

## МЕТОДИКА КИНЕМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ШНЕКОВЫХ ПОДАВАТЕЛЕЙ СТЕБЛЕЙ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ УБОРКИ ПОДСОЛНЕЧНИКА

**С.С. Макаров,**  
научный сотрудник

ФГБНУ ВНИИМК

Россия, 350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17

Тел./факс: (861) 254-06-96

E-mail: vniimk-centr@mail.ru

*Для цитирования:* Макаров С.С. Методика кинематического расчета шнековых подавателей стеблей приспособления для уборки подсолнечника // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2015. – Вып. 4 (164). – С. 52–55.

**Ключевые слова:** уравнение движения точки, вектор абсолютной скорости, кинематическая схема движения, скорость движения стебля, длина рабочей части шнека, корзинка, отрезок стебля.

Для определения оптимальных геометрических и кинематических параметров шнековых транспортеров проанализирован процесс перемещения стеблей. Составлено уравнение движения точки по винтовой линии. Определено выражение для нахождения величины вектора абсолютной скорости. Математически определена величина ускорения точки вдоль оси шнека. Выявлена взаимосвязь между геометрическими и кинематическими параметрами шнекового транспортера. Длина отрезка стебля определена как радиус-вектор к траектории движения точки стебель-шнек, а угол отклонения стебля от вертикали – как угол направляющего косинуса радиус-вектора. Решая полученное уравнение, можно определить режим работы и параметры шнекового транспортера.

## A methodology of kinematic calculation for screw conveyor of stems to adjustment for sunflower harvesting.

**Makarov S.S.**, researcher

FGBNU VNIIMK

17, Filatova str., Krasnodar, 350038, Russia

Tel.: (861) 254-06-96

vniimk-centr@mail.ru

**Key words:** equation of movement point, vector of absolute speed, kinematic scheme of movement, speed of stem movement, length of working part of screw-conveyor, head, a piece of a stem.

The process of stems movement is analyzed for determination of optimum geometrical and kinematic parameters of the screw conveyors. The equation of the movement point on the screw line is worked out. An expression for finding of a size of an absolute speed vector is defined. The size of acceleration of a point along a screw axis is mathematically determined. The interrelation between geometrical and kinematic parameters of the screw conveyor is revealed. Length of a stem piece is determined as a radius-vector to a trajectory of a point movement of a stem-screw conveyor, and a stem deviation corner from a vertical is determined as a corner of the directing cosine of radius-vector. Solving the received equation it is possible to define an operating mode and parameters of the screw conveyor.

**Введение.** Исследования, проведенные в течение ряда лет во ВНИИМК по созданию жатки для уборки подсолнечника со шнековыми транспортерами для подачи стеблей к режущему аппарату, в силу простоты конструкции и ее надежности, показали перспективность направления работы. Поэтому возникла необходимость оптимизации основных параметров шнековых транспортеров для стеблей подсолнечника [1].

**Методы исследований.** В результате экспериментов по изучению динамических эффектов при транспортировке стеблей к режущему аппарату было установлено, что при использовании шнеков с изменяющимся шагом резко снижаются

динамические эффекты, а значит, уменьшаются прямые потери семян на уборке.

Для определения оптимальных геометрических и кинематических параметров шнековых транспортеров стеблей проанализируем подробнее процесс перемещения стеблей шнеком с изменяющимся шагом к режущему аппарату, используя кинематический метод движения точки [2].

**Результаты и обсуждение.** Уравнение движения точки В по винтовой линии в параметрической форме имеет вид [2]:

$$\begin{cases} x_B = r \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0), \\ y_B = r \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0), \\ z_B = V_{B_0} \cdot t. \end{cases} \quad (1)$$

Применительно к шнековому подавателю стеблей нас интересует только третье уравнение системы (1), которое характеризует перемещение точки вдоль оси z, т.е. вдоль оси шнека.

Если задать, что точка В движется равноускоренно вдоль оси z, то третье уравнение системы (1) примет вид:

$$z_B = V_{B_0} \cdot t + \frac{a_B \cdot t^2}{2}. \quad (2)$$

Вектор абсолютной скорости точки В будет равен векторной сумме двух составляющих скорости перемещения точки В вдоль оси z  $\overline{V}_B^z$  и тангенциальной скорости  $\overline{V}_B^r$ , направленной по касательной к траектории движения точки В перпендикулярно оси шнека (рис. 1):

$$\overline{V}_B = \overline{V}_B^r + \overline{V}_B^z. \quad (3)$$

Величины составляющих вектора абсолютной скорости можно найти по формулам:

$$V_B^r = V_B \cdot \sin \beta, \quad (4)$$

$$V_B^z = V_B \cdot \cos \beta, \quad (5)$$

где  $\beta$  – угол наклона винтовой линии шнека, град.

