



Зерноуборочный комбайн, мотовило, взаимодействие планки с растением, кинематические параметры мотовила, мощность для привода

The grain combine, reel, interacting of a lath with a plant, the kinematic parameters of a reel, power for the drive

ЗАВИСИМОСТИ, ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ АНАЛИЗА КИНЕМАТИКИ ПЛАНКИ МОТОВИЛА, И РАСЧЁТ ПРИВОДА МОТОВИЛА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

В.А. Николаев

д.т.н., доцент кафедры механизации сельскохозяйственного производства ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА»

Мотовило жатки зерноуборочного комбайна, разработанного в ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА» [1], имеет существенные отличия от аналогичных конструкций современных комбайнов. Так, диаметр траектории осей планок мотовила $d = 0,55$ м, высота планок – 0,2 м, угловая скорость – $\omega_M = 5$ рад/с.

Планки мотовила совершают не плоскопараллельное движение, а в момент вхождения в хлебную массу совершают поворот относительно своих осей на угол 10° , отделяя захваченную порцию растений от остальной хлебной массы. В ранее опубликованной статье в журнале «Вестник АПК Верхневолжья» [2] были определены параметры взаимодействия планки мотовила со стеблем растения только в период отделения захваченной порции растений от остальной хлебной массы.

Чтобы определить закономерности взаимодействия планок с растениями в процессе работы в других положениях, необходимо знать скорости планки в любом положении мотовила. Выявим зависимости кинематических параметров элементов мотовила от угла φ поворота его вала. Для этого разобьём траекторию осей планок мотовила на 16 частей (рис. 1 и 2) и отметим на ней точки 1, 2, 3...

Перемещая планку по отмеченным точкам, определим траекторию нижнего ребра планки мотовила. Измерив радиусы r_1, r_2, \dots , определим окружную скорость нижнего ребра планки мотовила в различных положениях. Спроецировав окружную скорость нижнего ребра планки мотовила на горизонтальное и вертикальное направление, получим горизонтальную и вертикальную составляющие скорости.

Время полного оборота мотовила:

$$\tau_{\text{общ}} = \frac{2\pi}{\omega_M}; \tau_{\text{общ}} = 1,256 \text{ с.}$$

Следовательно, если скорость комбайна $v_k = 1$ м/с, то среднее время перемещения планки из одного положения в другое $\tau = \frac{1,256}{16} = 0,0785$ с.

Воспользовавшись программой Excel, построим зависимости скоростей нижнего ребра планки мотовила от угла поворота вала мотовила в различных координатах (рис. 3–7). Результаты аппроксимаций и их достоверность показаны на полях графиков.

