шнеки) нашли применение не только для перемещения сыпучих, влажных, жидких и кусковых грузов, но и для выполнения различных технологических операций: дозирования, смешивания компонентов, прессования транспортируемого груза, разделения обрабатываемого материала на жидкую и твердую фракции и т.п. [1, 2]. Основным рабочим органом шнека является винт, состоящий из вала и закрепленной на нем (сваркой или каким-либо другим способом) винтовой спирали. Конструктивными (геометрическими) параметрами спирали являются шаг S винта, наружный D и внутренний d диаметры. Винтовую спираль в заводских условиях изготавливают прокаткой стальной полосы на конических валках, с которых полоса сходит в виде спирали с заданными конструктивными параметрами, или штамповкой из листа кусками примерно в один шаг [3, 4, 5]. Известен способ изготовления винта цилиндрического шнека с постоянным шагом из плоского листа необходимой толщины. В этом случае заготовка представляет собой развертку одного шага спирали (рис. 1). Заготовки соединяют друг с другом соответствующими отрезками (сторонами) в «сжатую» спираль, надевают ее на вал и прикладывают растягивающее усилие. В результате спираль деформируется в основном за счет напряжений от изгиба, дуга AEC развертки оказывается на поверхности вала в виде винтовой линии, дуга BFD становится наружной границей винтовой спирали с заданным шагом S . Зависимость между известными параметрами спирали (S , D , d) и неизвестными параметрами развертки (ρ_n , ρ_b , α) представляется следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \rho_n \alpha = \sqrt{S^2 + (\pi D)^2}; \\ \rho_b \alpha = \sqrt{S^2 + (\pi d)^2}; \\ \rho_n - \rho_b = \frac{D - d}{2}. \end{cases} \quad (1)$$

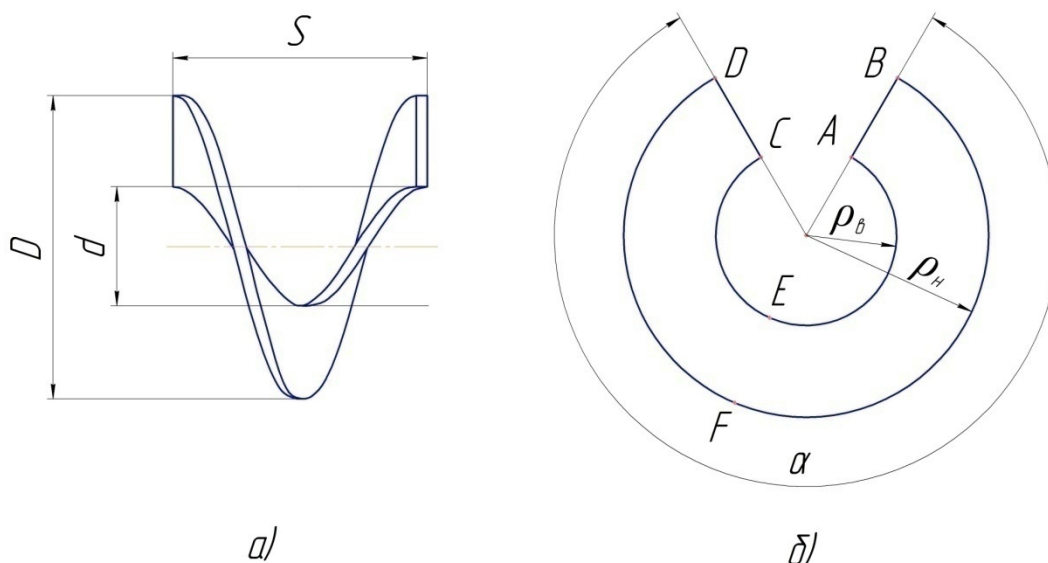


Рис. 1. Винтовая спираль цилиндрического шнека длиной в 1 шаг (а) и ее развертка на плоскости (б)

Параметры развертки однозначно определяются корнями этой системы:

$$\alpha = \frac{2\left(\sqrt{S^2 + (\pi D)^2} - \sqrt{S^2 + (\pi d)^2}\right)}{D - d}, \quad (2)$$

$$\rho_{\text{н}} = \frac{\sqrt{S^2 + (\pi D)^2}}{\alpha}, \quad (3)$$

$$\rho_{\text{в}} = \frac{\sqrt{S^2 + (\pi d)^2}}{\alpha}. \quad (4)$$

где α – центральный угол развертки, радиан;

$\rho_{\text{в}}$ – внутренний радиус развертки, м;

$\rho_{\text{н}}$ – наружный радиус развертки, м.