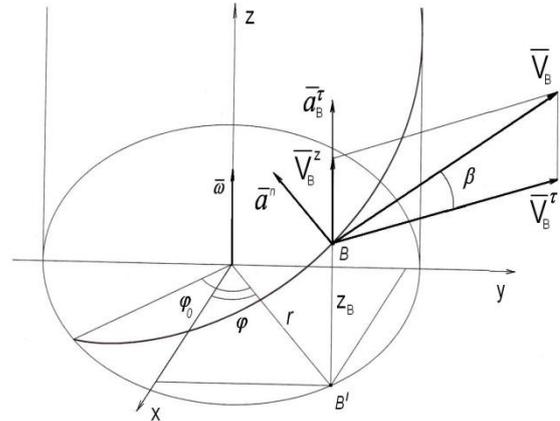


Рисунок 1 – Кинематическая схема движения точки по винтовой линии

$V_B^r$  также можно выразить через угловую скорость шнека  $\omega$ :

$$V_B^z = \omega \cdot r, \quad (6)$$

где  $r$  – радиус шнека, м;

$\omega$  – угловая скорость шнека, рад/с.

Подставляя (4) и (6) в (5) получим:

$$V_B^z = \omega \cdot r \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (7)$$

Примем, что угол  $\beta \neq \text{const}$ , а является функцией от угла поворота шнека по линейной зависимости:

$$\beta = k \cdot \varphi + \beta_0; \quad \beta = k \cdot \omega \cdot t + \beta_0, \quad (8)$$

где  $k$  – коэффициент увеличения (уменьшения) угла  $\beta$ .

Найдём величину ускорения точки В, направленного вдоль оси шнека, как производную по времени  $t$  от скорости  $V_B^z$ :

$$\frac{dV_B^z}{dt} = a_B^z = \frac{\omega^2 \cdot r \cdot k}{\cos^2(k \cdot \omega \cdot t + \beta_0)}. \quad (9)$$

Подставляя (9) и (8) в (2), получим уравнение движения стебля в шнеке с равно изменяющимся шагом в зависимости от кинематических ( $\omega$ ) и конструктивных ( $r, \beta_0, k$ ) параметров шнека:

$$z = \omega \cdot r \cdot \operatorname{tg} \beta_0 \cdot t \pm \frac{r \cdot k \cdot \omega^2 \cdot t^2}{2 \cos^2(k \cdot \omega \cdot t + \beta_0)}. \quad (10)$$

Заметим, что скорость перемещения стебля шнековым подавателем на стадии проектирования можно изменять конструктивными параметрами, не изменяя кинематических, и наоборот. Также изменив закон изменения угла  $\beta$  (формула 8), можно изменить характер движения стебля в шнековом подавателе.

Рассмотрим общий случай наклонного расположения шнекового транспортера к поверхности поля.

В результате исследования необходимо установить взаимосвязь между геометрическими и кинематическими параметрами шнекового транспортера, поступательной скоростью приспособления и биометрическими характеристиками подсолнечника.

Для систематизации процесса перемещения стеблей в приспособлении примем допущение, что стебли подсолнечника представляют собой прямой стержень с шарнирным закреплением его на поверхности поля.

Кинематическая схема движения комбайна с приспособлением представлена на рисунке 2.

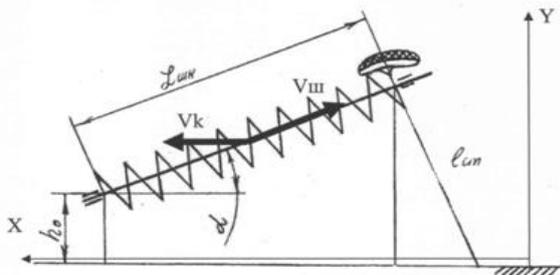


Рисунок 2 – Кинематическая схема движения комбайна

Проекции скоростей на оси X и Y будут иметь вид:

$$\begin{aligned} OX: V_k - V_{ш} \cdot \cos \alpha, \\ OY: V_{ш} \cdot \sin \alpha, \\ V_k = \text{const}, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\alpha$  – угол наклона оси шнека к поверхности поля, град;

$V_k$  – скорость комбайна, м/с.

