

## Литература

1. Постников, Н.М. Картофелепосадочные машины / Н.М. Постников, З.С. Торбеев. – М.: Машиностроение, 1968. – С. 191.
2. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в 3 томах / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – Т. 1. – С. 720.
3. Мацепуро, М.Е. Технологические основы механизации уборки картофеля / М.Е. Мацепуро. – Минск, 1959. – С. 302.
4. Верещагин, Н.И. Рабочие органы машин для возделывания, уборки и сортирования картофеля / Н.И. Верещагин. – М.: Машиностроение, 1965. – 267 с.
5. Корнеев, Г.В. Транспортёры и элеваторы сельскохозяйственного назначения / Г.В. Корнеев. – Машгиз, 1961. – С. 231.
6. Диденко, Н.Ф. Машины для уборки овощей / Н.Ф. Диденко, В.А. Хвостов, В.П. Медведев. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.
7. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – С. 831.
8. Лойцянский, Л.Г. Курс теоретической механики / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – Москва, 1954. – Т. 2. – С. 595.

УДК 631.356:635.132(476)

**А.Л. Рапинчук, В.Ф. Марышев,  
И.А. Барановский**  
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОЦЕССА УБОРКИ КОРНЕПЛОДОВ ПОДКАПЫВАЮЩИМИ ОРГАНАМИ ВИБРАЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ**

### **Введение**

Подкапывающие органы выполняют одну из первых операций технологического процесса уборки корнеплодов, поэтому степень их совершенства в значительной мере определяет параметры и энергоёмкость последующих рабочих органов и в конечном счете – технологическую схему и качество работы машины. Чем меньше земли сходит с подкапывающих органов вместе с корнеплодами и чем интенсивнее разрушены связи между отдельными агрегатами почвенного пласта, тем легче очистить корнеплоды от почвы.

### **Основная часть**

Из существующих в настоящее время технологических принципов нарушения связи корнеплодов с почвой наибольшее распространение и признание получил принцип, при котором рабочие органы производят подкапывание пласта земли вместе с корнеплодом с одновременным его подъемом, в результате чего происходят сдвиги почвы в зонах связи корнеплодов с почвой, чем и достигается нарушение этой связи.

Чтобы достигнуть более эффективного нарушения связи корнеплодов с почвой, необходимо добиться ее деформации в слоях, примыкающих к самому корнеплоду, т. е. в пределах связи корнеплода с почвой.

Основным параметром, влияющим на степень деформации почвы, а также степень нарушения связи корнеплодов с почвой, для любой формы вибрирующего клина является угол  $\alpha$  – угол вхождения в почву.

Положение поверхности клина, обеспечивающего подъем подрезанного пласта почвы с одновременным поднятием корнеплода, также характеризуется углом вхождения клина в почву  $\alpha$ . Этот угол достигается перемещением корнеплода (вверх) относительно подрезанного пласта почвы, обеспечивающим смещение частиц почвы друг относительно друга; почва деформируется, чем и достигается нарушение связи с ней корнеплодов.

Кроме того, сопротивление от перемещения клина в почве, а также направление нормального давления пласта на поверхность клина по отношению направления его движения зависят от угла  $\alpha$ . Эта зависимость, как известно, выражается:

$$P = \frac{N_k}{\cos \varphi} \cdot \sin(\alpha + \varphi),$$

где  $N_k$  – нормальное давление на поверхность клина,  $H$ ;

$\varphi$  – угол трения почвы о поверхность клина.

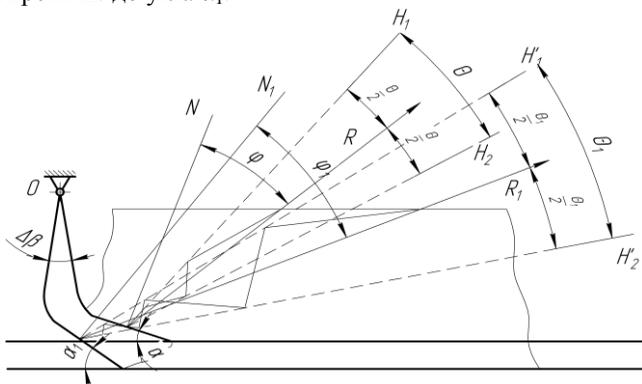
Для обоснования влияния угла  $\alpha$  вибрирующих рабочих органов на эффективность нарушения связи корнеплодов с почвой мы исходили из следующих соображений.

