

Энергетические показатели шнеково-вальцового очистителя корнеплодов

В.М. Мартынов, д.т.н., ***Г.П. Юхин***, д.т.н., профессор,
А.А. Катков, к.т.н., ***А.М. Калимуллин***, к.т.н., Башкирский ГАУ

В Башкирском ГАУ разработано универсальное и многофункциональное устройство, представляющее собой шнеково-вальцовый очиститель корнеплодов [1–4]. Его универсальность заключается в возможности обработки различных видов корнеплодов и клубней картофеля. Кроме того, очиститель может использоваться в составе комбайна [5, 6], а после демонтажа — в линии

подготовки кормов для сухой доочистки корнеклубнеплодов. Установленный под углом γ к вертикали шнеково-вальцовый очиститель (рис. 1) позволяет не только очищать ворох корнеплодов от почвенных и растительных примесей, но и непрерывно принимать от выкапывающего рабочего органа и транспортировать корнеплоды с подъёмом на значительную высоту.

Работоспособность, качество работы и энергоёмкость данного устройства во многом определяются правильным подбором его конструктивных и

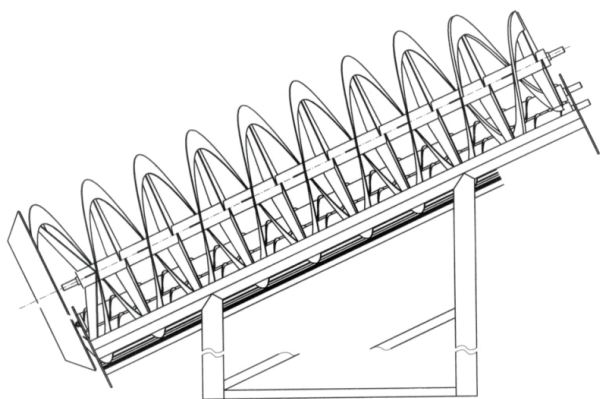


Рис. 1 – Общий вид шнеково-вальнового очистителя корнеплодов

кинематических параметров. Основные параметры шнеково-вальнового очистителя обусловлены его работоспособностью и качеством работы [7–11].

Цель исследования – определение мощности на привод работы шнеково-вальнового очистителя и оптимизация его параметров и режимов работы.

Материалы и методы исследования. Поставленные цели решались с помощью теоретических методов исследования.

Результаты исследования. Энергетический расчёт производили в полном соответствии с полученным законом движения компонента вороха корнеплодов в винтовом конвейере-очистителе [7–9]. За основу принят случай установившегося движения корнеплода между вальцами [10].

Мощность, затрачиваемую на транспортировку и очистку корнеплодов, представим в виде [7]:

$$P = P_1 + P_2, \quad (1)$$

где P_1 – мощность на привод шнека;

P_2 – мощность на привод вальцов.

Мощность P_1 определяется трением материала о виток и затратами на подъём материала и вычисляется по формуле:

$$P_1 = N_1 \cos \alpha (f_1 \omega_0 r + v), \quad (2)$$

где N_1 – суммарная нормальная реакция на витки шнека со стороны транспортируемого вороха корнеплодов;

α – угол подъёма винтовой линии шнека на радиусе r ;

f_1 – коэффициент трения скольжения корнеплода о поверхность винта шнека;

ω_0 – угловая скорость вращения шнека, рад/с;

r – радиус, на котором располагается центр массы корнеплода относительно оси вращения шнека;

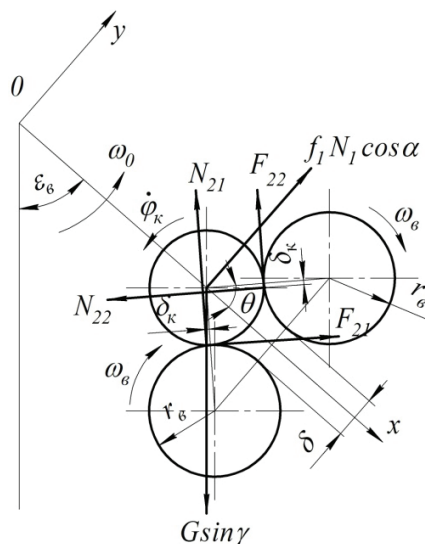


Рис. 2 – Схема действующих сил на корнеплод, находящийся между вальцами

v – скорость продольного перемещения материала, равная

$$v = a_e \cdot \omega_0 = S \cdot \omega_0 / (2\pi), \quad (3)$$

где $a_e = r \cdot \tan \alpha = S / (2\pi)$ – параметр винтового конвейера, м;

S – шаг винта, м.

