

ТЯГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ РЫХЛИТЕЛЯ С ТУКОПРОВОДОМ-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕМ

Батиров З.Л.¹, Тоиров И.Ж.², Амиркулова Ш.Б.³

¹Батиров Зафар Лутфуллаевич – доктор технических наук, доцент;

²Тоиров Илхом Жураевич – кандидат технических наук, доцент,
кафедра механизации сельского хозяйства и сервиса;

³Амиркулова Шукрона Бехбуд кизи – студент,
специальность: технология и техническое обслуживание;
Каршинский инженерно-экономический институт,
г. Карши, Республика Узбекистан

Аннотация: приведена методика расчета тягового сопротивления рыхлителя-удобрителя, снабженного тукопроводами-распределителями для трехъярусного внесения удобрений. Определены составляющие баланса тягового сопротивления, установлена зависимость от глубины посева.

Ключевые слова: тяговое сопротивление, рыхлитель-удобритель, тукопровод-распределитель, гребнеделатель.

Передовые фермерские хозяйства республики уже давно доказали о возможности получения высоких и устойчивых урожаев хлопчатника при систематическом и правильном применении минеральных и органических удобрений на фоне высокой агротехники.

В предложенной технологии вначале рыхлителями, снабженными тукопроводами-распределителями, проводят рыхление почвы по линии посева на глубину до 35 см и одновременно ленточно вносятся удобрения в три яруса: на глубину 16-18 см, 28-30 см и 40-45 см. Затем по линии внесения удобрений формируются гребни.

Предлагаемая нами технология предусматривает поярусное внесение минеральных удобрений под семена хлопчатника, т.е. 100% их размещение в зоне распространения корневой системы растения с одновременным формированием гребней.

Для обеспечения этой технологии нами разработан экспериментальный рыхлитель-удобритель снабженный тукопроводами-распределителями для трехъярусного внесения удобрений с междурядьем 90 см [1].

Известно, что тукопровод рыхлителя-удобрителя должен отвечать следующим основным требованиям: иметь удобную компоновку за рыхлительным рабочим органом рыхлителя, обеспечить качественное распределение минеральных удобрений на заданных глубинах [3].

Тяговое сопротивление рыхлителя зависит от параметров его элементов и физико-механических свойств почвы. Тяговое сопротивление рыхлителя складывается из сопротивлений долота, лемехов и стойки с тукопроводом.

$$P = P_d + 2P_l + P_{cm}, \quad (1)$$

где P_d , P_l и P_{cm} – соответственно тяговые сопротивления долота, лемеха и стойки с тукопроводом.

Сопротивление долота можно определить из следующему выражению [5]

$$R_{dx} = \sigma_0 \delta b_d + \frac{q b_d t_d^2 \sin(\alpha_d + \beta_\phi) \sin(\alpha_d + \beta_\phi + \varphi)}{2 \sin^2 \beta_\phi \cos \varphi} + \tau \frac{a}{\sin \psi} \times \\ \times (b_d + K \frac{actg \psi_1}{\sin \psi}) [\cos \psi + f \sin(\alpha_d + \psi) \cos \alpha_d] + \\ + \gamma a [b_d V^2 \sin \alpha_d \operatorname{tg}(\alpha_d + \varphi) + g l_d (b_d + actg \psi_1) (\frac{1}{2} \sin \alpha_d + \\ + f \cos^2 \alpha_d)] (1 + \frac{W}{100}); \quad (2)$$

где σ_0 – временное сопротивление почвы смятию лезвием долота, Па; δ – толщина лезвия, м; b_d – ширина долота, м; β_ϕ – угол заточки долота, град; α_d – угол установки долота к горизонту, град; ψ – угол продольного скалывания почвы, град; f – коэффициент трения почвы о металл; γ – плотность почвы, кг/м³; W – влажность почвы, %; τ – коэффициент чистого сдвига; K – коэффициент, учитывающий обрушение вершины сдвигаемого пласта, $K=0,5$; V – скорость движения рыхлителя, м/с.

