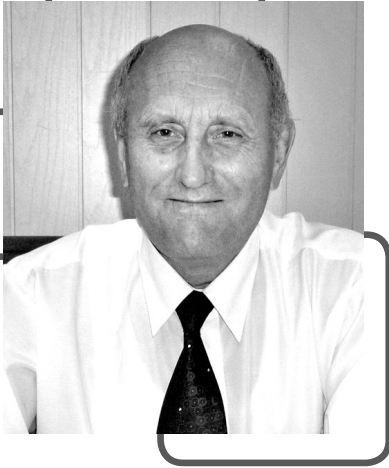


РАСЧЕТ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКА И НАКЛОННОГО ТРАНСПОРТЕРА

В.А. Николаев

д.т.н., доцент, доцент кафедры механизации сельскохозяйственного производства
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА



Пространственное моделирование, кинематические и динамические параметры, шнек, наклонный транспортер, зерноуборочный комбайн

Spatial modeling, kinematic and dynamic parameters, auger, inclined conveyor, grain combine

В настоящее время все большее распространение при конструировании получает пространственное моделирование. Оно позволяет наглядно изобразить конструкцию технического средства, осмотреть ее со всех сторон, избежать ошибок при конструировании. Пространственное моделирование удобно также применять для расчета кинематических и динамических параметров конструкции. При этом векторы можно показать в пространстве в выбранном масштабе, а спроецировав на оси или плоскости, получить без расчетов величины их проекций.

Применим пространственное моделирование для расчета кинематических и динамических параметров шнека и наклонного транспортера зерноуборочного комбайна ЗУКОН-3 (зерноуборочный комбайн Николаева) [1]. На рисунке 1 показан привод элементов жатки комбайна.

Чтобы угловые скорости валов мотвила 10 и шнека соответствовали скорости комбайна, их привод осуществлен от приводного колеса 1, расположенного с левой стороны жатки 8. Приводное колесо установлено в подшипниках, смонтированных на поводке 5, и его прижимает к почве гидроцилиндр прижатия 4. От шкива приводного колеса 2, выполненного заодно со ступицей приводного колеса, через ременные передачи 3 вращение передается на промежуточный шкив 7, шкив привода шнека 9 и вал мотвила 11. Натяжение всех ремней ременных передач осуществляют гидроцилиндры 6, полости которых сообщаются с гидропневмоаккумулятором. Полость гидроцилиндра прижатия также сообщается с гидропневмоаккумулятором.

Срезанные верхние части растений попадают на шнек. Диаметр вала, витков шнека и многие другие геометрические параметры элементов конструкции получены из конструктивной компоновки. В частности, шаг витков шнека должен превышать расчетную длину верхней части растения, то есть около 190 мм. Между тем, шаг витков шнека должен быть минимально возможным, чтобы направление перемещения верхних частей растений было преимущественно вдоль шнека. Примем шаг витков шнека $t = 0,2 \text{ м}$.

Со шнека верхние части растений через окно попадают на наклонный транспортер. Расстояние a между планками наклонного транспортера получим построением. Допустим, что при горизонтальном положении предыдущей планки последующая планка должна подходить к окну. Так как ширина окна 85 мм, примем расстояние между планками на транспортере $a = 90 \text{ мм}$. Ширина планок транспортера $b_{п.т} = 1920 \text{ мм}$, исходя из геометрических параметров кожуха,

