

УДК 630\*: 65.011.54

ОБОСНОВАНИЕ КОМПОНОВКИ ОТВАЛА  
КОМБИНИРОВАННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ЛЕСНОГО  
ДИСКОВОГО ПЛУГА

С. В. Зимарин, П. И. Попиков, Н. А. Сердюкова, Н.А. Хорольский  
(ВГЛТА)

В настоящее время на нераскорчеванных вырубках и гарях выполняют частичную обработку почвы в виде нарезки плужных борозд или создания микроповышений. Бороздную подготовку почвы выполняют лемешными и дисковыми плугами [1].

Лемешные плуги малоэффективны на нераскорчеванных вырубках. Они плохо преодолевают препятствия в виде пней, корней порубочных остатков, так как при встрече с ними испытывают большие ударные нагрузки, происходит закоривание, что приводит к выходу орудия из строя.

Дисковые плуги имеют высокую проходимость и надежность работы на лесных площадях, так как рабочим органом дискового плуга является свободно установленный сферический диск, который, вращаясь вокруг своей оси и способен преодолевать встречающиеся препятствия путем перекатывания через них. Но существенным недостатком является то, что подрезанный вращающимся сферическим диском почвенный пласт высоко поднимается по его рабочей поверхности, затем разрушается на отдельные куски и хаотически падает вниз. Так на сильно и средне-связанных почвах 15-25 % пластов заваливается в борозду, а около 10 % пластов оказывается недообернуто. Проведенные П.С. Нартовым исследования показали, что невращающийся (заторможенный) сферический диск обеспечивает лучшую сохранность почвенного пласта [2]. При этом сферические диски не обеспечивают требуемого качества оборота и сохранности пласта. Для полного оборота пласта на диски необходимо устанавливать отвалы полувинтового типа. При этом технически невозможно реализовать плотное прижатие отвала к поверхности вращающегося диска, что приводит к забиванию щели между отвалом и диском сорной растительностью, порубочными остатками, тем самым снижается качество обработки почвы.

Проведенные аналитические исследования позволили нам предложить новую конструкцию дискового корпуса плуга (патент № 2253206), позволяю-

щую обеспечить требуемое качество оборота и укладки пласта, а также высокую проходимость орудия на нераскарчеванных вырубках и гарях.

Данный дисковый корпус плуга (рис. 1) содержит стойку 1, в ступице которой на подшипниках 2 на оси 3 установлен сферический диск 4. К сферическому диску 4 жестко прикреплен, полувинтового крыла отвал 5. При этом сферический диск 4 заторможен посредством фиксирующего механизма.

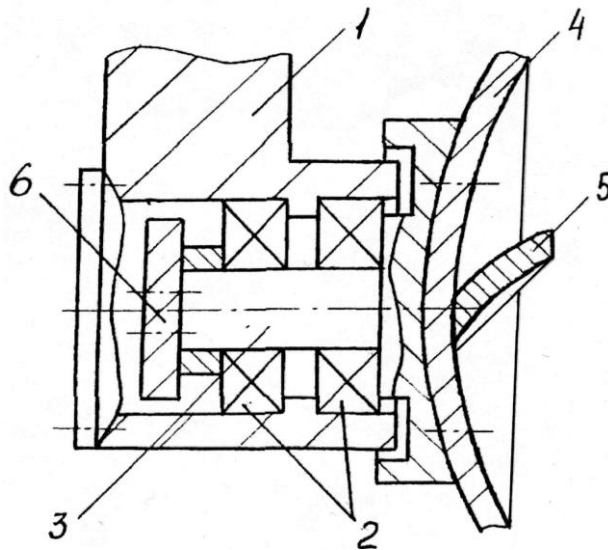


Рисунок 1 – Конструкция дискового корпуса

При работе дискового плуга подрезает почвенный пласт сначала плавно поднимается по поверхности заторможенного сферического диска 4, затем по поверхности отвала 5, полностью оборачивается и качественно укладывается рядом с бороздой в виде сплошной ленты. При встрече сферического диска 4 с препятствием, возникающий на оси 3 момент вращения преодолевает силу сопротивления фиксирующего механизма, сферический диск 4 начинает свободно вращаться вместе с осью 3 на подшипниках 2 в ступице стойки 1 и преодолевает встретившееся препятствие, путем перекатывания через него. Далее перекатившись, сферический диск 4 снова тормозится фиксирующим механизмом.