Сопротивление лемеха складывается из следующих составляющих

$$P_l = P_c + P_n + P_v, \quad (3)$$

где P_c - сопротивление, обусловленное деформацией почвы; P_n - сопротивление, обусловленное массой пласта почвы; P_v - сопротивление, обусловленное силой инерции пласта почвы.

Усилия, затрачиваемые на деформацию почвы лемехом определим путем проектирования сил S и T на ось X , где S – сила сдвига почвы; T – сила трения, возникающая от силы S [6].

$$\sum X = P_c - S_x - T_x = 0, \quad (4)$$

$$P_c = \frac{K_1 F_c}{2} \left[\cos \varphi_1 \sin \gamma + f \sin(\alpha + \varphi_1)(\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cos \alpha) \right], \quad (5)$$

где F_c - площадь скалывания почвы, м².

$$F_c = (b_n + actg\psi_1)actg\psi_1, \quad (6)$$

Усилие P_n от веса пласта определим используя уравнение, выведенное Г.Н.Синеоковым [5]

$$P_n = mg \frac{\sin \alpha + f(\cos \alpha ctg \alpha + \sin \alpha \cos \alpha)}{\cos \alpha - f \sin \gamma \sin \alpha}, \quad (7)$$

где m - масса почвы, находящейся на лемехе, кг

$$m = 0,5F_1 \gamma l,$$

где l - длина рабочей поверхности лемеха, см; F_1 - площадь поперечного сечения обработанной части пласта, м².

$$F_1 = b_n a + \frac{a^2 ctg^2 \psi}{2}, \quad (8)$$

где φ - угол внешнего трения почвы, град.

С учётом выражений определяющих m формула (7) примет следующий вид

$$P_n = \frac{1}{2} F_1 \gamma g l \frac{\sin \alpha + f(\cos \gamma ctg \gamma + \sin \gamma \cos \alpha)}{\cos \alpha - f \sin \gamma \sin \alpha}. \quad (9)$$

Сопротивление почвы, связанное с изменением скорости движения пласта по рабочей поверхности лемеха определим аналогично уравнению Г.Н.Синеокова [5]

$$P_v = \frac{1}{2} F_1 \gamma V^2 \frac{\sin^2 \gamma [\sin \alpha + f \sin \gamma (ctg^2 \gamma + \cos \alpha)]}{ctg \alpha - \sin \gamma}, \quad (10)$$

где α – угол крошения лемеха, град; γ – угол раствора лапы, град; f – коэффициент трения почвы о рабочую поверхность лемеха; V – скорость перемещения лемеха, м/с; γ – плотность пахотного слоя почвы, кг/м³.

Подставляя в формулу (3) найденные значения, находим тяговое сопротивление лемеха

$$P_n = \frac{K_1 F_c}{2} \left[\cos \varphi_1 \sin \gamma + f \sin(\alpha + \varphi_1)(\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cos \alpha) \right] + \frac{F_1 \gamma}{2} \left\{ g l \frac{\sin \alpha + f(\cos \gamma ctg \gamma + \sin \gamma \cos \alpha)}{\cos \alpha - f \sin \gamma \sin \alpha} + V^2 \frac{\sin^2 \gamma [\sin \alpha + f \sin \gamma (ctg^2 \gamma + \cos \alpha)]}{\cos \alpha - f \sin \gamma} \right\}. \quad (11)$$

Анализ уравнения (11) показывает, что с увеличением площади рыхления почвы тяговое сопротивление лемеха увеличивается, оно зависит также от параметров лемеха (ширины захвата b_n , углов раствора и крошения, глубины хода a , скорости движения V), а также от физико-механических свойств почвы.