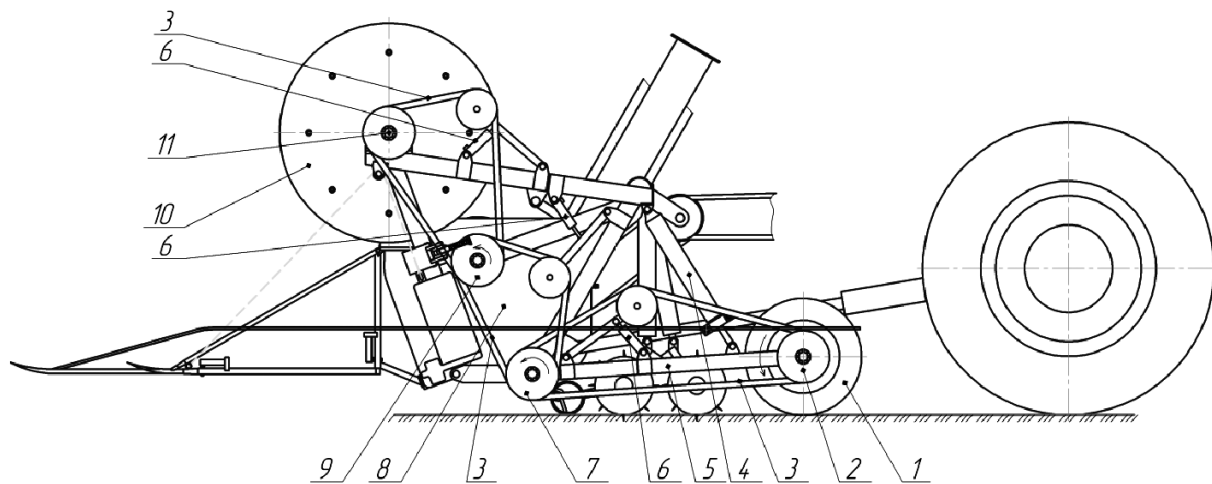


Рисунок 1 – Схема жатки, вид слева:

- 1 – приводное колесо; 2 – шкив приводного колеса; 3 – ременная передача; 4 – гидроцилиндр прижатия;
5 – поводок; 6 – гидроцилиндр; 7 – промежуточный шкив; 8 – жатка; 9 – шкив привода шнека;
10 – мотовило; 11 – вал мотовила

а высота – $h_{nm} = 48 \text{ мм}$. Так как угловая скорость приводного колеса $\omega_k = 5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, прием конструктивно диаметры шкивов приводного колеса и шнека соответственно $d_{uk} = 180 \text{ мм}$; $d_{uu} = 120 \text{ мм}$. Передаточное отношение от приводного колеса к шнеку $i = \frac{d_{uk}}{d_{uu}} = 1,5$. Угловая скорость вала шнека $\omega_{uu} = 7,5 \text{ рад/с}$. Число оборотов шнека $n_{uu} = \frac{7,5}{2 \cdot 3,14} \approx 1,2 \text{ об/с}$.

Допустим, что в секунду на метр ширины шнека поступит 600 шт. верхних частей растений ($N = 600 \text{ шт.}$). Так как шаг витков шнека $t = 0,2 \text{ м}$, то если допустить, что шнек неподвижен, на один его виток в среднем поступит

$$j_n = Nt \text{ растений.} \quad (1)$$

$$j_n = 120 \text{ растений.}$$

На один движущийся виток шнека поступит

$$j_d = \frac{j_n}{n_{uu}} \text{ растений.} \quad (2)$$

$$j_d = 100 \text{ растений.}$$

Из опытных взвешиваний, в зависимости от влажности хлебной массы, масса верхней части растения тритикале от 5 до 15 граммов. Примем массу одной верхней части растения $m_g = 0,01 \text{ кг}$. Коэффициент трения верхних частей растений средней влажности при движении примем $f = 0,3$.

Получим, что общая масса верхних частей растений на четырехметровом шнеке с двадцатью витками составит

$$m_{uu} = 20j_d m_g. \quad (3)$$

$$m_{uu} = 20 \text{ кг.}$$

Наибольшую расчетную массу верхних частей растений перемещает пятый от края виток шнека: $m_{uu \max} = 5 \text{ кг}$. Построим пространственную модель сил воздействия этого витка и неподвижного кожуха шнека на верхние части растений, сосредоточив массу перемещаемых растений в одной точке, расположенной внизу витка (рис. 2).

Сила тяжести верхних частей растений $G_{uu} = 9,8m_{uu \max}$; $G_{uu} = 49 \text{ Н}$. Ей противодействует нормальная сила воздействия неподвижного кожуха шнека на верхние части растений, направленная вверх (зеленый вектор).

Сила трения верхних частей растений о неподвижный кожух шнека $F_m = fG_{uu}$; $F_m = 0,3 \cdot 49 = 14,7 \text{ Н}$. Ее преодолевает сила, которую направим перпендикулярно витку шнека в выбранной точке (красный вектор). Сложив в пространстве вектор этой силы и нормальной силы, получим равнодействующую (синий утолщенный вектор) воздействия неподвижного кожуха шнека. Из пространственной модели:

- равнодействующая $R = 51,2 \text{ Н}$;

- ее проекции на оси: $R_x = 14,2 \text{ Н}$;

$R_y = 3,8 \text{ Н}$; $R_z = 49 \text{ Н}$ (тонкие векторы);

- угол наклона витка в условной точке касания с верхними частями растений $\alpha \approx 15^\circ$.

Если рассматривать взаимодействие между шнеком и верхними частями растений, то красный вектор будет нормальной силой реакции

шнека на воздействие верхних частей растений. Сила трения шнека о верхние части растений направлена по касательной к витку шнека в выбранной точке: $F_{m_{ш}} = f F_{n_{ш}}$; $F_{m_{ш}} = 4,4 \text{ Н}$. Нанесем силу, равную ей (коричневый вектор) и преодолевающую эту силу трения. Разложим эту силу на составляющие: $F_x = 1,1 \text{ Н}$; $F_y = 4,2 \text{ Н}$.