При нахождении компонентов вороха корнеплодов между вальцами (рис. 2) нормальная реакция на виток N_1 вычисляется по формуле:

$$N_1 = [G \cdot \cos \gamma + f_2 \cdot (N_{21} + N_{22}) \cdot a_e \omega_0 / v_e] / (\cos \alpha - f_1 \cdot \sin \alpha), \quad (4)$$

где G – загрузка шнека ворохом корнеплодов в смеси с почвенными примесями, H ;

f_2 – коэффициент трения скольжения корнеплода о поверхность вальца;

N_{21}, N_{22} – нормальные реакции со стороны вальцов, H ;

v_e – относительная к вращающимся вальцам скорость корнеплода, равная

$$v_e = \sqrt{(a_e \omega_0)^2 + (r_e \omega_6 - \phi_k r_k)^2}, \quad (5)$$

где r_e – радиус вальцов, м;

r_k – радиус корнеплода, м;

ω_6 – угловая скорость вращения вальцов, рад/с;

ϕ_k – угловая скорость вращения компонента вороха корнеплодов при нахождении между вальцами, рад/с.

Реакции N_{21} и N_{22} определяются по формулам [11]:

$$N_{21} = G \frac{(\cos \theta + f_2'' \sin \theta) [(\cos \alpha - f_1 \sin \alpha) \sin \gamma \sin \epsilon_6 - \cos \gamma (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha)] - 2 \sin \theta [\cos \theta (1 + f_2'^2) (\cos \alpha - f_1 \sin \alpha) + - \sin \gamma \cdot \cos \epsilon_6 [(f_2'' \cos \theta - \sin \theta) (\cos \alpha - f_1 \sin \alpha) + f_2' (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha)]]}{+ f_2' f_2'' (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha)}; \quad (6)$$

$$N_{22} = \frac{G \cdot \sin \gamma \cdot \cos \varepsilon_g + N_{21} \cdot [f_2 \cdot \sin \theta \cdot (r_g \omega_g - \dot{\phi}_k r_k) / v_g - \cos \theta]}{\cos \theta + f_2 \cdot \sin \theta \cdot (r_g \omega_g - \dot{\phi}_k r_k) / v_g}, \quad (7)$$

где $\theta = \arcsin[(r_g + \delta/2)/(r_g + r_k)]$;

$$f_2' = f_2 a_g \omega_0 / v_g;$$

$$f_2'' = f_2 (r_g \omega_g - \dot{\phi}_k r_k) / v_g;$$

ε_g – угол установки валцов;

δ – зазор между валцами, м.

Для упрощения дальнейших расчётов примем угловую скорость компонента вороха $\dot{\phi}_k$ равной нулю. В формулы (4), (6) и (7) необходимо положить в качестве G загрузку шнека ворохом корнеплодов в смеси с почвенными примесями, т.е.

$$G = g \cdot Q \cdot L / v, \quad (8)$$

где Q – производительность очистителя, кг/с;

L – длина очистителя, м.