Для упрощения формулы (11) введем следующие:

$$E_1 = \left[\cos \varphi_1 \sin \gamma + f \sin(\alpha + \varphi_1)(\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cos \alpha) \right], \quad (12)$$

$$E_2 = \frac{\sin \alpha + f(\cos \gamma ctg \gamma + \sin \gamma \cos \alpha)}{\cos \alpha - f \sin \gamma \sin \alpha}, \quad (13)$$

$$E_3 = \frac{\sin^2 \gamma [\sin \alpha + f \sin \gamma (ctg^2 \gamma + \cos \alpha)]}{ctg \alpha - f \sin \gamma}. \quad (14)$$

Окончательно получим

$$P_n = \frac{1}{2} K_1 F_c E_1 + \frac{F_1 \gamma}{2} (g l E_2 + V^2 E_3). \quad (15)$$

Подставляя в формулу (15) значения $K_c=3270$ Па, $a=0,35$ м, $\alpha=20^\circ$, $f=0,5$ [6] построим график изменения тягового сопротивления почвы от ширины лемеха.

При уменьшении ширины лемеха от 50 см до 30 см, тяговое сопротивление лемеха уменьшается на 2,3 кН или на 24,8 %. Это позволяет агрегатировать рыхлитель-удобритель с трактором класса 4.

Для определения тягового сопротивления стойки с тукопроводом рассмотрим взаимодействие почвы со стойкой и тукопроводом в сечении горизонтальной плоскостью (рис. 1).

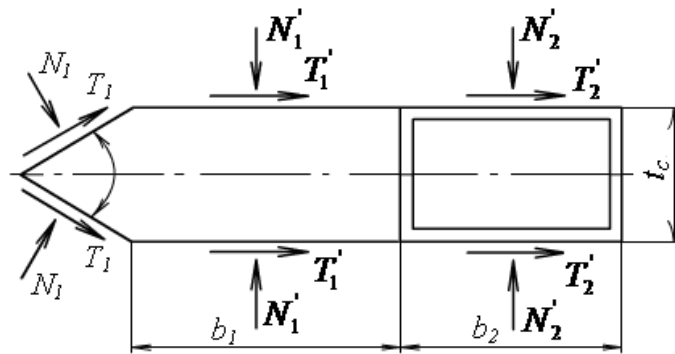


Рис. 1. Схема сил, действующих на стойку и на тукопровод

На лобовой и боковых поверхностях стойки и тукопровода при движении возникает нормальная сила N_i , вызывающая силу трения T_i . Проектируя все силы на ось X , определяем тяговое сопротивление стойки с тукопроводом, возникающее от перемещения почвы.

Для определения нормального давления N_i на лобовую поверхность стойки воспользуемся формулой, предложенной В.Н. Левенцом [6]. На заостренную грань стойки действуют динамические и статические силы, которые определяются по следующим формулам

$$N_{1g} = \rho l_{cm} h V_1^2 \sin^2 \beta_1, \quad (18)$$

$$N_{1cm} = \rho g \frac{l_{cm} h^2}{2 \operatorname{tg} \gamma_1} \cos \gamma_1 \quad (19)$$

$$\text{или } N_1 = \rho l_{cm} h V^2 \sin^2 \beta_1 + \rho g \frac{l_{cm} h^2}{2 \operatorname{tg} \gamma_1} \cos^2 \gamma_1 (\operatorname{tg} \gamma_1 + \operatorname{tg} \varphi_1), \quad (20)$$

где ρ – плотность почвы, кг/м³; l_{cm} – длина заостренной части стойки, м; γ_1 – угол естественного откоса почвы, град; φ_1 – угол внутреннего трения почвы, град.

На плоскую грань стойки с тукопроводом действует статическая сила, которая определяется по формуле

$$N_1^1 + N_2^1 = \rho g \frac{(b_1 + b_2) h^2}{2 \operatorname{tg} \gamma_1} \cos^2 \gamma_1 (\operatorname{tg} \gamma_1 + \operatorname{tg} \varphi_1). \quad (21)$$