Этот способ изготовления винта, хотя и уступает заводским способам по точности, прост по выполнению и не требует дорогостоящего заводского оборудования, поэтому предназначен для мелкосерийного производства, а также производства в научных целях, когда при исследовании какого-либо процесса испытываются различные варианты шнеков и определяется лучший.

Однако использование цилиндрического шнека для выполнения во время транспортирования материала дополнительно какой-либо технологической операции часто бывает неэффективным. При транспортировании материала с одновременной его обработкой, например, разделением на твердую и жидкую фракции, фактическая производительность шнека изменяется по его длине. Поэтому проектируемая производительность должна отвечать этому изменению. Заметим, что производительность шнека при неизменной частоте вращения вала зависит от геометрических параметров (S , D , d). В этих случаях, очевидно, будет более эффективно работать шнек с переменными геометрическими параметрами, отвечающими требованиям выполняемого технологического процесса.

Направим ось Ox по оси шнека, а начало отсчета совместим с началом шнека. Тогда для общего случая можно записать

$$D_x = D(x), \quad (5)$$

$$d_x = d(x), \quad (6)$$

$$S_x = S(x), \quad (7)$$

где $D(x)$, $d(x)$, $S(x)$ – однозначные функции от аргумента x .

Цель исследований – повышение эффективности работы шнековых устройств на выполнении дополнительных операций во время транспортирования. Исходя из поставленной цели, в *задаче исследований* входило: 1) обосновать возможность изготовления винтовой спирали шнека с переменными геометрическими параметрами из плоского листа; 2) разработать способ и алгоритм расчета параметров развертки винтовой спирали.

Для решения поставленной задачи воспользуемся свойством дифференциального исчисления [6], которое можно сформулировать так: в функциональных зависимостях от переменной достаточно малой величины величинами второго и более высокого порядков можно пренебречь. На основании этого, при рассмотрении участка шнека длиной Δx , расположенного при координате x (рис. 2), шнек с изменяющимися по его длине параметрами заменяем на цилиндрический шнек с неизменными на этом участке параметрами D_x , d_x , S_x . (Ошибка будет не более малой величины второго и более порядка.) Для такого шнека длиной в один шаг справедливы формулы (1) – (4), и если величину Δx измерить в долях шага S_x и принять равной

$\Delta x = \delta S_x$, ($\delta \ll 1$), заготовка винта для участка длиной Δx будет иметь параметры: $\beta_x = \alpha_x \delta$, $\rho_{\text{нх}}$,

$\rho_{\text{вх}}$.

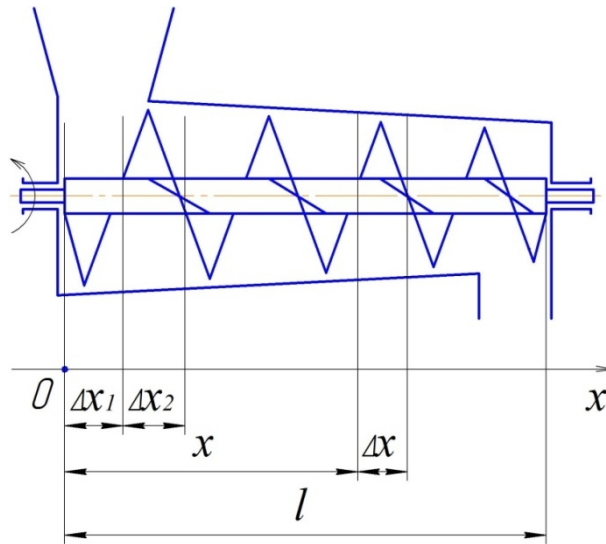


Рис. 2. Схема шнека с изменяющимися по длине параметрами

Особенностью предлагаемого решения является измерение величины Δx на разных участках шнека в одинаковых долях шага S_x . Это позволяет легко организовать вычислительный процесс.

Исходя из вышеизложенного, предложен следующий алгоритм вычисления конфигурации заготовки винтовой спирали для шнека с переменными геометрическими параметрами.

Задаем точность расчета $\delta = 0,01$.

1 шаг.

- 1) Полагаем $x_0 = 0$, $\psi_0 = 0$.
- 2) Выписываем исходные значения D_{x0} , d_{x0} , S_{x0} .
- 3) Вычисляем по формулам (2), (3), (4) α_0 , ρ_{H0} , ρ_{B0} .
- 4) На графике в полярных координатах (ψ, ρ) отмечаем точки $(0, \rho_{H0})$, $(0, \rho_{B0})$.
- 5) Вычисляем $\Delta\psi_1 = \alpha_0\delta$, $\Delta x_1 = S_{x0}\delta$.

