

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННОГО ШНЕКА

**Смехунов Е.А., Бутовченко А.В., Рукасов К.В.**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Аннотация.** Винтовые транспортирующие механизмы с активным вращающимся кожухом и расположением лопастей на внутренней поверхности трубы известны, но практически не применяются. Они не намного сложнее обычных шнеков в изготовлении, но обладают большей удельной производительностью, а главное принципиально не могут защемлять и дробить зерно. Несмотря на простоту конструкции существует множество разных моделей описывающих взаимосвязь конструктивных параметров с выходными характеристиками. Большую роль в расчетах играют эмпирические коэффициенты. Ставилась задача на основе рассмотрения и уточнения действующих сил выяснить, что общего и что различается в механике процесса. Схема сил была значительно упрощена за счет рационального выбора системы координат. Получены положительные ответы на вопросы о работоспособности, повышенной производительности, дополнительных преимуществах и определения скорости осевого перемещения материала. Проведены некоторые имитационные эксперименты, позволяющие прояснить физику перемещения при варьировании параметров.

**Ключевые слова.** Винтовые транспортирующие механизмы, шнек, шнековая труба, повреждение зерна, силовой анализ, лопасть, действующие силы, переносная скорость, осевая скорость, производительность.

## DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF A MODIFIED AUGER

**Smehunov E.A., Butovchenko A.V., Rukasov K.V.**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** Screw conveying mechanisms with an active rotating casing and the location of the blades on the inner surface of the pipe are known, but are practically not used. They are not much more complicated than conventional augers in the manufacture, but they have a higher specific performance, and most importantly, they can not fundamentally pinch and crush grain. Despite the simplicity of the design, there are many different models describing the relationship of design parameters with output characteristics. Empirical coefficients play an important role in calculations. The task was to find out what is common and what is different in the mechanics of the process on the basis of consideration and clarification of the active forces. The scheme of forces has been significantly simplified due to the rational choice of the coordinate system. Positive answers were received to questions about performance, increased productivity, additional advantages, and determining the speed of axial movement of the material. Some simulation experiments were conducted to clarify the physics of movement when parameters were varied.

**Keywords.** Screw conveying mechanisms, auger, auger tube, grain damage, force analysis, blade, acting forces, transfer speed, axial speed, productivity.

Для решения задач интенсификации процесса сепарации семян подсолнечника во всей воздушно-решётной машине (рис. 1) нами был проведен многомерный анализ этого процесса.

Винтовые транспортирующие устройства (шнеки) широко распространены в конструкциях технологических машин и линий в частности в сельскохозяйственном машиностроении. Шнек - это универсальное транспортирующее средство, которое непрерывно работает и обеспечивает перемещение различных кусковых, сыпучих, порошкообразных, мелкофракционных, пылевидных и даже жидких материалов. Перемещаемым грузом могут служить компоненты почвенного, зернового вороха, зерно и зерновые продукты, корма, минеральные удобрения, сахар, опилки и жидкое материалы и другие. Шнеки одновременно с транспортированием могут одновременно выполнять технологические операции.

В сельскохозяйственной машине количество шнеков может достигать 7 – 10 штук. Использование шнеков как транспортирующих устройств обусловлено рядом преимуществ в сравнении с другими транспортирующими средствами. Основные из них следующие:

- сравнительно низкая цена, легкость изготовления;

- отсутствие менее надежных резиновых и пластиковых частей и деталей;
- высокая удельная (относительно габаритов) производительность;
- безопасность и простота в установке, обслуживании с минимальным риском получения травмы при работе из-за отсутствия подвижных частей на корпусе;
- компактность;
- возможность работы при закрытом кожухе с пылящими, токсичными, аллергенными материалами.

Опыт, накопленный за многовековое использование шнеков, а также специально проводимые исследования [1,2] позволили прийти к рациональной конструкции шнеков, близким к оптимальным их параметрам, а так же к созданию теории и методики их расчета.