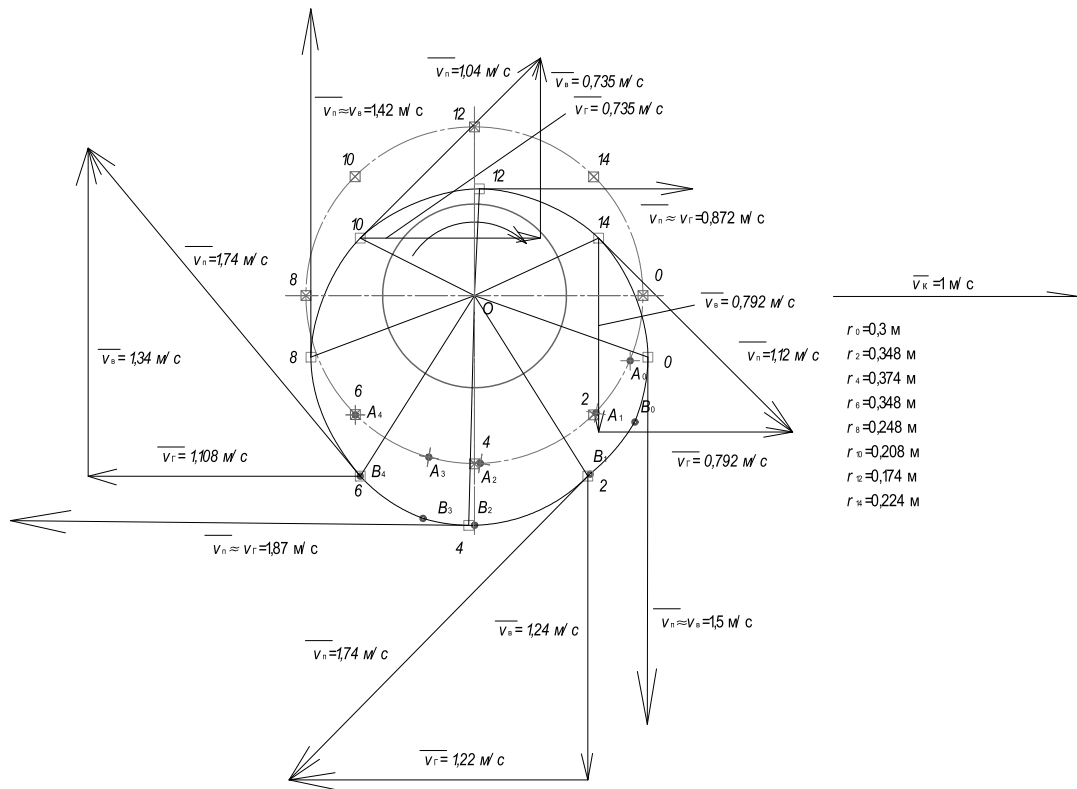


Рисунок 1 – Окружная скорость нижнего ребра планки мотвила в чётных точках траектории и её составляющие

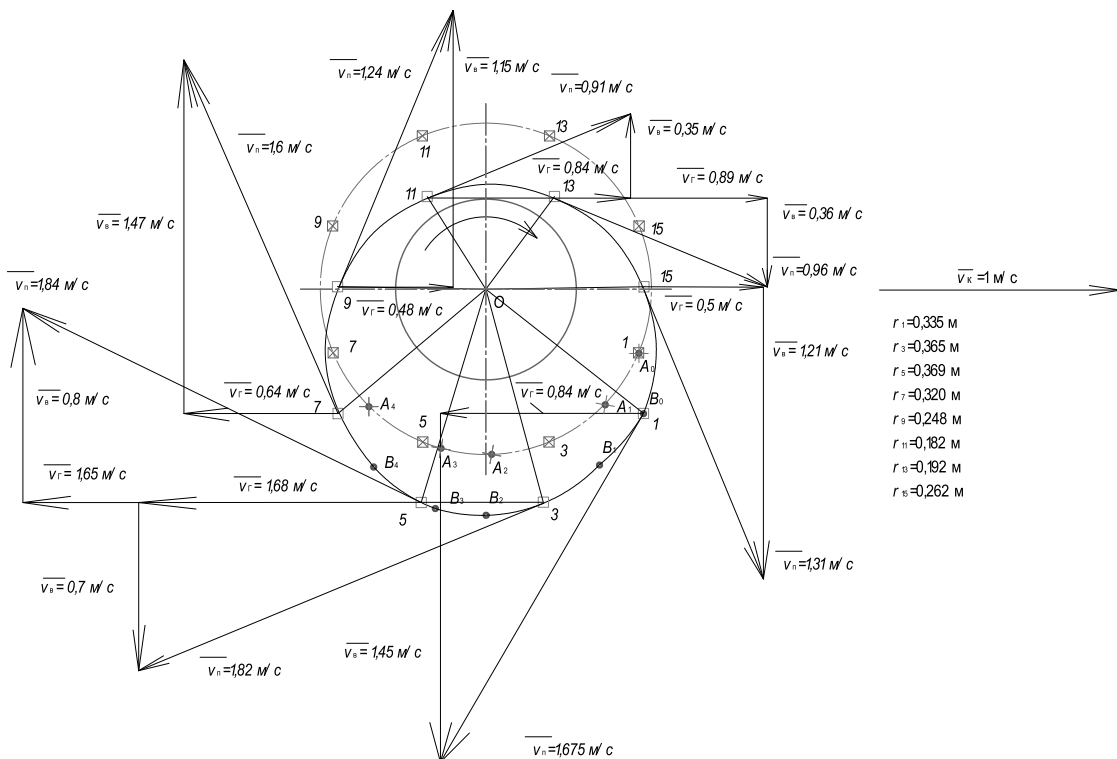


Рисунок 2 – Окружная скорость нижнего ребра планки мотвила в нечётных точках траектории и её составляющие

