

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЛИНИИ ТЯГИ ПЛУГА В ПРОДОЛЬНО-ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Бойков В.П., д.т.н., профессор, Захарова И.О., аспирантка  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь

Определены координаты центра сопротивления плуга в продольно-вертикальной плоскости. Предложены уравнения линий действия результирующей тягового сопротивления и усилия на опорном колесе плуга.

Конструкция современных плугов, способ их агрегатирования с трактором позволяют плугу поворачиваться в горизонтальной плоскости вокруг некоторой точки. У навесных плугов - это точка соединения нижних тяг механизма навески на тракторе, у полунавесных - вертикальный шарнир в механизме присоединения плуга к трактору. Через эту точку и должна проходить линия тяги в горизонтальной плоскости.

П.Н. Бурченко [1] доказал, что в продольно-вертикальной плоскости линия тяги плуга должна проходить через мгновенный центр вращения (М.Ц.В.) звеньев механизма навески навесных и полунавесных плугов (при отсутствии у последних горизонтального шарнира в механизме присоединения плуга к трактору).

Таким образом, линия тяги плуга - это прямая, соединяющая точку приложения равнодействующей сил сопротивления в каждой из плоскостей проекций с точкой прицепа (шарнира, М.Ц.В. и т.д.) и проходящая через С.Ц.Т. плуга или близко от него.

У плугов с регулируемой шириной захвата необходимая ширина захвата устанавливается путем изменения взаимного расположения основного и продольного брусьев в горизонтальной плоскости. При этом, в свою очередь, изменяется и направление линии тяги плуга. Наличие шарнира в механизме присоединения плуга к трактору дает одну точку, через которую проходит линия тяги. Вторую - центр сопротивления плуга в каждой из плоскостей проекции - необходимо определить.

Определению координат Ц.С. плуга в горизонтальной плоскости ( $XOY$ ) посвящена работа Кима Л.Х. [2]. Установлено, что координаты Ц.С. плуга зависят от состояния обрабатываемого слоя почвы, расстановки опорных колес плуга, но практически не зависят от направления линии тяги плуга и его удельной металлоемкости (на один плужный корпус плуга).

Определим координаты центра сопротивления плуга в продольно-вертикальной плоскости ( $XOZ$ ). Аналогично, как и в плоскости  $XOY$ , уравнение для результирующего усилия  $R_{xz}$  сопротивления плуга в плоскости  $XOZ$  (рисунок), имеет вид:

$$z = kx + b, \quad (1)$$

где  $z$  и  $x$  - текущие координаты совпадающие с носком среднего корпуса плуга.

Из рисунка 1 следует:

$$\begin{aligned} k &= -tg\gamma; \\ b &= l_2 / \cos\gamma, \end{aligned} \quad (2)$$

тогда уравнение линии действия  $R_{xz}$ , после преобразования, получим

$$z = \frac{l_2 - \sin\gamma \cdot x}{\cos\gamma}. \quad (3)$$

Уравнение линии действия  $G_f$  (веса плуга):  $x = -x_f$ .

Решаем систему

$$\begin{cases} z = \frac{l_2 - \sin\gamma \cdot x}{\cos\gamma}, \\ x = -x_f, \end{cases}$$

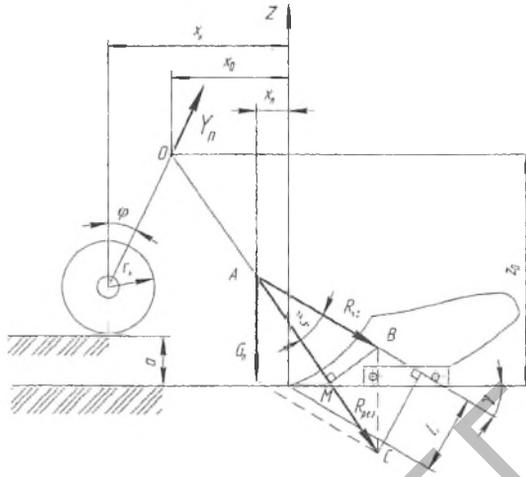


Рисунок — Схема для определения координаты центра сопротивления плуга в продольно-вертикальной плоскости

Определим координаты точки А ( $x', z'$ ), точки пересечения линии действия усилий  $R_{12}$ ,  $G_1$  и точки приложения результирующей  $R_{12k}$

$$z' = \frac{l_e + \sin \gamma \cdot x_r}{\cos \gamma}$$

$$x' = -x_r$$

Уравнение результирующей  $R_{12k}$  имеет вид:

$$z - z' = k'(x - x')$$

где  $k' = -tg(\xi + \gamma)$ .

Тогда

$$z - \frac{l_e + \sin \gamma \cdot x_r}{\cos \gamma} = -tg(\xi + \gamma) \cdot (x + x_r) \text{ или}$$

$$z - \frac{l_e + \sin \gamma \cdot x_r}{\cos \gamma} = \frac{tg \xi + tg \gamma}{1 - tg \xi \cdot tg \gamma} \cdot (x + x_r). \quad (4)$$

Уравнение линии действия усилия  $Y_T$  - нагрузки на колеса плуга, имеет вид:

$$z = kx + b$$

где  $k = tg(90 - \varphi) = ctg \varphi$ ,  $\varphi$  - угол трения;

$$b = [(a + r_e) \cdot tg \varphi + x_e] \cdot ctg \varphi = a + r_e + x_e \cdot ctg \varphi;$$

где  $a$  - глубина вспашки;  $r_e$  - радиус колеса.