Но один показатель при существующей конструкции существенно улучшить нельзя, поскольку он неотделим от принципа транспортирования шнеком. Это повышенное повреждение транспортируемого материала за счет перетирания его в паре лопасть – кожух. Между спиральной лопастью и кожухом устанавливается зазор большой максимального размера транспортируемых частиц (рекомендуется более 10 мм [3]), чтобы они не защемлялись. Но чем больше этот зазор, тем хуже транспортирующая способность шнека и повышенное трение между частицами, что также приводит к повреждениям. Поэтому зазор стремятся сделать минимально возможным. Если шнек стационарный с жестким кожухом, то этот зазор остается постоянным и количество повреждений невелико. Но в мобильных и полустационарных машинах кожух делается из тонкого листового материала. Длина выгрузных шнеков на зернокомбайнах более трех метров, а на загрузчиках хранилищ зерна их длина достигает 11 метров. Валы шнеков и кожухи под действием силы тяжести самого кожуха и зерна даже при наличии промежуточных опор прогибаются. Кроме того, шнек и кожух, в процессе работы, колеблются с разной частотой, что приводит к износу и изменению зазора между ними с возможным защемлением и травмированием зерен.

Поэтому вызывает интерес разработка винтового механизма с расположением спиральной ленты на вращающемся кожухе – шнековой трубе. Центральный вал может выполнять роль поддерживающей оси, а может быть убран. Такая конструкция известна, например, в барабанных сушилках для продольного продвижения материала спираль находится на внутренней поверхности барабана - шнековой трубе. Закономерности движения материала в шнековой трубе и параметры будут несколько отличаться от аналогичных величин обычного шнека. При конструировании транспортера со шнековой трубой возникают вопросы, на которые необходимо дать ответы:

- какие силы действуют на транспортируемые частицы;
- всегда ли работоспособна шнековая труба, и какие условия её работоспособности;
- какая продольная скорость перемещения материала;
- имеются ли другие преимущества шнековой трубы в сравнении со шнеком кроме снижения повреждений.

Силовой анализ и предварительные эксперименты показали, что такая конструкция работоспособна [4]. Для сокращения сроков разработки конструкции нами было выполнено имитационное моделирование процесса транспортирования сыпучего материала шнеком и шнековой трубой с использованием метода дискретно-элементного моделирования. Исходными данными для моделирования были среднестатистические показатели характеристик зернового материала (размерные характеристики, угол трения покоя, угол трения качения, коэффициент восстановления, модуль юнга и другие) и параметры шнековой трубы (внутренний диаметр, ширина и шаг спиральной ленты, угол подъема спирали и угол наклона спирали к оси шнека, частота вращения и подача материала (рисунок 1).

Рассмотрим худший вариант транспортирования вертикальным шнеком, когда коэффициент проскальзывания будет максимальной, а эффект транспортирования минимальный. Но, если в этом положении шнековая труба будет работоспособна, то в других положениях тем более.

Для более наглядного анализа рассмотрим шнековую лопасть в системе координат, образованной пересечением:

- вертикальной плоскости тангенциальной к окружности шнековой трубы в точке касания -  $K$
- и наклонной плоскостью, проходящей по лопасти, касательно к ней по линии касания -  $H$  - ось  $X$ ;
- плоскостью  $H$  и вертикальной, проходящей радиально через частицу (точку  $A$ ), центробежную силу действующую на неё -  $L$  – ось  $Y$  (рисунок 2). Тогда ось  $Z$  будет лежать в плоскости  $K$ , образуя с вертикалью угол  $\alpha$  - углом наклона спиральной лопасти.

Частицы при транспортировании движутся не по оси шнека, как традиционно рассматривается многими авторами, а по поверхности лопасти. Поэтому будем рассматривать действующие силы в

введенных координатах. Проекция силы тяжести на ось  $Z$  -  $G_z = mg \cos \alpha$ , на ось  $X$  -  $G_x = mg \sin \alpha$ . Сила  $G_z$  по отношению к лопасти является нормальной, поэтому

$$F_{G_z} = mg \cos \alpha f \quad (1)$$

где  $f = 0.36 - 0.58$  - коэффициент трения зерна по стали.

