

Рис. 3. Схема контакта бича с поверхностью поля

вливают на это в меньшей степени.

Однако при большом числе бичей они во время контакта с поверхностью поля будут ударяться друг о друга, и эффективность их работы снизится.

Запишем условие несоударяемости бичей во время контакта их с поверхностью поля:

$$\sqrt{l^2 - (l - \Delta)^2} = \sqrt{2l\Delta - \Delta^2} \approx \sqrt{2l\Delta} \leq (l + r_1) \sin \frac{\pi}{n} \quad (18)$$

откуда

$$n \leq \pi / \arcsin \frac{\sqrt{2l\Delta}}{l + r_1} \quad (19)$$

Например, при $l = 100$ мм, $\Delta = 20$ мм и $r_1 = 45$ мм $n \leq 6,9$. При этих же параметрах и $\omega = 100$ 1/с; $n = 4$; $V_m = 1500$ мм/с; $i = 6,47$.

На рис. 4 представлена зависимость предельно допустимого количества последовательно расположенных

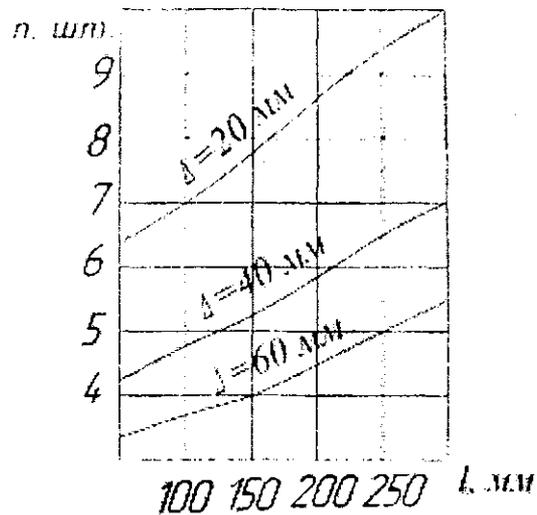


Рис. 4. Предельно допустимое количество последовательно расположенных бичей ротора n в зависимости от их длины l и вертикальной деформации Δ , исходя из условия несоударяемости бичей $r_1 = 45$ мм.

бичей ротора n от их длины l и вертикальной деформации Δ , исходя из условия несоударяемости бичей.

Вывод

При проектировании бичевых очистителей головок корнеплодов от черенков ботвы необходимо учитывать взаимоотношение допустимых деформаций с параметрами бичей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов.- М., 2001.
2. Янке Е и др. Специальные функции. - М.: Наука, 1977.
3. Чернышевский Д.В. Детали машин. - М.: Машиностроение, 2002.

УДК 631.312.44

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ШИРИНЫ ЗАХВАТА ДВУХСЕКЦИОННОГО ПОВОРОТНОГО ПЛУГА-ЛУЩИЛЬНИКА

П.П. Казакевич, докт. техн. наук, А. Н. Юрин, мл. научн. сотр. (РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси»)

Ширина захвата оказывает существенное влияние на устойчивость хода плуга, которая определяется

двумя факторами:

- зависимостью величины тягового сопротивления

от направления линии тяги;

- неравномерностью распределения тяговых сопротивлений по отдельным корпусам.

Как показали исследования [1], наименьшее тяговое сопротивление плуга имеет место при отклонении линии тяги вправо от продольной оси, проходящей через центр сопротивления орудия под углом 12°, вершина которого лежит в этом центре.

Однако из-за малой ширины захвата существующих схем плугов выполнить такую схему их сцепки с трактором практически невозможно.

В результате изменения физико-механических свойств почвы и неровности рельефа силы, действующие на отдельные плужные корпуса, изменяются. Из-за неравномерности сопротивления почвы корпусам, расположенным по одну сторону центра сопротивления, может оказаться больше или меньше сопротивления корпусам, расположенным по другую сторону этого центра. Разность сопротивлений создает момент относительно точки прицепа плуга, стремящийся повернуть орудие в ту или иную сторону. Максимальное значение момента возникает в том случае, когда по одну сторону от центра сопротивления все силы принимают максимальное значение, а по другую минимальное.