Зависимости, полученные в результате анализа кинематики планки мотвила, и расчёт привода мотвила зерноуборочного комбайна

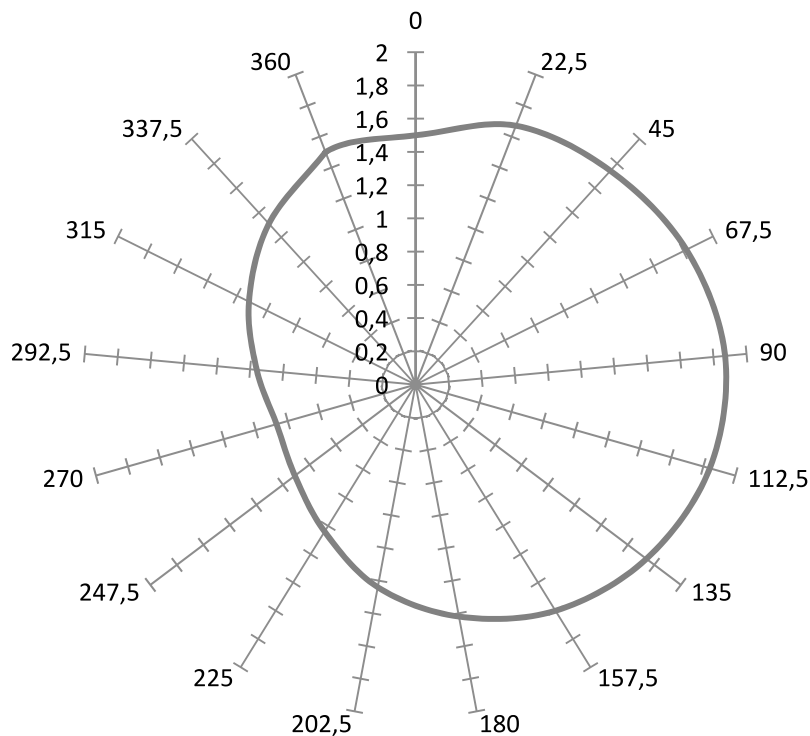


Рисунок 3 – Зависимость окружной скорости нижнего ребра планки мотвила от угла поворота его вала