Первый, второй, третий и четвертый витки краев шнека менее загружены. Средняя часть шнека сбрасывает верхние части растений на наклонный транспортер, поэтому она еще менее загружена. Однако с учетом неравномерности нагрузки, обусловленной варьированием урожайности, влажности верхних частей растений, скорости комбайна и других трудно учитываемых факторов, примем нагрузку на все витки шнека равной нагрузке на пятый виток. Исходя из этого, суммарная сила

$$\begin{aligned} F_{y\Sigma} &= 20F_y. \\ F_{y\Sigma} &= 88 \text{ Н}. \end{aligned} \quad (4)$$

Необходимый вращающий момент для привода шнека

$$M_{ш} = F_{y\Sigma} r_{ш} \quad (5)$$

где $r_{ш}$ – наружный радиус витка шнека, из конструктивной компоновки $r_{ш} = 0,15 \text{ м}$.

Получаем $M_{ш} = 13,2 \text{ Нм}$.

Вращающий момент, необходимый для привода мотвила $M_m = 25,4 \text{ Нм}$ [2]. Суммарный вращающий момент, необходимый для привода мотвила и шнека будет равен

$$M_{\Sigma} = M_m + M_{ш} + M_m, \quad (6)$$

где M_m – вращающий момент, необходимый для преодоления сил трения в передачах от приводного колеса до мотвила и шнека, трения в подшипниках приводного колеса и его перекачивания. Этот момент следует определять экспериментальным путем. Без его учета $M_{\Sigma} = 25,4 + 13,2 = 38,6 \text{ Нм}$.

Сила сцепления приводного колеса с почвой определяется по формуле

$$F_k = \frac{M_{\Sigma}}{r_k}, \quad (7)$$

где r_k – радиус приводного колеса, из конструктивной компоновки $r_k = 0,2 \text{ м}$,

$$\text{тогда } F_k = \frac{38,6}{0,2} = 193 \text{ Н}.$$

Мощность на привод шнека определяется по формуле $N_{ш} = M_{ш} \omega_{ш}$ и составит $N_{ш} = 99 \text{ Вт} \approx 0,1 \text{ кВт}$.

Если количество растений на квадратном метре поля $N = 600 \text{ шт.}$, ширина захвата жатки

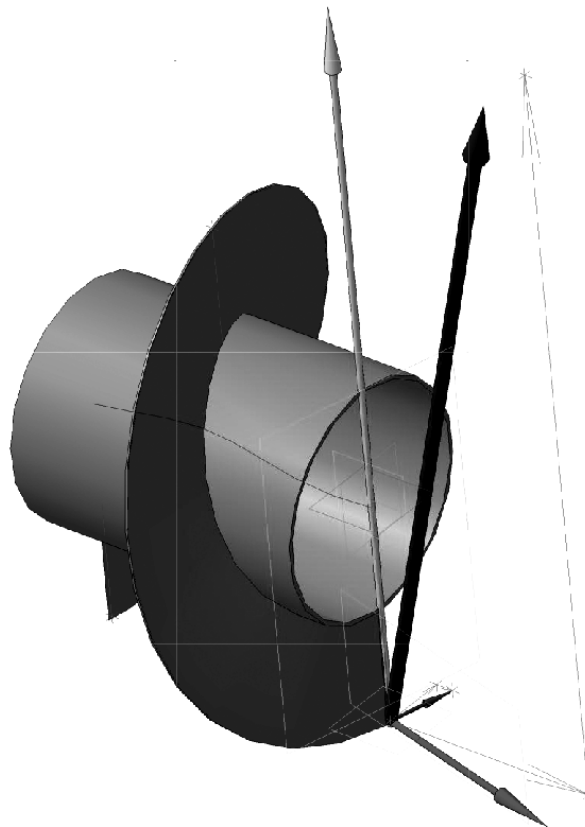


Рисунок 2 – Пространственная модель сил воздействия фрагмента шнека и неподвижного кожуха шнека на верхние части растений

4 метра, скорость комбайна $v_k = 1 \text{ м/с}$, то на наклонный транспортер в секунду попадает 2400 верхних частей растений массой $m_{nm} = 24 \text{ кг}$. Так как расстояние между планками наклонного транспортера $a = 0,09 \text{ м}$, ширина планок транспортера $b_{nm} = 1920 \text{ мм}$, а высота $h_{nm} = 48 \text{ мм}$, то объем пространства между планками будет равен

$$V = 1,92 \cdot 0,048 \cdot 0,09 = 0,0083 \text{ м}^3.$$

Если ориентировочные размеры верхней части растения с учетом неплотной упаковки примем $0,2 \times 0,015 \times 0,01 \text{ м}$, то объем одной верхней части растения $V_{вчр} = 0,00003 \text{ м}^3$. Количество верхних частей растений, которое уместится между планками, — $j_{nm} = \frac{V}{V_{вчр}}$; $j_{nm} \approx 277 \text{ шт}$. массой $m_n = 2,77 \text{ кг}$.