2 шаг.

- 1) Полагаем $x_1 = x_0 + \Delta x_1$ и определяем угловую координату полярных координат (ψ, ρ) $\psi_1 = \psi_0 + \Delta\psi_1$.
- 2) Вычисляем по формулам (5), (6), (7) значения D_{x1} , d_{x1} , S_{x1} .
- 3) Вычисляем по формулам (2), (3), (4) значения α_1 , ρ_{H1} , ρ_{B1} .
- 4) На графике в полярных координатах (ψ, ρ) отмечаем характерные точки (ψ_1, ρ_{H1}) , (ψ_1, ρ_{B1}) .
- 5) Вычисляем $\Delta\psi_2 = \alpha_1\delta$, $\Delta x_2 = S_{x1}\delta$. И т.д....

k-й шаг.

- 1) Полагаем $x_{k-1} = x_{k-2} + \Delta x_{k-1}$, $\psi_{k-1} = \psi_{k-2} + \Delta\psi_{k-1}$.
- 2) Вычисляем $D_{x(k-1)}$, $d_{x(k-1)}$, $S_{x(k-1)}$.
- 3) Вычисляем α_{k-1} , $\rho_{H(k-1)}$, $\rho_{B(k-1)}$.
- 4) На графике в полярных координатах (ψ, ρ) отмечаем точки $(\psi_{k-1}, \rho_{H(k-1)})$, $(\psi_{k-1}, \rho_{B(k-1)})$.
- 5) Вычисляем $\Delta\psi_k = \alpha_{k-1}\delta$, $\Delta x_k = S_{x(k-1)}\delta$.

Признаком завершения расчета является достижение конца шнека, то есть условие $x > l$, где l – длина шнека. Часть заготовки винта, размещенная на одном листе, соответствует значениям угла $2\pi n \leq \psi_k < 2\pi(n+1)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$, N – общее число заготовок, определяется по окончании расчета. Таким образом, по окончании расчета получим N разверток, которые могут быть использованы в качестве шаблонов для заготовок винта шнека.

Расчет по предложенному алгоритму может быть осуществлен с помощью подходящей компьютерной программы или реализован на каком-либо языке программирования. В качестве примера проведем расчет в табличном процессоре Microsoft Excel.

Спроектируем конический шнек со следующими параметрами: наружный диаметр шнека D_x изменяется от $D_0 = 200$ мм до $D_l = 100$ мм, функция изменения $D_x = D_0 - \frac{D_0 - D_l}{l} x$, диаметр вала $d = 60$ мм, длина шнека $l = 400$ мм, шаг шнека $S_x = 0,8 D_x$, $\delta = 0,01$.

Исходные числовые данные заносим на лист Excel. Шаги расчета располагаем по строкам листа. Количество строк зависит от точности δ и длины шнека l , расчет заканчивается при достижении условия $x > l$. В соответствии с приведенным алгоритмом для каждого шага находим значения x , ψ , D_x , S_x , α , ρ_n и ρ_b .

Ряд полученных значений параметров разделим на части с таким расчетом, чтобы в пределах одной части значения ψ изменялись в пределах 2π : от 0 до $\approx 2\pi$, от $\approx 2\pi$ до $\approx 4\pi$ и т. д. По данным каждой части строим графики ρ_{nx} , ρ_{bx} в полярных координатах [7]. Построенный таким образом график представляет собой развертку одной части винтовой спирали на плоскости. Для рассмотренного примера получено 4 развертки. На рисунке 3 представлены первая и вторая развертки винта, полученные при помощи средств MS Excel. При соединении по линии $(a - b)$ они образуют часть винта шнека длиной 280 мм.