Так же для обеспечения качественной обработки почвы закрепленный на сферическом диске отвал должен иметь возможность регулировки своего положения по высоте при различных технологических режимах работы (глубина обработки, тип почвы и т.д.) дискового корпуса плуга. Для этого предлагается (рис. 2) закрепить отвал 1 на консольных стойках 2, которые установлены в

направляющей 3. Направляющая 3 жестко крепится на сферическом диске 4. Во время регулировки положения отвала по высоте консольные стойки 2 перемещают в пазах 5 с последующей фиксацией гайками 6 [3].

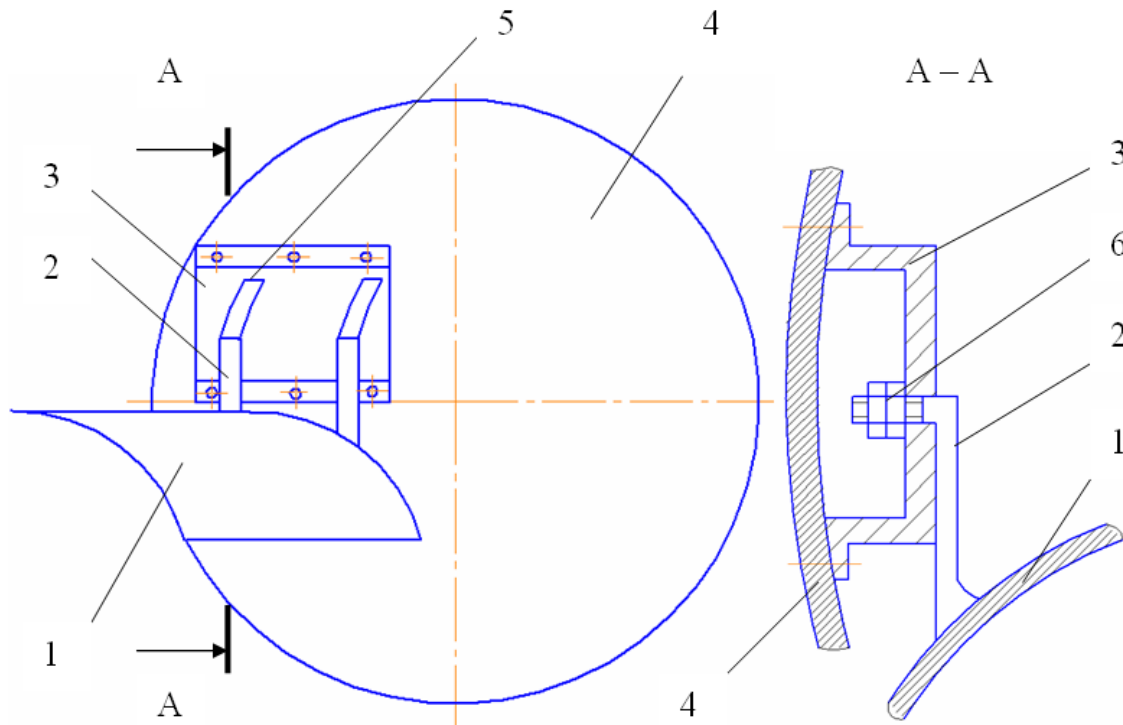


Рисунок 2 – Схема установки отвала

Математическую модель движения частиц почвы (шаров) по рабочей поверхности диска и отвала можно представить в виде системы уравнений [4]:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{ш}} \frac{d^2 x_i}{dt^2} &= \sum_{j=1}^{N_{\text{ш}}} (F_{xij}^V + F_{xij}^B) + \sum_{j=1}^{N_{\text{шп}}} F_{xij}^{B\text{YП}} ; \\
 m_{\text{ш}} \frac{d^2 y_i}{dt^2} &= \sum_{j=1}^{N_{\text{ш}}} (F_{yij}^V + F_{yij}^B) + \sum_{j=1}^{N_{\text{шп}}} F_{yij}^{B\text{YП}} ; \\
 m_{\text{ш}} \frac{d^2 z_i}{dt^2} &= \sum_{j=1}^{N_{\text{ш}}} (F_{zij}^V + F_{zij}^B) + \sum_{j=1}^{N_{\text{шп}}} F_{zij}^{B\text{YП}} - m_{\text{ш}} g ,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $m_{\text{ш}}$  – масса шара;  $N_{\text{шп}}$  – количество шаров в модели плуга;  $F_{xij}^V, F_{yij}^V, F_{zij}^V$  – декартовы составляющие силы  $F_{ij}^V$ ;  $F_{xij}^B, F_{yij}^B, F_{zij}^B$  – декартовы составляющие

