

V. МЕХАНИЗАЦИЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ

УДК 630*332

А.М. Комиссаров, канд.техн.наук (БТИ),
А.В. Вавилов, канд.техн.наук
(ЦНИИМЭСХ)

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ И КУСТАРНИКОВО-БОЛОТНЫХ ПЛУГОВ

Тяговое сопротивление лесных и кустарниково-болотных плугов зависит от вида и состояния обрабатываемых площадей: типа почвы, ее физико-механического состояния, наличия поросли и корневых систем на глубине пахотного горизонта, а также от параметров отвально-лемешной поверхности плугов и режимов работы агрегата.

При вспашке участков, свободных от древесных включений, тяговое сопротивление плуга складывается из сил резания почвы, крошения пласта, сопротивления от трения-качения, сил на отбрасывание почвы отвалом и может быть определено по известной формуле В.П. Горячкина.

$$P = fG + kab + \epsilon abv^2, \quad (1)$$

где f — коэффициент трения-качения; G — вес плуга, Н; k — удельное сопротивление почвы, Н/см²; a — глубина вспашки, см; b — ширина захвата плуга, см; ϵ — коэффициент динамичности, Н·с²/м⁴; v — скорость движения плуга, м/с.

В практических расчетах тяговое сопротивление плуга определяется по упрощенной формуле

$$P = kab. \quad (2)$$

При подсчете тягового сопротивления плуга, работающего на участках с наличием в почве значительного количества древесных включений, Е.И. Власов [1] ввел дополнительную составляющую, учитывающую сопротивление, возникающее в результате резания и разрыва корней

$$P_k = \mu \Delta ab, \quad (3)$$

где μ — коэффициент, определяющий усилие на разрыв единицы площади поперечного сечения корней, Н/см²; Δab — суммарное сечение корней, приходящееся на всю площадь поперечного сечения пласта, см².

С учетом этой составляющей формула (1) представляется в следующем виде [2]:

$$P = fG + k(1 - \Delta) ab + \epsilon abv^2 + \mu \Delta ab, \quad (4)$$

а формула (2)

$$P = k ab + \mu \Delta ab . \quad (5)$$

Однако рассмотренные зависимости не учитывают влияние на тяговое сопротивление плуга конкретных размеров перерезаемых корней, их прочностных свойств, твердости почвы, переплетенной корнями, а значит, не отражают физической сущности процесса резания корней, размещенных в почве, что приводит к значительным погрешностям в расчетах.

Ниже предлагается формула, лишенная указанных недостатков [3], для расчета возникающего при разрушении корней в почве лемехом тягового сопротивления плуга.

$$P_{K} = 1,57 n_1 b \sqrt{\frac{m}{S}} d^2 [k_1' \sigma \sqrt{\frac{p}{\pi E}} \cdot \sqrt{1 + f'^2} \sin(\beta + \varphi) + k_2 \sigma_p], \quad (6)$$

где n_1 — коэффициент, зависящий от числа корней одновременно встречаемых рабочим органом (1–1,5); m — число корней на обрабатываемой площади, шт.; S — обрабатываемая площадь, m^2 ; d — средний диаметр корней, см; k_1' — коэффициент, учитывающий число корней, перерезаемых лемехом, равный примерно 4/5; p — твердость почвы, H/cm^2 ; k_2 — коэффициент, учитывающий число разрываемых корней ($k_2 = 1 - k_1'$); σ — удельное сопротивление резанию корней, H/cm^2 (1500–2000); E — модуль упругости древесины (10^{-6}); f' — коэффициент внешнего трения (0,4–0,5); β — угол расположения лезвия лемеха к направлению движения, град; φ — угол внешнего трения, град (20–24°); σ_p — предел прочности корня при растяжении вдоль волокон, H/cm^2 (1500–2000).

Экспериментально установлено, что площадь сечения пня у корневой шейки равна сумме площадей сечений корней, расположенных в почве на глубине в среднем до 30 см. Следовательно, при известном диаметре пня средний диаметр корня может быть определен по формуле

$$d = D n^{-\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

где D — средний диаметр пня у корневой шейки, см; n — число перерезаемых корней, шт.

Тяговое сопротивление плуга, рассчитанное по формулам (2) и (6) и полученное экспериментально, составило соответственно 34,63 и 35,20 кН при одних и тех же параметрах и режимах работы пахотного агрегата. Следовательно, расхождения в аналитических расчетах и экспериментальных данных не превышают 9%, что вполне допустимо при практических расчетах, учитывая большую изменчивость почвенных характеристик обрабатываемых площадей.

В лесном хозяйстве подготовка почвы чаще всего проводится на свежих нераскорчеванных вырубках на небольшую глубину (7–12 см). Наибольшую сложность при подготовке почвы представляют сосново-ельевые, елово-березовые вырубки и некоторые другие. Режущие элементы плуга при вспашке встречаются с основной массой корневых систем. В частности, сопротивление резанию сосновой древесины лемехом одноотвального плужного корпуса может быть определено по формуле [4]

$$P_n = 14,75 D^2 \sin \beta + 57,3 \sin (\beta + \varphi). \quad (8)$$

Для двухотвальных плугов (ПКЛ-70, ПЛШ-1,2, ПЛП-135 и др.) формула (8) примет следующий вид:

$$P_n = 9,5 D^2 + 48,5D. \quad (9)$$

Расчетные значения результатов, полученные по приведенным формулам, представлены в табл. 1.