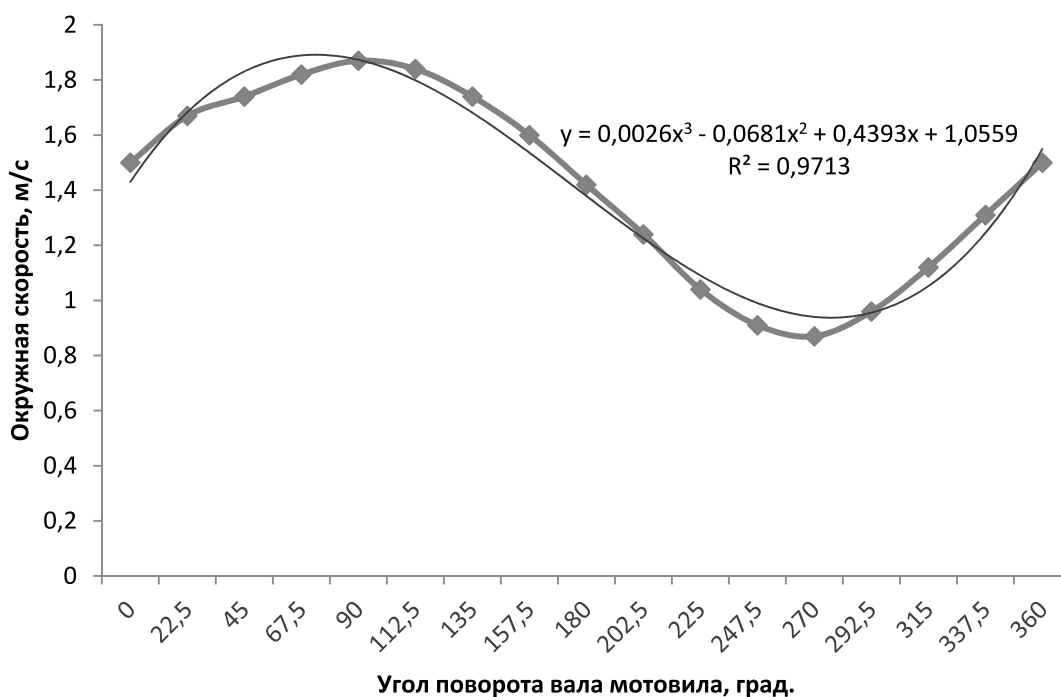


Рисунок 4 – Зависимость окружной скорости нижнего ребра планки мотвила от угла поворота его вала

Если скорость комбайна $v_k = 1$ м/с, а время полного оборота мотвила $\tau_{\text{общ}} = 1,256$ с, то за один оборот мотвила комбайн переместится на расстояние $s_{\text{общ}} = 1,256$ м. Если плотность растений на одном квадратном метре поля $N = 600$, то каждая планка мотвила захватит

$$n = N \frac{s_{\text{общ}}}{n_m}, \quad (1)$$

где n_m – количество планок из конструктивной компоновки, $n_m = 8$;

$$n \approx 95 \text{ растений.}$$

Если жатка шириной $B = 4$ м, а делители разделяют хлебную массу на участки шириной $b = 0,1$ м, то каждая планка мотвила захватит в участке

$$n_y = \frac{bn}{B}, \quad (2)$$

$$n_y = \frac{0,1 \cdot 95}{4} = 2,375 \text{ растений}$$

Примем силу воздействия планки мотвила на одно растение постоянной, не зависящей от стадии его резания: $F_1 = 1,34$ Н [3]. Допустим, что растения поступают для резания непрерывно. Тогда вращающий момент привода вала мотвила, необходимый для обеспечения резания растений,

$$M_p = \frac{F_1 B d}{b \cdot 2} \text{ Нм}, \quad (3)$$

где d – диаметр траектории осей планок мотвила; из [2] $d = 0,55$ м.

$$M_p = 14,74 \text{ Нм.}$$

Сопротивление воздуха движению мотвила можно принять равным создаваемому динамическому напору:

$$p_d = 0,5 \rho v^2 \text{ Па}, \quad (4)$$

где ρ – плотность воздуха, примем $\rho = 1,225$ кг/м³; v – скорость воздушного потока.

В конструкции мотвила есть различные элементы, создающие динамический напор при вращении вала мотвила. Однако наибольшую долю в создании динамического напора вносят планки. Вклад остальных элементов конструкции незначительный. Его можно учесть коэффициентом $k_d = 1,2$, на который умножим динамический напор, создаваемый планками.

Строго говоря, скорость воздушного потока при вращении планок будет изменяться по более сложному закону, но для простоты вычислений примем скорость воздушного потока равной окружной скорости планок. Окружная скорость