силы  $F_{ij}^B$ ;  $F_{xij}^{BY\Pi}$ ,  $F_{yij}^{BY\Pi}$ ,  $F_{zij}^{BY\Pi}$  – декартовы составляющие силы  $F_{ij}^{BY\Pi}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения.

Вязкоупругие силы  $F^{BY\Pi}$  взаимодействия шаров почвы с шарами плуга задаются, с учетом их вязкоупругого характера следующим образом.

$$\begin{aligned} F_{xij}^{BY\Pi} &= c_{\Pi} \left( \frac{d_{\text{III}} + d_{\Pi}}{2} - r_{ij} \right) (x_i - x_j) / r_{ij} + k_{\Pi} \left( r_{ij} - \frac{d_{\text{III}} + d_{\Pi}}{2} \right) (v_{xi} - v_{xj}); \\ F_{yij}^{BY\Pi} &= c_{\Pi} \left( \frac{d_{\text{III}} + d_{\Pi}}{2} - r_{ij} \right) (y_i - y_j) / r_{ij} + k_{\Pi} \left( r_{ij} - \frac{d_{\text{III}} + d_{\Pi}}{2} \right) (v_{yi} - v_{yj}); \quad (2) \\ F_{zij}^{BY\Pi} &= c_{\Pi} \left( \frac{d_{\text{III}} + d_{\Pi}}{2} - r_{ij} \right) (z_i - z_j) / r_{ij} + k_{\Pi} \left( r_{ij} - \frac{d_{\text{III}} + d_{\Pi}}{2} \right) (v_{zi} - v_{zj}), \end{aligned}$$

где  $c_{\Pi}$  – жесткость упругого взаимодействия шаров плуга с шарами почвы;  $d_{\text{III}}$  – диаметр шаров почвы;  $d_{\Pi}$  – диаметр шаров, представляющих плуг;  $r_{ij}$  – расстояние между центрами шаров почвы и плуга;  $k_{\Pi}$  – коэффициент демпфирования при взаимодействии шаров плуга с шарами почвы;  $v_{xi}, v_{yi}, v_{zi}$  и  $v_{xj}, v_{yj}, v_{zj}$  – декартовы составляющие скоростей  $i$ -го и  $j$ -го шара.

При этом силы вычисляются только в случае  $r_{ij} < (d_{\text{III}} + d_{\Pi}) / 2$ , в противном случае шары считаются не взаимодействующими и силы  $F_{ij}^{BY\Pi} = 0$ .

Уравнения (1) вместе с начальными условиями  $x_i(t = 0)$ ,  $y_i(t = 0)$ ,  $z_i(t = 0)$ ,  $v_{xi}(t = 0)$ ,  $v_{yi}(t = 0)$ ,  $v_{zi}(t = 0)$  представляют собой задачу Коши для  $6N_{\text{III}}$  обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. Для решения задачи Коши обычно используют одношаговые численные методы, в частности, в данной работе используется модифицированный метод Эйлера. При этом координаты шара вычисляются следующим образом:

$$\begin{aligned} x_i^{k+1} &= x_i^k + v_{xi}^k \cdot \Delta t + \frac{a_{xi}^k \cdot (\Delta t)^2}{2}; \\ y_i^{k+1} &= y_i^k + v_{yi}^k \cdot \Delta t + \frac{a_{yi}^k \cdot (\Delta t)^2}{2}; \quad (3) \\ z_i^{k+1} &= z_i^k + v_{zi}^k \cdot \Delta t + \frac{a_{zi}^k \cdot (\Delta t)^2}{2}, \end{aligned}$$

где  $(x_i^k, y_i^k, z_i^k)$  – координаты центра шара  $i$  в момент времени  $t_k$ ;  $(x_i^{k+1}, y_i^{k+1}, z_i^{k+1})$  – координаты центра шара  $i$  в момент времени  $t_{k+1} = t_k + \Delta t$ ;  $v_{xi}^k, v_{yi}^k, v_{zi}^k$  – декар-