Подставляя выражение (10) в (11), получим уравнение движения точки контакта стебель–шнек в параметрической форме:

$$\begin{cases} X(t) = V_k \cdot t - [(w \cdot r \cdot \operatorname{tg} \beta) + \\ + \frac{r \cdot k \cdot w^2 \cdot t^2}{2 \cdot \cos(k \cdot w \cdot t + \beta)^2}] \\ Y(t) = [(w \cdot r \cdot \operatorname{tg} \beta) + \\ + \frac{r \cdot k \cdot w^2 \cdot t^2}{2 \cdot \cos(k \cdot w \cdot t + \beta)^2}] \cdot \sin \alpha + h \end{cases}, \quad (12)$$

где  $h$  – высота расположения заходной части шнека над поверхностью поля, м.

Высота расположения заходной части шнека над поверхностью поля определяется минимальной высотой расположения корзинок подсолнечника над поверхностью поля.

Время движения стебля в шнеке будет изменяться от  $t$  до  $t_k$ .  $t_k$  равно отношению длины шнека к скорости движения стебля в шнеке:

$$T_k = L_{шн} / V_{ш}, \quad (13)$$

где  $L_{шн}$  – длина рабочей части шнека, м;

$V_{ш}$  – скорость движения стебля в шнеке, м/с.

Длину отрезка стебля в фиксированный момент времени можно определить как радиус-вектор к траектории движения точки касания стебель–шнек, а угол отклонения стебля от вертикали  $\gamma$  – как угол направляющего косинуса радиус-вектора к оси Y:

$$L(t) = \sqrt{\frac{V_k \cdot t - [(w \cdot r \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot t) + \frac{r \cdot k \cdot w^2 \cdot t^2}{2 \cdot \cos(k \cdot w \cdot t + \beta)^2}] \cdot \cos \alpha}{+ [(w \cdot r \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot t) + \frac{r \cdot k \cdot w^2 \cdot t^2}{2 \cdot \cos(k \cdot w \cdot t + \beta)^2}] \cdot \sin \alpha + h}^2},$$

$$\gamma = \frac{\arccos \frac{Y_{tk}}{R_{tk}} \cdot 180}{3,14}. \quad (14)$$

Таким образом, решая полученное уравнение (14) с учётом известных и выбранных величин, мы можем определить интересующие режимы работы и параметры шнекового транспортёра стеблей, а также характеристику поступающей в молотильный аппарат комбайна массы.

Для шнека с одинаковым шагом, т.е. при  $k = 0$  уравнение (14) примет вид:

$$L(t) = \sqrt{\frac{[V_k \cdot t - (w \cdot r \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot t) \cdot \cos \alpha]^2}{+ [(w \cdot r \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot t) \cdot \sin \alpha + h]^2}}. \quad (15)$$

Для уменьшения загрузки молотильного аппарата комбайна необходимо, чтобы в него поступали только корзинки подсолнечника с минимальным отрезком стеблей. Таким образом, по формуле (14) необходимо производить расчёт с учётом биометрических параметров растений подсолнечника.

**Выводы.** Необходимая длина активной части шнека, частота его вращения и поступательная скорость перемещения приспособления зависит от длины стеблей, пониклости растений, а также от ярусности расположения корзинок подсолнечника по высоте, т.к. оптимальная высота расположения нижнего конуса шнека над поверхностью поля определяется наименьшей высотой расположения

корзинок подсолнечника над его поверхностью.

1. Длина отрезков стеблей, поступающих с корзинками в молотилку комбайна, может быть уменьшена за счет увеличения поступательной скорости приспособления или уменьшения частоты вращения шнеков.

2. С уменьшением пониклости стеблей и ярусности расположения корзинок подсолнечника по высоте могут быть уменьшены длина шнеков и угол их наклона.

#### Список литературы

1. Шафоростов В.Д., Макаров С.С., Сухомлинов Л.Г., Михайлова В.Л. Определение оптимальных режимов работы приспособления со шнековой подачей стеблей для уборки подсолнечника // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИ масличных культур. – Краснодар, 2007. – Вып. 2 (137). – С. 119–123.
2. Добронравов В.В., Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. – Высшая школа. – М.: Б.и., 1983 – 143 с.

#### References

1. Shaforostov V.D., Makarov S.S., Sukhomlinov L.G., Mikhaylova V.L. Opredelenie optimal'nykh rezhimov raboty prispособleniya so shnekovoy podachey stebley dlya uborki podsolnechnika // Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekhn. byul. VNIИ maslichnykh kul'tur. – Krasnodar, 2007. – Vyp. 2 (137). – S. 119–123.
2. Dobronravov V.V., Nikitin N.N. Kurs teoreticheskoy mekhaniki. – Vysshaya shkola. – M.: B.i., 1983 – 143 s.