На каждую планку рабочей ветви наклонного транспортера попадут верхние части растений массой

$$m_n = \frac{m_{nm} a}{v_{nm}}. \quad (8)$$

Отсюда скорость рабочей ветви наклонного транспортера

$$v_{nm} = \frac{m_{nm} a}{m_n}. \quad (9)$$

$$v_{nm} = 0,78 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Так как диаметр делительной окружности ведущей звездочки наклонного транспортера $d_{вnm} = 0,16 \text{ м}$, то угловая скорость ведущего вала наклонного транспортера должна быть не менее $\omega_{вnm} = \frac{2v_{nm}}{d_{вnm}}$; $\omega_{вnm} = 9,75 \text{ рад/с}$.

В комбайнах ЗУКОН-3 передача от двигателя на ведущий вал наклонного транспортера проходит через несколько ступеней. Номинальная частота вращения колленчатого вала двигателя 2200 об/мин., а угловая скорость — $\omega_{кв} = 230 \text{ рад/с}$. Тогда из конструктивной компоновки угловая скорость ведущего вала наклонного транспортера будет равна $\omega_{вnm} = 10,36 \text{ рад/с}$, а скорость рабочей ветви наклонного транспортера $v_{nm} \approx 0,83 \text{ м/с}$.

Из формулы 9 на каждую планку рабочей ветви наклонного транспортера попадут верхние части растений массой $m_n = 2,6 \text{ кг}$. Длина наклонного транспортера из конструктивной компоновки 3500 мм. На рабочей ветви расположено $i = 39$ планок. Общая масса верхних частей растений на планках составит

$$m_{\Sigma nm} = m_n i. \quad (10)$$

$$m_{\Sigma nm} = 101 \text{ кг}.$$

На рисунке 3 показана пространственная модель сил воздействия фрагмента планки рабо-

чей ветви наклонного транспортера на верхние части растений. Изобразим фрагмент планки наклонного транспортера под углом $\beta = 60^\circ$. Массу перемещаемых верхних частей растений сосредоточим в одной точке, расположенной внизу планки. Сила тяжести верхних частей растений $G_n = 9,8 m_n$; $G_n = 9,8 \cdot 2,6 \approx 25,5 \text{ Н}$.

От выбранной точки отложим вектор силы тяжести и разложим его на составляющую, направленную вдоль рабочей ветви наклонного транспортера и перпендикулярно ей (тонкие векторы внизу). Составляющая силы тяжести верхних частей растений $G_n \sin \beta$, направленная вдоль рабочей ветви наклонного транспортера, преодолевает усилие, создаваемое двигателем комбайна. Составляющая силы тяжести верхних частей растений $G_n \cos \beta$, направленная перпендикулярно рабочей ветви наклонного транспортера, создает силу трения верхних частей растений о кожу. Так как угол наклона наклонного транспортера $\beta = 60^\circ$, то $G_n \sin \beta = 22 \text{ Н}$, $G_n \cos \beta = 12,9 \text{ Н}$.

Составляющую $G_n \cos \beta$ уравнивает равная ей по величине, но противоположно направленная нормальная реакция (зеленый вектор). Сила трения верхних частей растений о кожу наклонного транспортера

$$F_m = f G_n \cos \beta; F_m = 0,3 \cdot 12,9 = 3,9 \text{ Н}.$$

Отложим вдоль направления движения планки рабочей ветви наклонного транспортера силу, равную силе трения (красный вектор). К ней присоединим вектор $G_n \sin \beta$ (темно-желтый) и получим суммарную силу F воздействия планки на верхние части растений, расположенные на ней:

$$F = G_n \sin \beta + F_m. \quad (11)$$

$$F = 22 + 3,9 = 25,9 \text{ Н}.$$

Сложив в пространстве суммарную силу F и нормальную реакцию, получим равнодействующую (синий утолщенный вектор). Из пространственной модели:

- равнодействующая $R = 28,9 \text{ Н}$;

- ее проекция на вертикальную ось

$$R_{вер} = 2,1 \text{ Н};$$

- ее проекция на горизонтальную ось

$$R_{гор} = 28,8 \text{ Н} \text{ (тонкие векторы вверх)}.$$

Для определения силы тяги к этой силе следует добавить силу трения планок о кожу и силу, необходимую для преодоления трения в подшипниках и шарнирах цепи. Эти силы следует определять экспериментальным путем.