товы составляющие скорости шара  $i$  в момент времени  $t_k$ ;  $a_{xi}^k = \left( \frac{d^2 x_i}{dt^2} \right)_{t=t_k}$ ,

$a_{yi}^k = \left( \frac{d^2 y_i}{dt^2} \right)_{t=t_k}$ ,  $a_{zi}^k = \left( \frac{d^2 z_i}{dt^2} \right)_{t=t_k}$  – декартовы составляющие ускорения шара  $i$  в

момент времени  $t_k$ , рассчитываемые из (3);  $\Delta t$  – шаг интегрирования (элементарный отрезок времени).

Основными параметрами, задающими положение отвала в виде участка плоскости, являются поперечный  $\alpha_0$  и продольный  $\beta_0$  углы установки плоскости и положение  $h_0$  точки В стыковки отвала и сферического диска (рис. 3) [4].

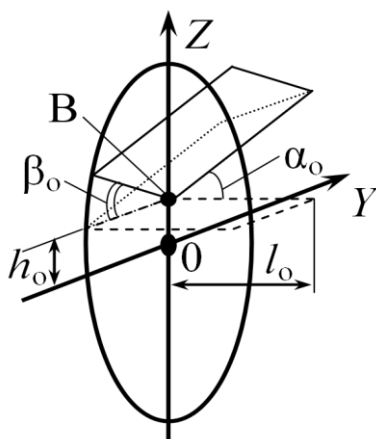


Рисунок 3 – Параметры, задающие положение отвала комбинированного рабочего органа

На рисунке 4 представлена зависимость  $r(h_0)$ , у которой максимум наблюдается при значении  $h_0$  вблизи – 0,20 м. При высоком расположении отвала вырезаемый диском пласт, поднимаясь по диску, срывается с него, не доходя до отвала, поэтому, при больших  $h_0$  оборачиваемость пласта невысока. При низком расположении отвал прижимает пласт, не дает ему подниматься по диску, поэтому оборачиваемость  $r$  при малых  $h_0$  также падает.

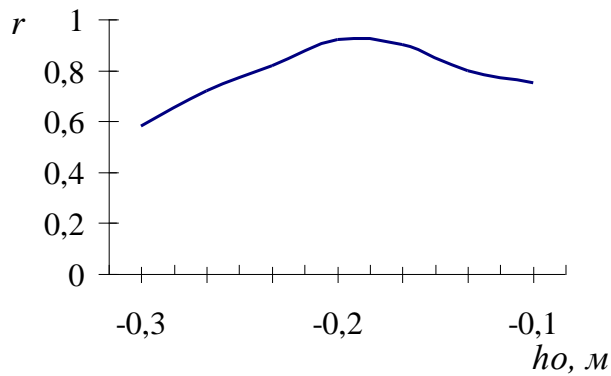


Рисунок 4 – Зависимости коэффициента оборачиваемости пласта от вертикального положения отвала

Таким образом, оптимальная высота положения отвала, обеспечивающая высокую оборачиваемость пласта и низкие затраты энергии составляет около  $h_0 = -0,20$  м.

При проведении компьютерных экспериментов угол наклона отвала  $\alpha_0$  от  $20^\circ$  до  $70^\circ$  изменяли с шагом  $10^\circ$  (рис.5).