Полученные значения могут быть использованы при расчетах и комплектовании пахотных агрегатов, а также при проектировании новых лесных и кустарниково-болотных плугов.

Как известно, некоторые лесные и кустарниково-болотные плуги оборудуются черенковыми ножами, которые в работе отделяют пласт в вертикальной плоскости. Сопротивление резанию почвы и корней черенковым ножом можно определить по формуле

$$P_n = P_n^i + P_k, \quad (10)$$

где P_n^i – сопротивление резанию почвы, Н; P_k – сопротивление резанию корней, Н.

В основе процесса резания почвы лежит явление деформации сжатия почвы лезвием, фасками и боковыми гранями ножа. Лезвие разрушает почву, образуя плоскость резания. Фаски деформируют разрезанную почву, а боковые грани воспринимают нагрузку от сжимающей их почвы. В общем виде сопротивление резанию можно записать уравнением

$$P_n^i = P_l + 2P_\phi + 2P_d, \quad (11)$$

где P_l – сопротивление резанию почвы лезвием, Н; P_ϕ – сопротивление деформации почвы фасками ножа, Н; P_d – сопротивление деформации почвы гранями ножа, Н.

Сопротивление резанию почвы зависит от степени затупления лезвия ножа и физико-механического состояния почвы и может быть определено по формуле

$$P_l = qtL \sqrt{1 + f'^2} \cdot \sin (\beta' - \varphi_n), \quad (12)$$

где q – удельное сопротивление почвы, приходящееся на единицу лобового

Т а б л и ц а 1. Расчетные значения сопротивлений резания древесины (сосна) лемехом плуга

Значения угла наклона лемеха в плане, град	Сопротивление резанию древесины, кН в зависимости от диаметра пня, м				
	0,20	0,22	0,26	0,28	0,32
30	38	46	65	75	96
40	47	57	80	90	114
50	50	65	90	102	128
60	58	73	98	112	142

сечения лезвия, Н/см²; β' — угол наклона ножа к вертикали, град; t — толщина лезвия, см; L — длина ножа, см; φ_n — угол внешнего трения, град.

Чтобы найти составляющую P_{ϕ} , можно воспользоваться формулой для определения удельного сопротивления фаски прямо поставленного ножа [5].

$$P_y = \frac{1}{2} \sigma_0 b' \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi_n}{\operatorname{tg} \beta'} \right), \quad (13)$$

где σ_0 — удельное давление почвы на нож, Н/см²; b' — толщина ножа, см; β' — угол заострения фаски ножа, град. Тогда $2P_{\phi}$ для ножа с углом наклона β найдем из выражения

$$2P_{\phi} = \sigma_0 b' L \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi_n}{\operatorname{tg} \beta'} \right) \cdot \sqrt{1 + f'^2} \cdot \sin(\beta' - \varphi_n). \quad (14)$$

$2P_D$ можно определить по формуле

$$2P_D = 2\sigma_0 S_{\text{ш}} f', \quad (15)$$

где $S_{\text{ш}}$ — площадь боковой грани ножа, см².

Сопротивление резанию корней ножом может быть найдено по формуле Е.В. Витвицкого:

$$P_K = k_1'' n' + k_2' \beta, \quad (16)$$

где k_1'' и k_2' — коэффициенты, полученные опытным путем ($k_1'' = 1,673$; $k_2' = 0,006$); n' — количество одновременно перерезаемых корней, шт.

Просуммировав формулы (12), (14), (15) и (16), можно определить сопротивление, которое испытывает черенковый нож в работе на почвогрунтах, засоренных корневыми включениями. Приобщив к итогам, подсчитанным по зависимостям (2) и (6), полученный результат, найдем суммарное тяговое сопротивление лесного или кустарниково-болотного плуга, оборудованного черенковым ножом.

Исследования, проведенные по резанию лесных почв лемехами плугов на различных глубинах, позволили установить, что наименьшее тяговое сопротивление лемех плуга испытывает на глубине вспашки около 20–22 см. При пахоте на указанной глубине основная масса корней извлекается из пахотного горизонта, а остающаяся часть корней не оказывает существенного влияния на последующую работу почвообрабатывающих, посевных, лесопосадочных и других машин и орудий.

Л и т е р а т у р а

1. И л ь и н Г.П. Механизация работ в зеленом строительстве и хозяйстве. — М., 1972, с. 78. 2. Э и м а И.М., М а л ю г и н Т.Т. Механизация лесохозяйственных работ. — М., 1976, с. 266–269. 3. В а в и л о в А.В. Технология расчистки лесных площадей от поросли. — Лесное хозяйство, 1979, № 4, с. 40–42. 4. М а ц е п у р о М.Е., К л ю ч к о В.А. Разрушение древесины пней клиновидными рабочими органами при сельскохозяйственном освоении нераскорчеванных лесосек. — В кн.: Вопросы земледельческой механики. Минск, 1962, т. 8, с. 51–101. 5. М а ц е п у р о М.Е., К а ц ы г и н В.В. Процессы деформации, перемещения и резания почвогрунтов. — В кн.: Вопросы технологии механизированного сельскохозяйственного производства. Минск, 1963, с. 21–91.