Тогда уравнение действия усилия  $Y_T$ :

$$z = (x + x_e) \cdot ctg \varphi + a + r_e.$$

Заменив  $tg \varphi = \mu$  ( $\mu$  - коэффициент перекатывания колеса) и выполнив преобразования, получим:

$$z = \frac{1}{\mu} \cdot (x + x_e) + a + r_e \text{ или } x = -x_e + \mu(z - a - r_e). \quad (5)$$

Уравнение (5) есть уравнение линии действия усилия  $Y_T$ .

Из рисунка видно:  $R_{\text{дк}} = AM + MC$ ;

$$\begin{aligned} AM &= R_{\text{сх}} \cdot \cos \xi, \quad MC = G_i \cdot \sin(\gamma + \xi); \\ R_{\text{дк}} &= R_{\text{сх}} \cdot \cos \xi + G_i \cdot \sin(\gamma + \xi). \end{aligned} \quad (6)$$

Используя разный подход к определению площади треугольника, запишем равенство:

$$\frac{1}{2} R_{\text{сх}} \cdot G_i \cdot \cos \gamma = \frac{1}{2} R_{\text{дк}} \cdot R_{\text{сх}} \cdot \sin \xi \quad \text{или} \quad G_i \cdot \cos \gamma = R_{\text{дк}} \cdot \sin \xi. \quad (7)$$

Подставив (6) в (7), после преобразования получим:

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{G_i \cdot \cos \gamma}{R_{\text{сх}} + G_i \cdot \sin \gamma}. \quad (8)$$

Подставив значение  $\operatorname{tg} \xi$  в уравнение (4), получим:

$$\begin{aligned} z - \frac{l_{\varepsilon} + x_i \cdot \sin \gamma}{\cos \gamma} &= -\frac{G_i \cdot \cos \gamma}{R_{\text{сх}} + G_i \cdot \sin \gamma} + \operatorname{tg} \gamma \left[ 1 - \frac{G_i \cdot \cos \gamma \cdot \operatorname{tg} \gamma}{R_{\text{сх}} \cdot G_i \cdot \sin \gamma} \cdot (x + x_i) \right] \text{ или, после выполнения} \\ &\text{преобразований, уравнение } R_{\text{дк}} \text{ примет вид:} \\ z &= \frac{l_{\varepsilon} + R_{\text{сх}} - x \cdot (G_i + R_{\text{сх}} \cdot \sin \gamma) - G_i \cdot x_i}{R_{\text{сх}} \cdot \cos \gamma}. \end{aligned} \quad (9)$$

Решив совместно уравнение (5) и (9), получим:

$$\begin{cases} x = x_{\varepsilon} + \mu \cdot (z - a - r_{\varepsilon}), \\ z = \frac{l_{\varepsilon} + R_{\text{сх}} - x \cdot (G_i + R_{\text{сх}} \cdot \sin \gamma) - G_i \cdot x_i}{R_{\text{сх}} \cdot \cos \gamma}. \end{cases}$$

Значение координаты точки  $O$  пересечения усилий  $R_{\text{дк}}$  и  $Y$  - точки приложения результирующей силы, действующей на плуг относительно плоскости  $XOZ$ :

$$z_o = \frac{l_{\varepsilon} \cdot R_{\text{сх}} \cdot G_i \cdot \mu \cdot (a + r_{\varepsilon}) + R_{\text{сх}} \cdot \sin \gamma \cdot (x_{\varepsilon} + \mu \cdot a + \mu \cdot r_{\varepsilon}) + G_i \cdot (x_{\varepsilon} - x_i)}{R_{\text{сх}} \cdot \cos \gamma + \mu \cdot G_i + R_{\text{сх}} \cdot \sin \gamma \cdot \mu}. \quad (10)$$

Координаты центра тяжести плуга находятся по формуле:

$$x_i = \frac{n \cdot G_{i\text{к}} \cdot x_{i\text{к}}^{\text{с}} + G_{i\text{р}} \cdot x_{i\text{р}}^{\text{с}}}{G_i},$$

где  $n$  - число корпусов плуга;  $G_{i\text{к}}$  - масса корпуса;  $G_i$  - масса плуга;  $G_{i\text{р}}$  - масса рамы;  $x_{i\text{к}}^{\text{с}}$  - координата Ц.Т. корпуса;  $x_{i\text{р}}^{\text{с}}$  - координата Ц.Т. рамы.

Поставим значение  $x_i$  в (10), тогда при числе корпусов плуга  $n$  получим вертикальную координату центра сопротивления плуга в плоскости  $XOZ$

$$z_o = \frac{l_{\varepsilon} \cdot R_{\text{сх}} \cdot \frac{G_i}{n} \cdot \mu \cdot (a + r_{\varepsilon}) + R_{\text{сх}} \cdot \sin \gamma \cdot (x_{\varepsilon} + \mu \cdot a + \mu \cdot r_{\varepsilon}) + \frac{G_i}{n} \cdot x_i}{R_{\text{сх}} \cdot \cos \gamma + \mu \cdot \left( \frac{G_i}{n} + R_{\text{сх}} \cdot \sin \gamma \right)}. \quad (11)$$

Анализируя зависимость (11) можно предположить, что координата  $z_o$  зависит от величины и направления результирующей тягового сопротивления корпусов плуга в плоскости  $XOZ$  то есть при прочих равных условиях - от состояния почвы, удельной (на один плужный корпус) металлоемкости плуга, от расположения опорных колес и величины усилия на них от глубины вспашки.

## Литература

1. Бурченко П.Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения/ П.Н. Бурченко. - Монография. Москва: ВИМ, 2002. - 212с.
2. Ким Л. Х. Исследование схем навесных пахотных агрегатов/ Л.Х. Ким// Сб. науч. тр./ ВИС-ХОМ. Москва, 1975. Вып. 85. С.70 - 97.