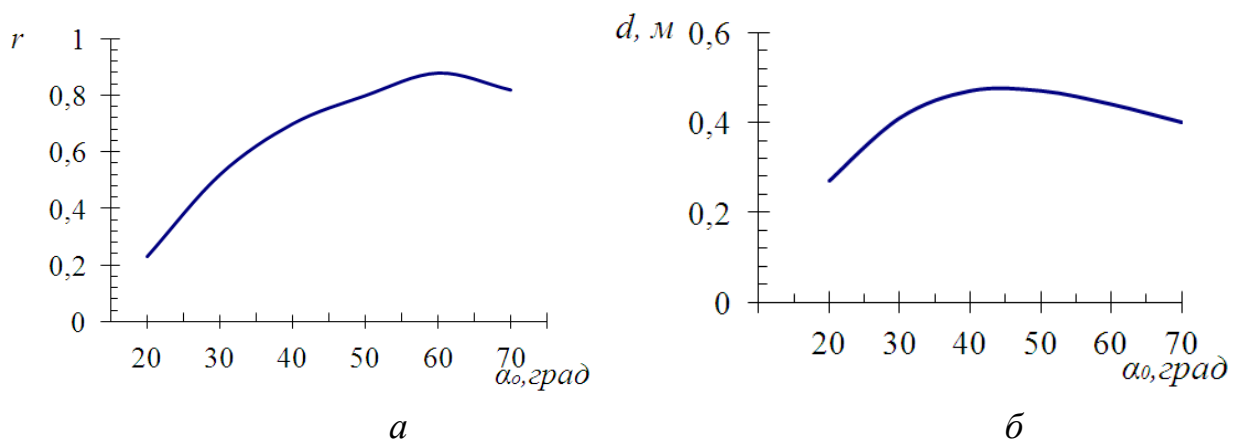


Рисунок 5 – Зависимости коэффициента оборачиваемости пласта (а), поперечного смещения пласта (б) от угла наклона отвала

В целом ход зависимостей  $r(\alpha_0)$  аналогичен предыдущему случаю, так как изменение угла наклона отвала при фиксированной точке В стыковки его с диском равносильно изменению расстояния от отвала до уровня почвы. При  $\alpha_0 = 60^\circ$  наблюдается максимальное значение коэффициента оборачиваемости  $r$ . Зависимость поперечного смещения пласта  $d(\alpha_0)$  имеет максимум при  $\alpha_0 = 40^\circ$ .

При увеличении поперечного угла отвала от  $40^\circ$  его плоскость удаляется от почвы, и он оказывает меньшее влияние на смещение пласта. При уменьшении  $\alpha_0$  от  $40^\circ$ , отвал сильнее входит в почву, разрушает и перемешивает образовавшийся пласт, при этом эффективность смещения пласта снижается (рис.5 б).

При малых углах  $\alpha_0$  достигаются практически нулевые значения коэффициента  $r$  (рис.5 а), пласт в этом случае смещается, не переворачиваясь.

При проведении компьютерных экспериментов изменяли угол  $\beta_0$  от  $-30^\circ$  до  $-10^\circ$  с шагом  $5^\circ$  (рис.6).

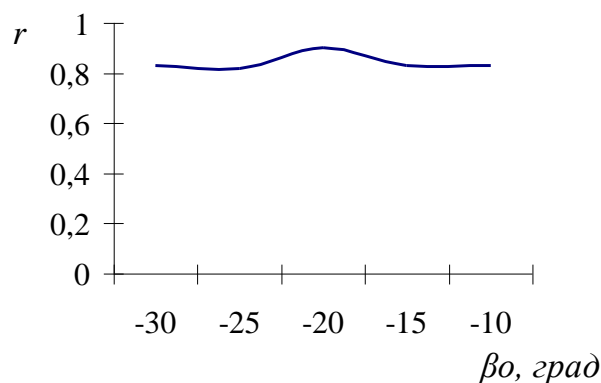


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента оборачиваемости пласта от продольного угла установки отвала

Как видно из графика коэффициент оборачиваемости  $r$  практически не зависит от угла  $\beta_0$ . Почвенная масса поступает на отвал снизу, поднимаясь по сферическому диску, поэтому основной эффект переворота зависит от установки отвала под некоторым поперечным углом  $\alpha_0$ , а не  $\beta_0$ .

Таким образом, на качественные показатели наибольшее влияние оказывают параметры  $h_0$  и  $\alpha_0$ .

Экспериментальные исследования комбинированного дискового рабочего органа в почвенном канале кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин подтвердили теоретические исследования.

#### Библиографический список

- 1 Албяков, М. П. Механизация работ по возобновлению леса / М. П. Албяков. – М. : Лесн. пром-сть, 1966. – 222 с.
- 2 Нартов, П. С. Дисковые почвообрабатывающие орудия – Воронеж :

Изд-во ВГУ, 1972.– 181 с.

3 Зимарин, С. В. Новый корпус плуга для обработки почвы на вырубках / С. В. Зимарин, Н. А. Сердюкова // Лесотехнический журнал. – 2012. – №3 – С. 90-94.

4 Коротких, В. Н. Влияние принудительного вращения комбинированного рабочего органа на энергетические и качественные показатели / В. Н. Коротких, П. И. Попиков, П. И. Титов // Вестник КрасГАУ. – 2010. – №2. – С. 102-106.