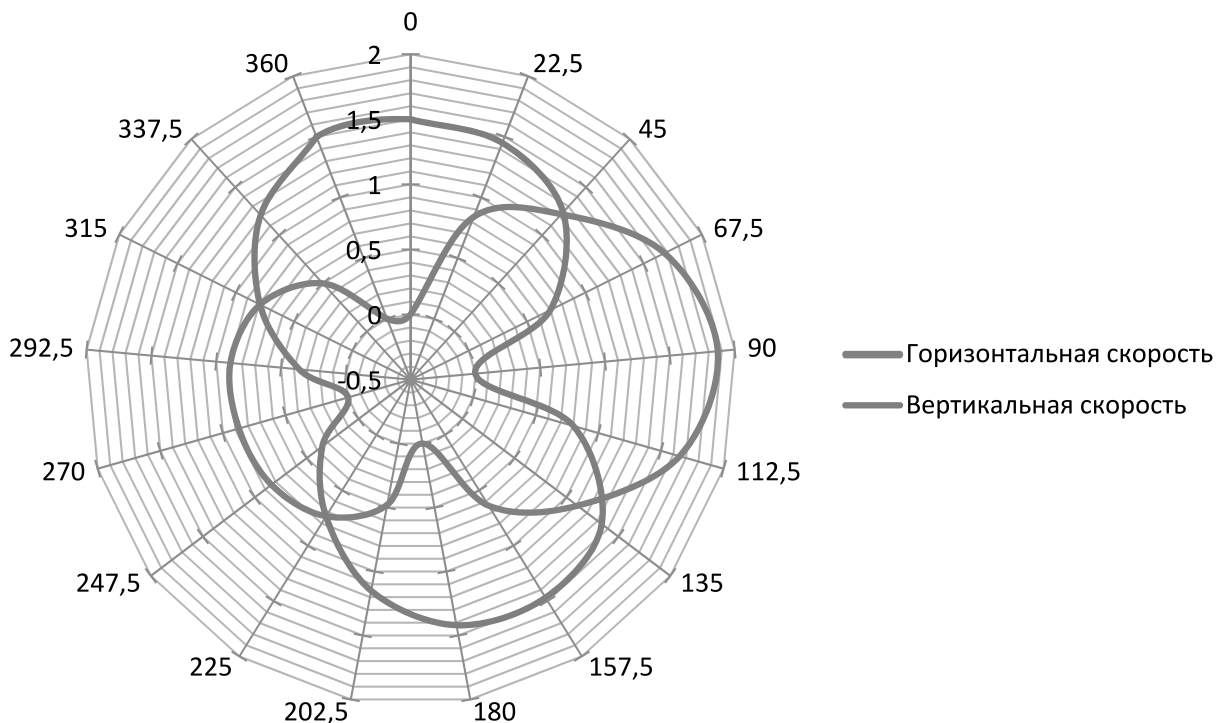


Рисунок 5 – Зависимость горизонтальной и вертикальной скорости нижнего ребра планки мотвила от угла поворота его вала