Мощность на привод валцов с учётом найденных значений N_{21} и N_{22} определяется по формуле:

$$P_2 = (N_{21} + N_{22}) f_2 (\omega_g r_g)^2 / \sqrt{(\omega_g r_g)^2 + (\omega_0 a_g)^2}. \quad (9)$$

С учётом засорённости корнеплодов почвой и растительными остатками, возможного защемления и дробления корнеплодов и почвенных комков в зазорах между наружной кромкой витка шнека и внутренней поверхностью жёлоба, а также с учётом коэффициентов полезного действия трансмиссии потребная мощность для привода очистителя может быть найдена по формуле:

$$P_n = k_n k_0 k_3 P / \eta_T, \quad (10)$$

где k_n – коэффициент засорённости вороха корнеплодов почвой и растительными остатками, $k_n = 1,05-1,25$, причём большее значение характерно для процесса уборки, а меньшее – для доочистки в составе кормоцеха;

k_0 – коэффициент, учитывающий защемление корнеплодов и дробление почвенных комков, $k_0 = 1,1-1,3$;

$k_3 = 1,1-1,25$ – коэффициент запаса мощности, учитывающий возможность пуска конвейера-очистителя под нагрузкой;

η_T – коэффициент полезного действия трансмиссии.

Заметим, что мощность на привод очистителя при одном и том же передаточном отношении между шнеком и валцами не зависит от частоты их вращения. Это объясняется тем, что при постоянной производительности очистителя с увеличением частоты их вращения пропорционально снижается загрузка очистителя ворохом корнеплодов. Заметим также, что предпочтительным вариантом с точки зрения качества очистки корнеплодов и равномерного износа поверхности валцов является равенство $N_{21} = N_{22}$.

На рисунке 3 показаны зависимости составляющих мощности на очистку и транспортировку корнеплодов от угла наклона очистителя к гори-

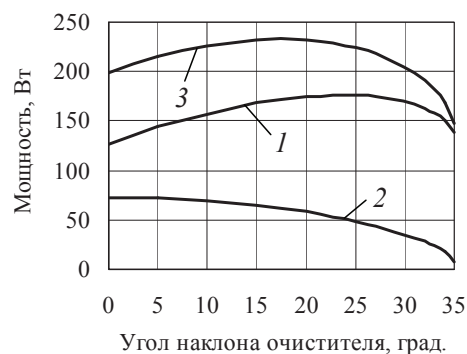


Рис. 3 – График зависимости мощности от угла наклона очистителя к горизонту при $N_{21} = N_{22}$: 1 – на привод шнека; 2 – на привод валцов; 3 – на транспортировку и очистку корнеплодов

зонт. В расчёте приняты: $Q = 1,4$ кг/с, $L = 2,5$ м; $S = 0,66$ м; $r = 0,47$ м; $r_g = 0,05$ м; $r_k = 0,05$ м; $f_1 = f_2 = 0,9$. Угол установки валцов принят из условия $N_{21} = N_{22}$.

Условие равенства $N_{21} = N_{22}$ при изменении угла наклона очистителя к горизонту сопряжено с необходимостью изменения угла установки валцов (рис. 4). При этом изменяются нормальные реакции на корнеплод со стороны витка шнека и валцов (рис. 5). Здесь нормальные реакции представлены удельными величинами в расчёте на единицу силы тяжести корнеплодов.

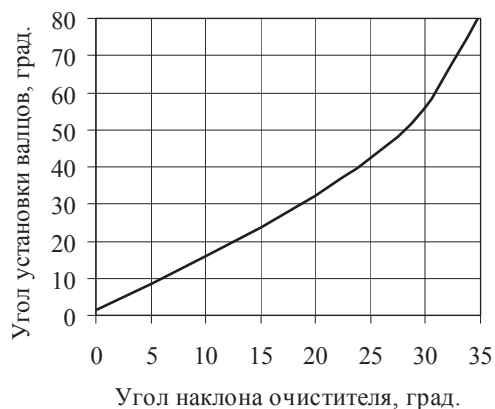


Рис. 4 – Зависимость угла установки валцов от угла наклона очистителя к горизонту при условии равенства $N_{21} = N_{22}$

Мощность на привод шнека определяет в основном очищающую способность устройства. Чем больше эта мощность, тем больше достигается трение корнеплодов о виток и, как следствие, обеспечивается лучшая очистка корнеплодов от связанной с ними почвы. Поэтому оптимальный угол наклона очистителя к горизонту 25° . При этом угле из условия $N_{21} = N_{22}$ угол $\varepsilon_g = 42,5^\circ$.