С учетом значений сил N_1 , N_1^1 и N_2^1 окончательно получим

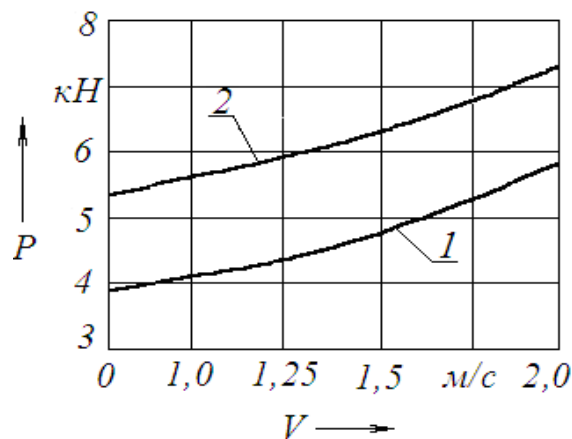
$$P_{cm} = \frac{2}{\cos \varphi} (\rho l_{cm} h V^2 \sin^2 \beta_1 \sin(\beta_1 + \varphi) + \rho g \frac{l_{cm} h^2}{2 \operatorname{tg} \gamma_1} \cos \gamma_1 (\operatorname{tg} \gamma_1 + \operatorname{tg} \varphi_1) \sin(\beta_1 + \varphi) + \rho g \frac{(b_1 + b_2) h^2}{2 \operatorname{tg} \gamma_1} \cos^2 \gamma_1 (\operatorname{tg} \gamma_1 + \operatorname{tg} \varphi_1) \sin \varphi). \quad (22)$$

Общее тяговое сопротивление рыхлителя с тукопроводом-распределителем будет равно

$$\begin{aligned}
P = P_d + 2P_a + P_{ct} = \sigma_o \delta b_o + \frac{qb_o t_o^2 \sin(\alpha_o + \beta_\phi) \sin(\alpha_o + \beta_\phi + \varphi)}{2 \sin^2 \beta_\phi \cos \varphi} + \tau \frac{a}{\sin \psi} \times \\
\times (b_o + K \frac{actg \psi_1}{\sin \psi}) [\cos \psi + f \sin(\alpha_o + \psi) \cos \alpha_o] + \\
+ \gamma a [b_o V^2 \sin \alpha_o tg(\alpha_o + \varphi) + gl_o (b_o + actg \psi_1) (\frac{1}{2} \sin \alpha_o + \\
+ f \cos^2 \alpha_o)] (1 + \frac{W}{100}) + K_c F_c E_1 + (F_1^1 \gamma_1 + F_1 \gamma_2) (gl_1 E_2 + V^2 E_3) + \\
+ \frac{2 \rho h K_3}{\cos \varphi} \left(l_{cm} V^2 \sin^2 \beta_1 \sin(\beta_1 + \varphi) + \frac{gh}{2tg \gamma_1} \cos^2 \gamma_1 (tg \gamma_1 + tg \varphi_1) (l_c \sin(\beta_1 + \varphi) + 2(b_1 + b_2) \sin \varphi) \right),
\end{aligned} \tag{23}$$

где F_c – площадь скалывания почвы, м²; K_c – удельное сопротивление почвы подпахотного слоя сдвигу.

Расчеты по формуле (21), (22), (23) показали, что тяговое сопротивление тукопровода составляет 12-12,5% от тягового сопротивления стойки и 4-5 % от общего тягового сопротивления рабочего органа рыхлителя.



1 – $\varphi=28^\circ$, $\varphi_1=28^\circ$; 2 – $\varphi=29^\circ$, $\varphi_1=40^\circ$

Рис. 2. Тяговое сопротивление рабочего органа рыхлителя с тукопроводом-распределителем в зависимости от скорости движения

Графическая интерпретация математической модели (23) на ЭВМ (рис.2) показывает, что при увеличении скорости движения рабочего органа рыхлителя с тукопроводом-распределителем, тяговое сопротивление увеличивается по криволинейной зависимости. Так при $V = 1,0$ м/с, $\varphi_1 = 28^\circ$ тяговое сопротивление составило 4,11 кН, а при $V=2,0$ м/с, $\varphi_1 = 28^\circ$ $P=5,86$ кН.