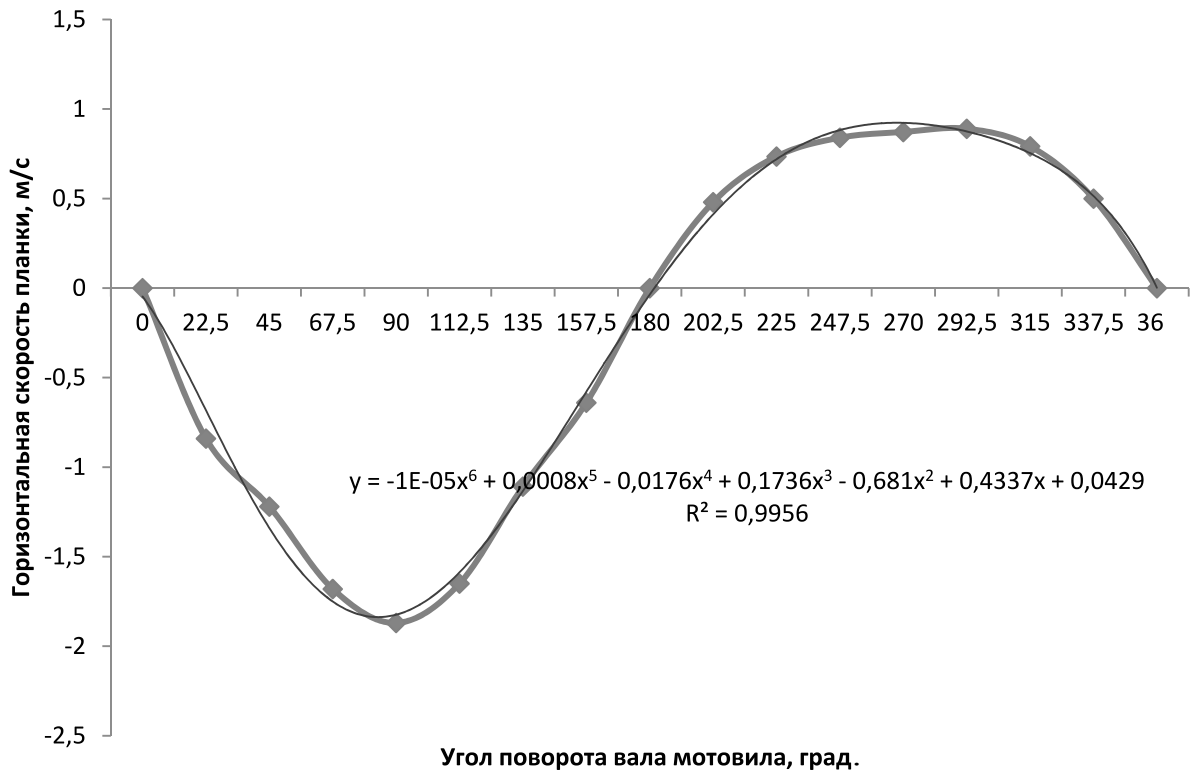


Рисунок 6 – Зависимость горизонтальной скорости нижнего ребра планки мотвила от угла поворота его вала

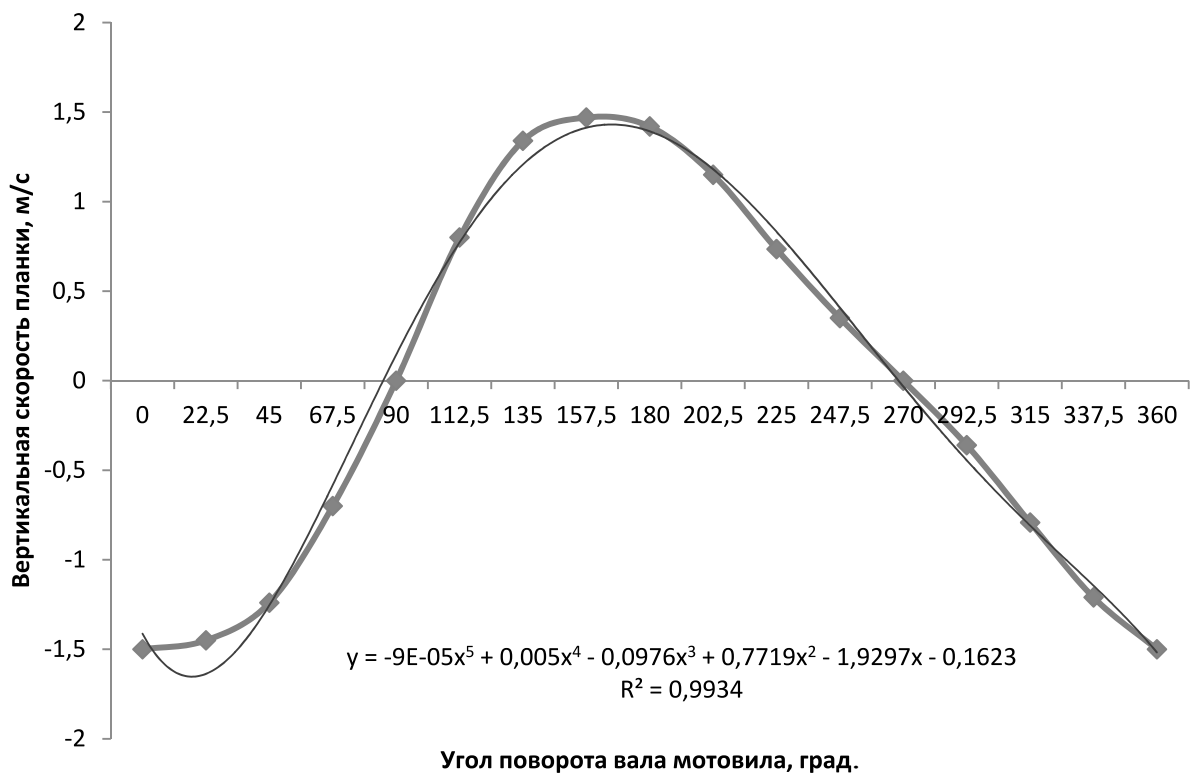


Рисунок 7 – Зависимость вертикальной скорости нижнего ребра планки мотвила от угла поворота его вала

Зависимости, полученные в результате анализа кинематики планки мотвила, и расчёт привода мотвила зерноуборочного комбайна

планок варьируется от 0,87 м/с до 1,87 м/с. Поэтому формула 4 примет вид:

$$p_d = 0,5\rho \int_{0,87}^{1,87} v^2 dv. \quad (5)$$

Интегрируя, получим: $p_d = 1,2$ Па.