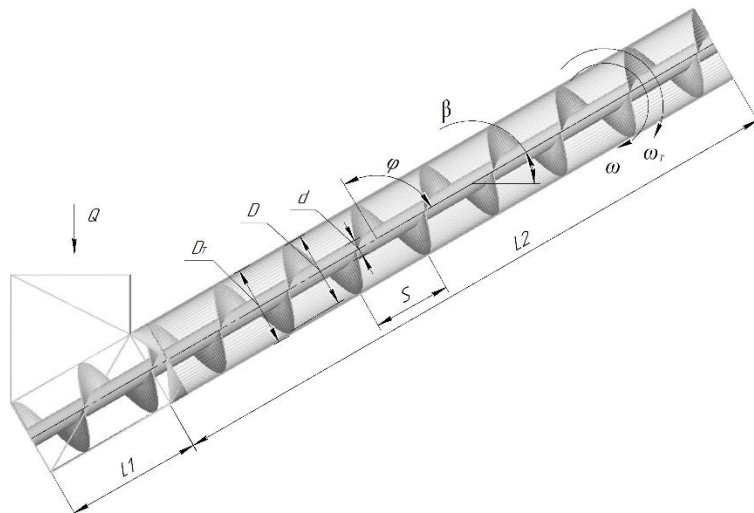


Рисунок 1 - Основные геометрические и кинематические параметры функционирования шнека.

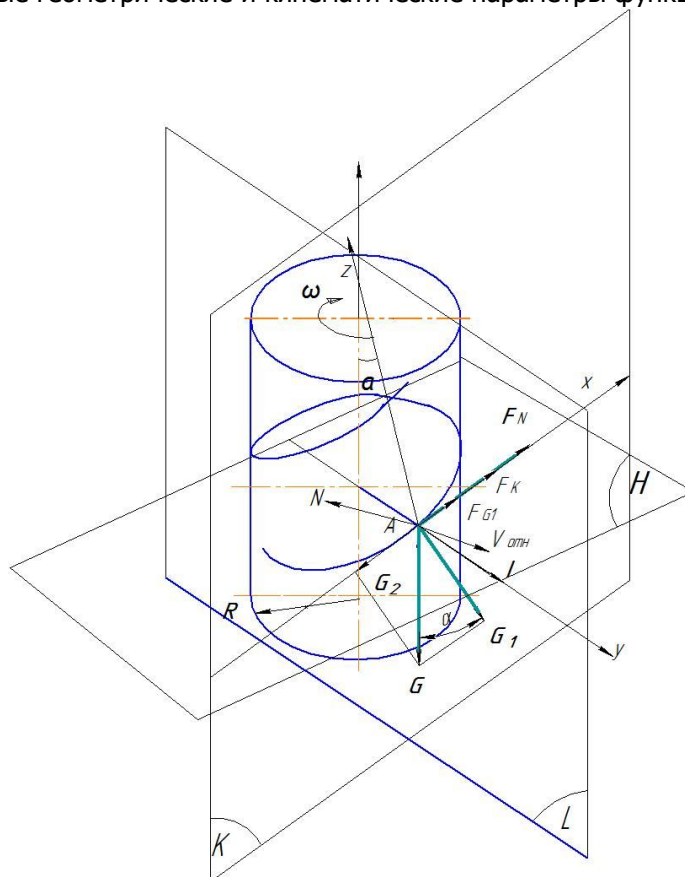


Рисунок 2 - Схема действующих сил на частицу,двигающуюся по шнековой лопасти

Нормальная сила действия лопасти на зерно  $N$  перпендикулярна координатной плоскости  $XAY$  и проектируется в точку  $A$ . В предложенной системе координат  $N$  прямого действия на перемещения зерна не оказывает. Но от действия  $N$  появляется сила трения  $F_N$ , которая тянет частицу по лопасти вверх.

$$F_N = Nf \quad (2)$$

Радиально действующая сила инерции вращения (центробежная)  $G_x$  действует в горизонтальной плоскости. Её проекция на плоскость  $H$  равна:

$$I_H = m\omega^2 r \cos \alpha \quad (3)$$

где  $\omega$  - угловая скорость шнековой трубы;  
 $r$  - радиус шнековой трубы.