Зависимость величины максимального момента M_{\max} , возникающего вследствие неравномерности тяговых сопротивлений, от числа корпусов плуга может быть определена следующим образом (для плугов с числом корпусов 2, 3, 4, 5, 6 и 7) [1]:

$$n = 2 \rightarrow M_{\max} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot \Delta P_k,$$

$$n = 3 \rightarrow M_{\max} = b \cdot \Delta P_k,$$

$$n = 4 \rightarrow M_{\max} = 2 \cdot b \cdot \Delta P_k,$$

$$n = 5 \rightarrow M_{\max} = 3 \cdot b \cdot \Delta P_k,$$

$$n = 6 \rightarrow M_{\max} = 4,5 \cdot b \cdot \Delta P_k,$$

$$n = 7 \rightarrow M_{\max} = 6 \cdot b \cdot \Delta P_k,$$

где n - число корпусов;

ΔP_k - абсолютная неравномерность силы сопротивления одного корпуса, Н.

Из приведенных выражений легко получить, что при четном числе корпусов момент равен

$$M_{\max} = \frac{n^2}{8} \cdot b \cdot \Delta P_k, \quad (1)$$

при нечетном

$$M_{\max} = \frac{n^2 - 1}{8} \cdot b \cdot \Delta P_k. \quad (2)$$

Однако в общем виде зависимость величины момента M_{\max} от числа корпусов n может быть выражена уравнением (1), так как коэффициент $\frac{n^2}{8}$ больше, чем $\frac{n^2 - 1}{8}$.

Абсолютную неравномерность силы сопротивления можно определить через величину её относительной неравномерности сопротивления корпуса плуга.

$$\Delta P_k = P_k \cdot \frac{\delta P}{100}, \quad (3)$$

где P_k - тяговое сопротивление одного корпуса плуга, Н;

δP - величина относительной неравномерности.

В свою очередь,

$$P_k = \frac{P}{n}, \quad (4)$$

где P - тяговое сопротивление плуга, Н.

Следовательно,

$$\Delta P_k = \frac{P \cdot \delta P}{100 \cdot n}. \quad (5)$$

Подставляя полученное выражение в (1), получим

$$M_{\max} = \frac{n \cdot b \cdot P \cdot \delta P}{800}. \quad (6)$$

Согласно рациональной формуле В. П. Горячкина

$$P = G_n \cdot f_n + k_n \cdot a \cdot B + \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot V_p^2, \quad (7)$$

где G_n - вес плуга, Н;

f_n - коэффициент сопротивления качению;

k_n - удельное тяговое сопротивление плуга, Н/м²;

B - ширина захвата плуга, м;

ε - силовой коэффициент, зависящий от массы почвы на рабочих органах и трения, кг/м³.

Тогда

$$M_{\max} = \frac{P \cdot B}{800} \cdot \delta P = \frac{(\kappa_{yo} \cdot f_n + k_n \cdot a + \varepsilon \cdot a \cdot V_p^2) B^2}{800} \delta P, \quad (8)$$

где κ_{yo} - удельный вес плуга, Н/м.

В результате действия момента в центре сопротивления плуга в направлении, ортогональном движению,

возникает сила $F = \frac{M_{\max}}{L_n}$, где L_n - расстояние от точки прицепа до центра сопротивления плуга, м.