Профессором В.С. Жегаловым доказано, что усилие  $R$ , с которым плоский клин действует на почвенный пласт, отклоняется от нормали на угол трения  $\varphi$  (рисунок 89); опасные сечения  $H_1$ ,  $H_2$ , по которым может разрушиться пласт, если применить к нему теорию наибольших касательных напряжений, располагаются друг к другу под некоторым углом  $\theta$  симметрично силе  $R$ . В почве разрушение происходит по обоим направлениям в последовательном порядке так, как это показано на рисунке 89 ломаной линией. Это дает основание считать, что скалывание, а следовательно, и деформация почвы не отклоняются существенно от направления силы  $R$ , так как последняя совпадает с осью симметрии к плоскостям  $H_1$  и  $H_2$  [1].

Представим теперь, что за некоторое время  $\Delta t$  работы вибрирующий клин (рабочий орган) переместится и одновременно повернется на своей стойке вокруг оси  $O$  на некоторый угол  $\Delta\beta$  (рисунок 89).

Однако, ввиду того, что поступательная скорость движения клина незначительна по сравнению со скоростью колебания, перемещение клина в направлении движения за это время произойдет на незначительную величину, поэтому перемещением точки  $O$  в направлении движения

можно пренебречь. Из рисунка 89 нетрудно заметить, что угол  $\alpha$  увеличится за время  $\Delta t$  до угла  $\alpha_1$ .



**Рисунок 89 – К обоснованию влияния переменного угла вхождения рабочего органа на интенсивность деформации подкапываемого пласта**

Применяя теорию профессора В.С. Жегалова к нашему случаю, получаем уже иное направление скалывания почвы, которое будет проходить вблизи от прежнего направления скалывания между плоскостями  $H_1'$  и  $H_2'$ . Но так как вибрирующий клин за полный период колебания бесконечное количество раз уменьшит и увеличит угол  $\alpha$  по сравнению с первоначальным положением, то бесконечное количество раз изменятся направления, по которым будет скалываться подрезаемый пласт почвы.

Следовательно, на пути перемещения клина будет наблюдаться более интенсивная деформация с разрушением почвенного пласта по направлениям, зависящим в данный момент времени от угла  $\alpha$ . Естественно, что области деформации почвы будут большие и распространятся дальше, чем области деформации при работе невибрирующим клином.

Вследствие интенсивной деформации почвы вибрирующим клином уменьшается ее связность (способность почвы сопротивляться механическим воздействиям), вызываемая уменьшением сил сцепления между частицами почвы, последние при вибрировании приобретают большую подвижность.

Корнеплоды, находясь в такой среде, теряют с ней связь, а движущийся подкапывающий орган в этой среде будет испытывать меньшее сопротивление перемещению.

Это указывает на изменение среды в зоне вибрации подкапывающих лап, что сопровождается изменением сопротивления (лобового сопротивления и сопротивления трения).

Рассмотрим лобовое сопротивление пластинки площадью  $F_0$ , поставленной под углом  $\beta$  к направлению поступательного движения с углом вхождения  $\alpha$ .

Проекция площади пластинки на вертикальную плоскость, расположенную под углом  $\beta$  к направлению движения, будет:

$$F = F_0 \cdot \sin \alpha.$$

Если скорость перемещения пластинки в почве  $V$ , удельный объем почвы  $\gamma$ , то объем почвы, приводимый пластинкой в движение в одну секунду, будет:

$$Q = \gamma \cdot a \cdot F \cdot V \cdot \sin \beta,$$

где  $a$  – некоторый коэффициент, зависящий главным образом от формы движущегося тела;  $a$  берут равным единице [2].