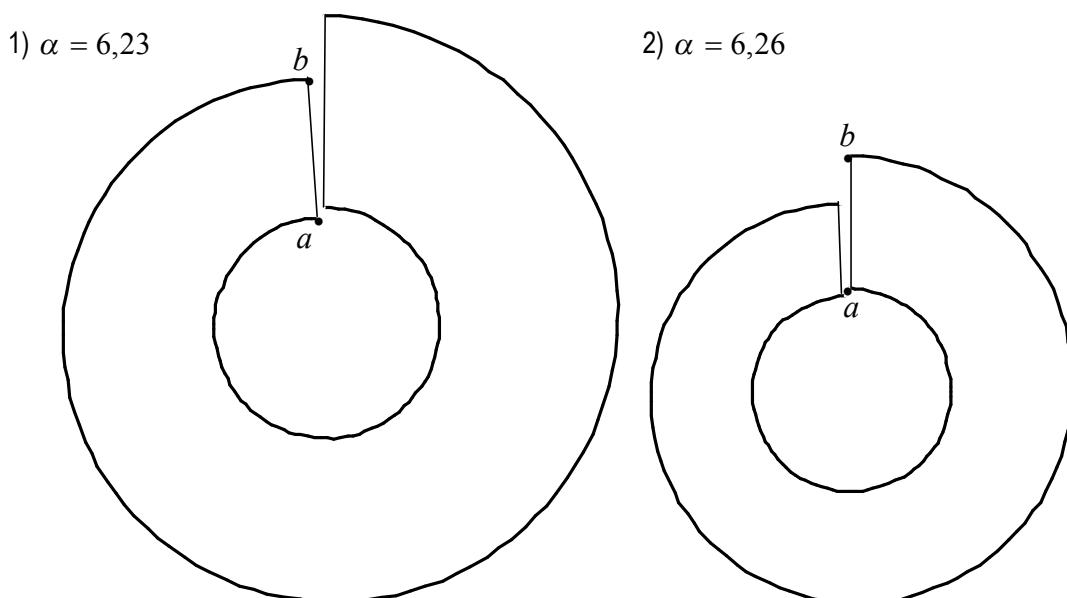


Рис. 3. Развертки на плоскость частей винтовой спирали шнека:
 $a - b$ – линия соединения разверток в спираль

Для производственных расчетов достаточная точность построения развертки может быть достигнута при использовании специализированных математических (MathCAD), конструкторских (КОМПАС) пакетов или специально созданной для этого расчета программы. Копируя полученные развертки на листе, предназначенном для изготовления винта, делают разметку и вырезают заготовки. Затем их соединяют в одно целое: конец первой заготовки (радиальный отрезок) соединяют встык с началом второй заготовки и т.д. Полученную «сжатую» спираль надевают на вал или заменяющую его болванку и деформируют способом, аналогичным описанному выше для цилиндрического шнека. При этом точки внутреннего контура спирали соприкасаются с валом, а наружный контур занимает заданное положение, соответствующее наружному диаметру и шагу шнека. После растяжения винт закрепляется на валу. Если во время эксплуатации шнека ожидаются значительные нагрузки, и винтовая спираль из тонкого листа может оказаться недостаточно прочной, можно изготовить винт из нескольких одинаковых винтовых спиралей. Для этого необходимое количество (2-4) деформированных до окончательной формы спиралей объединяют в пакет, склеивают в одно целое и после этого закрепляют на валу.

Таким образом, предложенный метод расчета позволяет изготавливать шнек с любыми изменяющимися по его длине параметрами, способный более эффективно выполнять необходимые технологические операции над обрабатываемым материалом во время его транспортирования.

Библиографический список

1. Концепция развития механизации и автоматизации процессов в животноводстве на период до 2015 г. – Подольск, 2003. – 100 с.
2. Новиков, В. В. Дозатор-смеситель для подачи исходной массы смеси в пресс-экструдер / В. В. Новиков, В. В. Успенский, А. Л. Мишанин, В. К. Малышев // Известия Самарской ГСХА. – 2008. – С. 149-151.
3. Пат. №2287391 Российская Федерация, МПК В 21 С 37/26. Способ изготовления геликоидального шнека / Вуколов В. Н. ; патентообладатель ЗАО «Весомизмерительная компания «ТЕНЗО-М». – №2004118108/02 ; заявл. 16.06.2004 ; опубл. 20.11.2006, Бюл. №32. – 5 с.
4. Пат. №2361692 Российская Федерация, МПК В 21 С 37/26, В 23 К 31/02, В 23 К 101/08. Способ изготовления шнека и шнек / Гвоздов Д. А., Гордеев В. В. ; патентообладатель ГНУ «Северо-западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук» (ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии). – №2007136443/02 ; заявл. 01.10.2007 ; опубл. 20.07.2009, Бюл. №20. – 7 с.
5. Пат. №2450878 Российская Федерация, МПК В 21 С 37/26. Способ производства спирали шнека / Кузнецов С. Б. ; патентообладатель ЗАО «Центр РИТМ». – №2010124015/02 ; заявл. 11.06.2010 ; опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14. – 5 с.
6. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – СПб. : Лань, 2009. – 608 с.
7. Уокенбах, Д. Диаграммы в Excel. – М. : Вильямс, 2003. – 448 с.