Тяговое сопротивление увеличивается также с увеличением коэффициента внутреннего трения почвы φ_1 . Так, например, при $V=1,0$ м/с, $\varphi_1 = 28^\circ$ $P=4,11$ кН, а при $V=1,0$ м/с, $\varphi_1 = 40^\circ$ и $P=5,61$ кН. Эти зависимости можно использовать для определения тягового сопротивления при различных параметрах рабочего органа рыхлителя, физико-механических свойствах почвы и скорости движения.

Заключение

Тяговое сопротивление рабочего органа рыхлителя с тукопроводом-распределителем зависит от физико-механических свойств почвы, толщины лезвия и длины лезвия долота, длины рабочей поверхности лемеха, угла крошения и раствора лемеха, ширины захвата рабочего органа и скорости движения.

Список литературы

1. Батиров З.Л., Шахобов С.Ш. Машины для внесения удобрений под посевные рядки хлопчатника. Карши: Насаф, 2008. 98 с.
2. Батиров З.Л. Обоснование длины патрубков верхнего и среднего ярусов тукового сошника для послыйного внесения минеральных удобрений // Проблемы науки. № 11 (59), 2020. С. 15-19.
3. Батиров З.Л., Маматов Ф.М., Мирзаев Б.С, Халилов М.С. Тяговое сопротивление глубокорыхлителя с тукопроводом-распределителем для трехслойного внесения удобрений // “Молодой ученый”. Россия,

2013. № 11 (58). С. 252-255. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/58/8000/> (дата обращения: 19.05.2021).
4. *Маматов Ф.М., Батилов З.Л., Халилов М.С., Холияров Е.Б.* Трехъярусное внесение удобрений тукопроводом-распределителем глубокорыхлителя // Сельскохозяйственные машины и технологии, 2019. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-48-53/>
 5. *Batirov Z., Toirov I., Boymuratov F., Sharipov Sh.* Layered application of mineral fertilizers with the coulter ripper of a combined unit // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1030 (2021). doi: 10.1088/1757-899X/1030/1/012168.
 6. *Синеоков Г.Н., Панов И.М.* Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 328 с.
 7. *Левенец В.Н.* К аналитическому определению силы давления почвы на сошник / Труды Кишиневского сельхозинститута им. М.В. Фрунзе // Т. 33. Вып. 1, Кишинев: "Карта Молдовеняске", 1964. С.134-140.
 8. *Mamatov F.M., Batirov Z.L., Khalilov M.S.* Chisel-cultivator fertilizer for forming ridges and applying fertilizers. European Sciences review scientific journal, 2018. № 3-4. P. 267-270.
 9. *Batirov Z., Toirov I., Boymuratov F., Sharipov Sh.* Layered application of mineral fertilizers with the coulter ripper of a combined unit // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1030 (2021). doi: 10.1088/1757-899X/1030/1/012168.
 10. *Mamatov F.M., Toshtemirov S.J., Xoliyarov Y.B., Batirov Z.L.* Energy-resource-saving technology and a machine for preparing soil for planting cotton on the ridges // European science review scientific journal, 2019. № 11-12. P. 261-263.
 11. *Mamatov F.M., Batirov Z.L., Khalilov M.S., Kholiyarov J.B.* Three-Tiered Fertilizer Application with a Spreading Funnel of a Subsoil Tiller. Agricultural Machinery and Technologies, 2019; 13(4):48-53 (In Russ.) doi: 10.22314/2073-7599-2019-13-4-48-53.
 12. *Mamatov F.M., Djuma Djuraev, Toirov I., Khalilov M.S., Rakhimov Kholmakh.* Parameters of a centrifugal sprayer for chemical processing // Journal of critical reviews, 2020. № 7. P. 2966-2970.
 13. *Джурев Д., Давлетишин М.М., Маматов Ф., Тоиров И., Халилов М., Уришев А.* Optimization of the plant irrigation process in protected soil construction // "Вестник" Башкирского государственного аграрного университета, 2019. № 4. С. 111-116.