Кинетическая энергия, сообщенная пластинкой этому объему почвы, равна:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{QV^2}{2g} = \frac{\gamma \cdot a \cdot F \cdot V \cdot \sin \beta \cdot V^2}{2g} = \frac{\gamma \cdot a \cdot F \cdot V^3}{2g} \cdot \sin \beta.$$

Кинетическая энергия равна работе сил сопротивления почвы. Если назовем силу сопротивления почвы  $S$ , то ее работа за 1 с или мощность равна произведению  $S \cdot V$ , откуда:

$$S \cdot V = \frac{\gamma \cdot a \cdot F \cdot V^3}{2g} \cdot \sin \beta,$$

а лобовое сопротивление почвы

$$S = \frac{\gamma \cdot a \cdot F \cdot V^2}{2g} \cdot \sin \beta.$$

Лобовое сопротивление почвы при поступательном движении вибрирующей пластинки будет:

$$S_b = \frac{\gamma_b \cdot a \cdot F \cdot (V \pm u_1)^2}{2g} \cdot \sin \beta, \quad (1)$$

где  $u_1$  – скорость движения почвы, вызванная вибрацией пластинки, здесь знак (–) минус берется при движении почвы, совпадающем с направлением движения пластинки в поступательном движении и (+) плюс – при движении почвы в обратном направлении, м/с;

$\gamma_b$  – удельный объем почвы в процессе вибрации,  $m^3$ .

Воздействие вибрирующей пластинки на почву при поступательном движении можно рассматривать как импульс силы  $P$ .

$$\Delta t \cdot P = m(u' - u_0); \quad P = \frac{m u'}{\Delta t},$$

где  $u' = (V \pm u_1)$  – скорость перемещения слоя почвы от воздействия колеблющейся пластинки и ее поступательного движения, м/с;

$u_0 = 0$  (начальная скорость).

Если бы не было сопротивления, то импульс силы  $P$  вызвал бы скорость перемещения слоя почвы  $u'$ , равную суммарной скорости пластинки от вибрации и поступательного движения  $u$ .

Но так как при перемещении почвы, безусловно, наблюдается сопротивление, то для того, чтобы скорость перемещения слоя почвы  $u'$  приблизилась к суммарной скорости пластинки от вибрации и поступательного движения  $u$ , необходимо увеличить действующую силу.

Рассматривая действующую силу  $P_1 > P$ , запишем:

$$\Delta t \cdot P_1 = m \cdot u; \quad P_1 = \frac{m \cdot u}{\Delta t}.$$

Следовательно, сила сопротивления (внутреннее трение и лобовое сопротивление перемещению слоя почвы)

$$S_1 = P_1 - P = \frac{m \cdot u}{\Delta t} - \frac{m \cdot u'}{\Delta t} = (u - u') \frac{m}{\Delta t}.$$

Но лобовое сопротивление перемещению почвы при вибрации в поступательном движении определено выражением (1), тогда сила внутреннего трения

$$T = S_1 - S_b = (u - u') \frac{m}{\Delta t} - \frac{a \cdot \gamma_b \cdot F \cdot (V \pm u_1)^2}{2g} \cdot \sin \beta. \quad (2)$$

Выражая силу внутреннего трения через коэффициент внутреннего трения почвы  $k$ , можно написать:

$$\begin{aligned} T &= k \cdot \Psi; \\ k &= T / \Psi, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\Psi$  – масса слоя почвы, приводимого в движение вибрирующей пластинкой при ее поступательном движении, кг:

$$\Psi = mg = a \cdot \gamma_b \cdot F \cdot l \cdot \sin \beta = a \cdot \gamma_b \cdot F \cdot V \cdot \Delta t \cdot \sin \beta, \quad (4)$$

где  $l = V \cdot \Delta t$  – длина пути при данной скорости.