Выводы. 1. Установлены зависимости мощности на привод рабочих органов шнеково-валцового

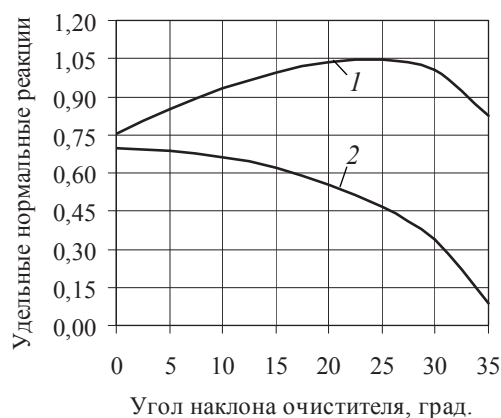


Рис. 5 – Зависимость удельных нормальных реакций N_1 (4) и $N_{21} = N_{22}$ (6) от угла наклона очистителя к горизонту

очистителя корнеплодов от его конструктивных и кинематических параметров.

2. Определены оптимальные конструктивные параметры шнеково-вального очистителя корнеплодов: угол наклона очистителя к горизонту — 25° , угол установки валов — $42,5^\circ$. Установлено, что энергоёмкость процесса очистки корнеплодов не зависит от частоты вращения шнека и валов.

Литература

1. Патент 2223628. Российская Федерация. Устройство для очистки корнеклубнеплодов / Юхин Г.П., Мартынов В.М., Катков А.А. Калимуллин А.М.; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. № 2002121554/12; заявл. 05.08.02; опубл. 20.02.04. Бюл. № 5. 8 с.
2. Патент 2268575. Российская Федерация. Очиститель корнеплодов / Юхин Г.П., Мартынов В.М., Катков А.А. Калимуллин А.М.; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. № 2004117662/12; заявл. 09.06.04; опубл. 27.01.06. Бюл. № 3. 7 с.
3. Патент 2272396. Российская Федерация. Очиститель вороха корнеклубнеплодов / Юхин Г.П., Мартынов В.М., Катков А.А., Калимуллин А.М.; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. № 2004124394; заявл. 10.08.04; опубл. 27.03.06. Бюл. № 9. 7 с.
4. Патент 2338366. Российская Федерация. Транспортёр-очиститель корнеплодов / Юхин Г.П., Мартынов В.М., Катков А.А. Калимуллин А.М.; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. № 2007109383/12; заявл. 14.03.07; опубл. 20.11.08. Бюл. № 32. 5 с.
5. Патент 2272394. Российская Федерация. Комбайн для уборки корнеклубнеплодов / Мартынов В.М., Юхин Г.П., Калимуллин А.М., Катков А.А. заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. № 2004124393; заявл. 10.08.04; опубл. 27.03.06. Бюл. № 9. 6 с.
6. Патент 2338365. Российская Федерация. Корнеклубнеуборочный комбайн / Мартынов В.М., Юхин Г.П., Калимуллин А.М., Катков А.А.; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. № 2007109382/12; заявл. 14.03.07; опубл. 20.11.08. Бюл. № 32. 7 с.
7. Карташов Л.П., Юхин Г.П., Мартынов В.М. и др. Рекомендации по проектированию очистителей корнеклубнеплодов шнекового типа от почвы. М: Россельхозакадемия, 2005. 36 с.
8. Карташов Л.П., Юхин Г.П., Мартынов В.М. и др. Моделирование рабочего процесса шнеково-вального очистителя корнеплодов от почвенных примесей // Техника в сельском хозяйстве. 2005. № 1. С. 11–15.
9. Мартынов В.М. Взаимодействие корнеплода с витком шнека и валом очистителя // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 12. С. 10–12.
10. Мартынов В.М. Исследование движения корнеплода на вальцах очистителя // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 4. С. 7–9.
11. Мартынов В.М. Проектирование рабочих органов и машин для уборки корнеплодов. Уфа: Изд-во Башкирского ГАУ, 2011. 250 с.