Так как на рабочей ветви расположено $i = 39$ планок, то без учета этих сил суммарная сила тяги, необходимая для перемещения наклонного транспортера будет равна

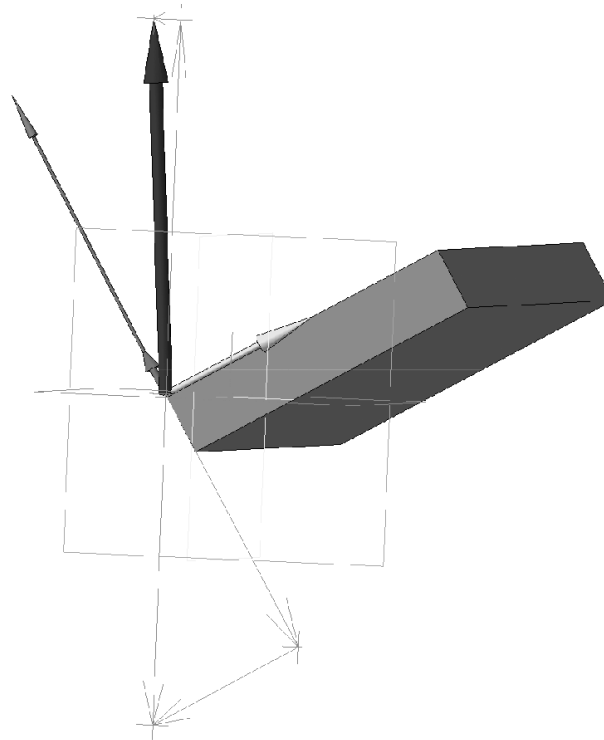


Рисунок 3 – Пространственная модель сил воздействия фрагмента планки рабочей ветви наклонного транспортера на верхние части растений

$$F_{\Sigma} = iF. \quad (12)$$

$$F_{\Sigma} = 1010 \text{ Н.}$$

Вращающий момент, необходимый для привода наклонного транспортера определяется по

$$\text{формуле } M_{nm} = \frac{F_{\Sigma} d_{\text{внм}}}{2},$$

где $d_{\text{внм}}$ – диаметр делительной окружности шестерни на ведущем вале наклонного транспортера, $d_{\text{внм}} = 0,25 \text{ м}$, тогда $M_{nm} = 80,8 \text{ Нм}$.

Мощность, необходимая для привода наклонного транспортера будет равна

$$N_{nm} = M_{nm} \omega_{\text{внм}},$$

где угловая скорость ведущего вала наклонного транспортера $\omega_{\text{внм}} = 10,36 \text{ рад/с}$, следовательно, $N_{nm} = 837 \text{ Вт} \approx 0,85 \text{ кВт}$.

Вывод

Применяя пространственное моделирование, можно быстро и точно определить кинематические и динамические параметры шнека, наклонного транспортера зерноуборочного комбайна. Пространственное моделирование можно также использовать для определения параметров элементов других технических средств.

Литература

1. Пат. 2574138 Российская Федерация. Зерноуборочный комбайн [Текст] / Николаев В.А., Макурин Б.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА». – № 2014117997/13; заявл. 05.05.2014; опуб. 10.02.2016, Бюл. № 4. – 18 с.
2. Николаев, В.А. Определение параметров взаимодействия планки мотвила со стеблем растения в период отделения захваченной порции растений от остальной хлебной массы [Текст] / В.А. Николаев // Вестник АПК Верхневолжья. – 2014. – № 3. – С. 58-62.

References

1. Pat. 2574138 Rossijskaja Federacija. Zernouborocchnyj kombajn [Tekst] / Nikolaev V.A., Makurin B.I.; zjavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Jaroslavskaja GSXA». – № 2014117997/13; zjavl. 05.05.2014; opub. 10.02.2016, Bjul. № 4. – 18 s.
2. Nikolaev, V.A. Opredelenie parametrov vzaimodejstvija planki motovila so steblem rastenija v period otdelenija zahvachennoj porcii rastenij ot ostal'noj hlebnoj massy [Tekst] / V.A. Nikolaev // Vestnik APK Verhnevzh'ja. – 2014. – № 3. – S. 58-62.