Подставив в выражение (3) значение  $T$  из (2) и  $\Psi$  из (4), получим:

$$\begin{aligned} k &= (u - u') \frac{m}{mg \Delta t} - \frac{a \cdot \gamma_b \cdot F \cdot (V \pm u_1)^2}{2g \cdot \Psi} \cdot \sin \beta = \\ &= \frac{u}{g \Delta t} - \frac{u'}{g \Delta t} - \frac{a \cdot \gamma_b \cdot F \cdot (V^2 \pm 2 \cdot V \cdot u_1 + u_1^2)}{2g \cdot a \cdot \gamma_b \cdot F \cdot V \cdot \Delta t \cdot \sin \beta} \cdot \sin \beta = \\ &= \frac{u}{g \Delta t} - \frac{u'}{g \Delta t} - \frac{(V^2 \pm 2 \cdot V \cdot u_1 + u_1^2)}{2g \cdot V \cdot \Delta t} = \frac{1}{g \Delta t} \left( u - u' - \frac{V}{2} \pm u_1 + \frac{u_1^2}{2 \cdot V} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Умножая обе части уравнения 5 на  $\Delta t$  и приняв  $u = V$ , получим:

$$k \cdot g \cdot \Delta t = V - u' - \frac{V}{2} \pm u_1 + \frac{u_1^2}{2 \cdot V}.$$

Дифференцируем обе части равенства (6) по  $t$ :

$$\begin{aligned}
k \cdot g &= \frac{\partial V}{\partial t} - \frac{\partial u'}{\partial t} - \frac{\partial V}{2\partial t} \pm \frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{2 \cdot V \cdot u_1 \cdot \frac{\partial u_1}{\partial t} - u_1^2 \cdot \frac{\partial V}{\partial t}}{2 \cdot V^2} = \\
&= \frac{\partial V}{2\partial t} - \frac{\partial u'}{\partial t} \pm \frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{u_1}{V} \cdot \frac{\partial u_1}{\partial t} - \frac{u_1^2}{2 \cdot V^2} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial V}{2\partial t} \left( 1 - \frac{u_1^2}{2 \cdot V^2} \right) + \frac{\partial u_1}{\partial t} \left( \frac{u_1}{V} \pm 1 \right) - \frac{\partial u'}{\partial t} = \\
&= \frac{1}{2} W \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{u_1}{V} \right)^2 \right] + W_1 \left( \frac{u_1}{V} \pm 1 \right) - \omega,
\end{aligned}$$

или

$$k = \frac{1}{g} \left\{ \frac{1}{2} W \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{u_1}{V} \right)^2 \right] + W_1 \left( \frac{u_1}{V} \pm 1 \right) - \omega \right\}. \quad (6)$$

Здесь  $W$  – ускорение вибрирующей пластинки;  $\omega$  – ускорение вибрирующей пластинки в поступательном движении;  $W_1$  – ускорение частиц почвы от вибрации пластинки.

Так как в поступательном движении  $\omega = 0$  (при равномерно-поступательном движении агрегата), то выражение (6) примет вид:

$$k = \frac{W}{2g} \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{u_1}{V} \right)^2 \right] + \frac{W_1}{g} \left( \frac{u_1}{V} \pm 1 \right). \quad (7)$$

Следовательно, коэффициент внутреннего трения почвы, находящейся в состоянии вибрации, является переменной величиной по времени и зависит от  $W$  – ускорения вибрирующего рабочего органа;  $W_1$  – ускорения почвы от воздействия вибрирующего органа; отношения скорости перемещения слоя почвы, вызванной вибрацией ( $u_1$ ), к скорости вибрирующего рабочего органа в поступательном движении ( $V$ ).

### Заключение

Из выражения (7) видно, что с увеличением поступательной скорости ( $V$ ) вибрирующего органа коэффициент внутреннего трения будет увеличиваться, следовательно, тяговое сопротивление будет уменьшаться.

05.06.2014

### Литература

1. Жегалов, В.С. Конструирование и расчет сельскохозяйственных машин / В.С. Жегалов. – М.: Госмашметиздат, 1934.
2. Левенсон, Л.Б. Статика и динамика машин / Л.Б. Левенсон. – М.: Госмашметгиз, 1934. – 306 с.
3. Диденко, Н.Ф. Машины для уборки овощей / Н.Ф. Диденко, В.А. Хвостов. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.