Анализ конструкций плужных орудий позволил установить следующее выражение для определения L_n

$$L_n = 1,43 \cdot B - 0,15. \quad (9)$$

Тогда

$$F = \frac{B^2 \cdot \delta P (\kappa_{yo} \cdot f_n + k_n \cdot a + \varepsilon \cdot a \cdot V_p^2)}{800 \cdot (1,43 \cdot B - 0,15)}. \quad (10)$$

При условии равномерного распределения F по корпусам плуга сила, действующая на одну полевую дёску, равна

$$F' = \frac{F}{n} = \frac{B^2 \cdot \delta P (f_n \cdot \kappa_{yo} + k_n \cdot a + \varepsilon \cdot a \cdot V_p^2)}{800 \cdot (1,43 \cdot B - 0,15) \cdot n}. \quad (11)$$

Если сила F' направлена в сторону вспаханного поля - плуг должен повернуться на некоторый дополни-

тельный угол $\Delta\alpha'_n$, при котором полевые доски создадут дополнительную реакцию, равную силе F' . При этом реакция стенки борозды R'_y будет равна

$$R'_y = R_y + F', \quad (12)$$

где R_y - боковое давление со стороны оборачиваемого пласта, Н.

Центр сопротивления при этом сместится на величину Δ_1 ,

$$\Delta_1 = L_n \cdot \text{tg} \Delta\alpha'_n \quad (13)$$

Когда сила F' направлена в сторону вспаханного поля, то часть боковой нагрузки с полевых досок снимается, а плуг отклоняется в сторону пашни до тех пор, пока угол установки полевой доски не достигнет той величины, которая соответствует реакции стенки борозды

$$R'_y = R_y - F' \quad (14)$$

Следовательно, угол установки полевых досок уменьшится на величину $\Delta\alpha''_n$, а плуг развернется в сторону вспаханного поля на угол $\Delta\alpha''_n$ относительно точки прицепа. При этом смещение точки прицепа будет равно

$$\Delta_2 = L_n \cdot \text{tg} \Delta\alpha''_n \quad (15)$$

Нетрудно видеть, что величины Δ_1, Δ_2 определяют неравномерность хода плуга по ширине захвата.

С целью установления зависимости бокового давления R'_y от угла установки полевой доски α_n проведено динамометрирование корпуса плуга, оснащенного полевой доской с механизмом изменения угла её установки в горизонтальной плоскости.

Результаты эксперимента представлены на рис.1.

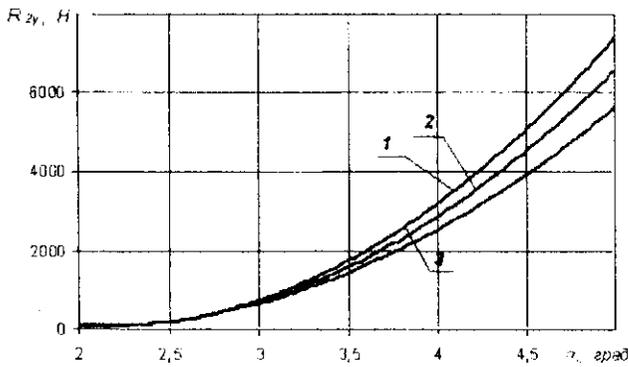


Рис. 1. Зависимость реакции почвы на полевую доску R'_y от угла её установки α_n : 1) - тяжелый суглинок; 2) - средний суглинок; 3) - супесь

Используя определенные априорные значения $f_n, k_n, \epsilon, \delta P$ и установленную зависимость (рис.1), можно теоретически рассчитать неравномерности Δ_1, Δ_2 хода плуга как ширины захвата в зависимости от её величины.

Графические интерпретации выполненных расчетов представлены на рис.2.

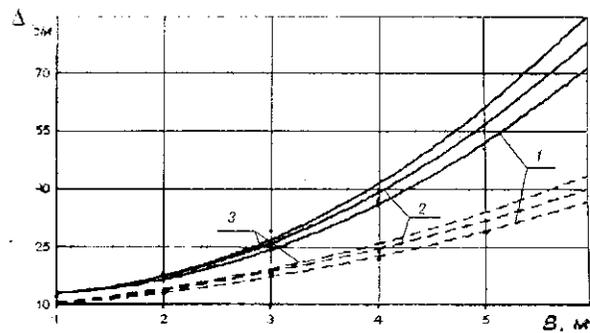


Рис.2. Зависимости неравномерности хода плуга Δ по ширине захвата B от её величины в условиях различных типов почв (Δ_1 - (—), Δ_2 - (---)):

1) - супесь; 2) - средний суглинок; 3) - тяжелый суглинок, при $f_n=0,1, k_n=50 \text{ кН/м}^2, \epsilon=0,05 \text{ кг/м}^3, \delta P=10\%$

Как видно из этих графиков, значение Δ_1 всегда больше значения Δ_2 . Поэтому неравномерность хода плуга, определяемую значениями Δ_1 , следует рассматривать как допустимую.