Её проекция на ось  $X$  также равна 0 и, пока частица не достигает слоя опирающегося на кожух,  $I$  не оказывает влияние на её движение.

Скорость движения частицы относительно поверхности лопасти  $V_{отн}$  складывается из скоростей по оси  $X$  от действия сил  $F_N, F_{G_z}, G_x$  и из скоростей по оси  $Y$ . Переносная скорость вращательная, в таком случае на частицу действует дополнительно Кориолисова сила –  $F_{Кор}$

Уравнение движения по оси  $X$  :

$$\frac{md^2t}{dt^2} = Nf + mg \cos \alpha f - mg \sin \alpha + 2m V_{отн} \omega, \quad (4)$$

Анализ уравнения (4) показывает, что  $mg \cos \alpha f$  и  $mg \sin \alpha$  близки по значению, а при  $\alpha = 30^\circ$  практически равны, а, значит, правая часть уравнения положительна и частица движется по оси  $X$ .

При достижении частицей стенки вращающегося кожуха центробежная сила как нормальная воздействует на кожух, вызывая силу трения  $F_{кож}$ , так как скорость лопасти выше скорости частицы:

$$F_{кож} = m\omega^2 r f_k, \quad (5)$$

где  $f_1$  - коэффициент трения зерна о кожух; для лучшего транспортирования желательнее, чтобы  $f_1 > f$

Появляется дополнительный затягивающий эффект, продвигающий зерно вверх, чего нет в традиционном шнеке.

Если рассматривать транспортируемое зерно, как поток, то производительность потока в шнековой трубе  $Q$  п:

$$Q_{п} = \gamma T V_{\alpha}, \quad (6)$$

где  $\gamma$  - насыпная плотность зерна;  
 $T$  - поперечная площадь потока зерна;  
 $V_{\alpha}$  - осевая скорость потока.

Производительность шнека, как и шнековой трубы  $Q_{ш}$  определяется из параметров – большего и меньшего диаметров витков -  $D, d$ , шага спирали -  $S$ , насыпная плотность зерна -  $\gamma$ , частоты вращения транспортирующего элемента -  $n / 60 c^{-1}$

$$Q_{ш} = \psi k \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) S \gamma \frac{n}{60}, \quad (7)$$

где  $\psi$  - коэффициент заполнения шнека;  
 $k$  - коэффициент проскальзывания зерна по лопасти.  
 Очевидно,

$$Q_{п} = Q_{ш}, \quad (8)$$

но

$$T = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2), \quad (9)$$

тогда

$$\gamma V_{oc} = \psi k S \gamma \frac{n}{60}, \quad (10)$$

окончательно

$$V_{oc} = \psi k S \frac{n}{60} \quad (11)$$

У шнековой трубы есть одна особенность, материал должен быть сыпучим, а в загрузочной части шнековой трубы должны быть прорези для поступления материала к спирали. Что касается зерна, оно может быть влажным с повышенным содержанием примесей, то есть недостаточно сыпучим. Поэтому целесообразно загрузочную часть на один – полтора витка выполнить с обычным шнеком (рисунок 3).