Сила, необходимая для создания динамического напора воздуха,

$$F_B = p_d n_m \int_{s_{min}}^{s_{max}} s ds, \quad (6)$$

где s_{min} , s_{max} – наименьшая и наибольшая площадь сечения планки, перпендикулярного вектору окружной скорости; n_m – количество планок мотвила, $n_m = 8$.

Наименьшая площадь сечения равна сумме толщины планки и диаметра оси планки [2]. Пренебрегая толщиной планки, $s_{min} = 0,025$ м². Наибольшая площадь сечения планки $s_{max} = 0,2 \cdot 4 = 0,8$ м². Тогда

$$F_B \approx 6 \text{ Н.}$$

Вращающий момент привода вала мотвила, необходимый для преодоления сопротивления воздуха перемещению планок,

$$M_{B\Pi} = F_B \frac{d}{2} \text{ Нм}; \quad (7)$$

$$M_{B\Pi} = 1,65 \text{ Нм.}$$

С учётом сопротивления воздуха перемещению других элементов мотвила

$$M_B = k_d M_{B\Pi}; M_B = 1,2 \cdot 1,65 \approx 2 \text{ Нм.}$$

Общий момент, необходимый для вращения мотвила,

$$M_M = M_p + M_B + M_T, \quad (8)$$

где M_T – вращающий момент, необходимый для преодоления сил трения в подшипниках и копирующих роликах. Примем $M_T = M_B$. Тогда:

$$M_M = 14,74 + 2 + 2 = 18,74 \text{ Нм.}$$

Так как угловая скорость вала мотвила должна строго соответствовать скорости комбайна, его привод осуществим от приводного колеса с левой стороны жатки.

Примем конструктивно диаметр приводного колеса 400 мм. Тогда за один оборот поверхность колеса проделает путь $\pi d_k = 3,14 \cdot 0,4 = 1,256$ м. Если скорость комбайна $v_k = 1$ м/с, то за одну секунду колесо совершит $\frac{1}{1,256} = 0,796$ оборота. Угловая скорость колеса $\omega_k = 2\pi \cdot 0,796 = 5$ рад/с. Так как угловая скорость вала мотвила $\omega_M = 5$ рад/с, то передаточное отношение от колеса к мотвилу

$$i = \frac{\omega_k}{\omega_M} = 1.$$

Мощность на привод мотвила без учёта трения в приводе:

$$N_M = M_M \omega_M; \quad (9)$$

$$N_M \approx 94 \text{ Вт} \approx 0,1 \text{ кВт.}$$

Следует учесть вероятность при уборке встречного ветра. Если допустить, что напор ветра на планки мотвила в их нижнем положении равен нулю, то при встречном ветре 3,5 м/с динамический напор $p_d = 7,5$ Па. Сила, необходимая для преодоления динамического напора ветра, $F_B = 24$ Н, а вращающий момент – $M_B = 6,6$ Нм. Этот момент следует добавить в формулу 8.

Вывод

Полученные параметры кинематики планки мотвила позволяют рассчитать привод мотвила и осуществить его конструктивную компоновку.

Литература

1. Патент РФ №2486737. Зерноуборочный комбайн / В.А. Николаев. – №2011139738: заявл. 29.09.2011; опубл. 10.07.2013, бюл. №19. 15 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.
3. Николаев, В.А. Определение параметров взаимодействия стебля растения с абразивным диском [Текст] / В.А. Николаев // Вестник АПК Верхневолжья. – 2014. – №2. – С 81-85.