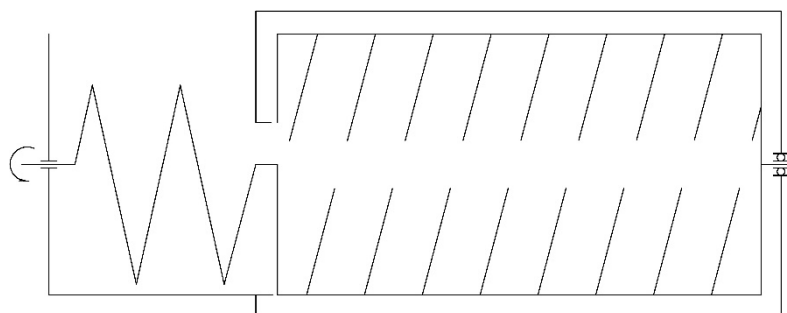


Рисунок 3 - Схема бесцентрового шнека

Предварительное моделирование одного из вариантов функционирования шнека методом имитационного моделирования показало возможность применения данной теории для более глубокого понимания процесса перемещения сыпучего материала с помощью шнека. Применение прикладных программных средств позволило получить первичные данные для постановки полноценного многофакторного эксперимента.

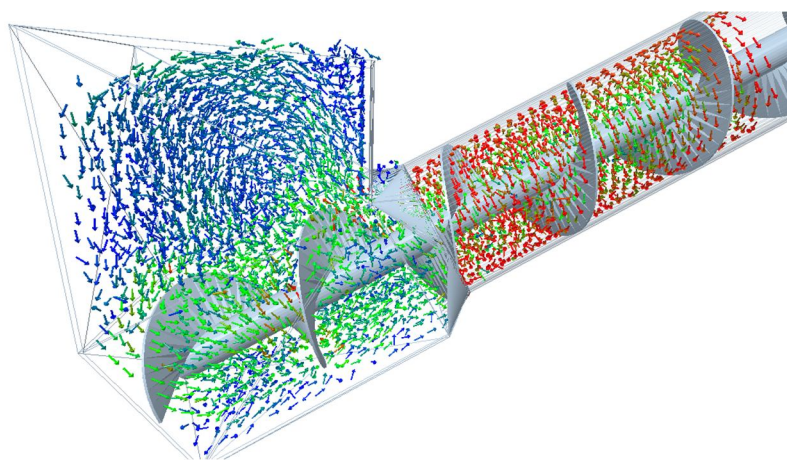


Рисунок 4 - Величина и направление скоростей перемещения частиц зернового материала внутри шнека

**Выводы.** В результате работы уточнена и упрощена схема действующих сил за счет рационального выбора системы координат.

Полученное уравнение проекций действующих сил на направление перемещения подтверждает работоспособность шнековой трубы.

Определено, что осевая скорость передвижения материала шнековой трубой может быть определена по известной формуле для шнека, хотя эмпирические коэффициенты нуждаются в уточнении.

А при прочих равных условиях производительность шнековой трубы будет выше, так как активный кожух создает для зерна дополнительную движущую силу. В ходе дальнейших исследований планируется решить следующие задачи:

- какие силы действуют на транспортируемые частицы;

- всегда ли работоспособна шнековая труба, и какие условия её работоспособности;
- определить продольную скорость движения материала;
- проанализировать преимущества шнековой трубы в сравнении со шнеком кроме снижения повреждений.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

#### **Список использованных источников**

Байбара С. Н. Обоснование параметров однозаходного вертикального шнекового конвейера с двухлопастной загрузкой: диссертация ... кандидата технических наук: 05.02.13 [Юж. - Рос. гос. ун-т экономики и сервиса]. - Шахты, 2008. - 142 с.

Черненко Г. В. Обоснование параметров вертикального шнекового конвейера с оребренным кожухом для транспортирования сыпучих материалов: диссертация... кандидат технических наук: 05.02.13, 13 [Юж. - Рос. гос. ун-т экономики и сервиса]. - Шахты, 2010. - 135 с.

3. Ахматов А.А., Орбинский В.И., Солнцев В.Н. Травмирование зерна шнековым питающим устройством. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – No 4 (47).

4. Смехунов Е.А., Рукасов К.В. Работоспособность альтернативного транспортирующего шнека. Сборник ИТНО 2019 г

5. Нис Я.З. Физико-механические, физико-химические и теплофизические свойства сырья и готовых продуктов пищевой промышленности: справочные материалы/Юж-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2012. - 28с