Согласно агротехническим требованиям к вспашке превышение фактической ширины захвата над расчетной не должно быть больше 10%. Тогда, для симметричного корпуса поворотного плуга при $b=40 \text{ см}$ допустимая величина $\Delta_1=4 \text{ см}$.

При таком условии из графиков получаем допустимые величины ширины захвата плуга на тяжелом суглинке - 4,5 м, среднем суглинке - 4,2 м и супеси - 3,9 м.

Однако допустимая ширина захвата орудия зависит и от выравнивания рельефа почвы, которая влияет на равномерность его хода по глубине.

Оценку выравнивания рельефа определяли экспериментально путем проведения профилирования поверхности участков различных типов почв.

Техника профилирования заключалась в следующем. Выбирался участок длиной 20 м, на концах которого устанавливались металлические стойки.

Между стойками натягивалась медная проволока сечением $0,5 \text{ мм}^2$ на высоте 300 мм от поверхности почвы. Один конец проволоки закреплялся на одной из стоек, а другой перекидывался через блок, установленный на второй стойке. К свободному концу проволоки прикреплялся груз массой 2,5 кг для её натяжения. На поверхности почвы между стойками натягивалась рулетка с делениями через 10 см. После этого линейкой измерялось расстояние от натянутой проволоки до поверхности почвы через каждые 10 см длины профиля. Полученные данные заносились в журнал наблюдений. Всего было снято 20 профилей.

Ввиду того, что измерения производились от натянутой проволоки, определялась величина её провисания y по формуле цепной линии:

$$y = a \cdot \text{ch} \frac{x}{a'}, \quad a' = \frac{H}{q}, \quad (16)$$

где y - величина провисания, м;

x - расстояние от опоры до сечения, в котором определялось провисание, м;

H - сила натяжения проволоки ($H = m \cdot q = 24,5 \text{ Н}$);

q - масса погонного метра проволоки, кг/м.

Так как площадь сечения проволоки составляет $0,5 \text{ мм}^2$, плотность $\gamma = 8900 \text{ кг/м}^3$, то масса её погонного метра

$$q = 0,0445 \text{ кг/м} \quad (16)$$

Подставляя в выражение (16) значения H и q , получим

$$y = 0,89x^2$$

По полученной формуле производился подсчет величины провисания проволоки для каждого замера профиля. Полученная величина добавлялась к значению ординаты. Профиль делился на участки 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 10 м, на каждом из которых определялась средняя арифметическая величина ординаты h_{cp} и среднее квадратическое отклонение от средней арифметической ординаты участка.

Если n - число замеров на участке профиля длиной l_i^p , h_n - ордината n_{20} замера, то среднее арифметическое значение ординаты на данном участке профиля h_{cp} равно

$$h_{cp} = \frac{\sum h_n}{n_3} \quad (17)$$

Отклонение ординаты h_n от средней арифметической ординаты участка h_{cp} определяется уравнением

$$\lambda_n = h_{cp} - h_n \quad (18)$$

а среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{h_n} = \sqrt{\frac{\sum \lambda_n^2}{n_3 - 1}} \quad (19)$$

Среднее квадратическое отклонение характеризует собой отклонение поверхности почвы от некоторой средней линии, среднее отклонение поверхности почвы от которой равно нулю.

Распределение значений σ_{h_n} в зависимости от длины профиля представлено в табл. 1.

1. Зависимость среднеквадратического отклонения ординаты σ_{h_n} от длины участка l_i^p

| $l_i^p, \text{ м}$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\pm \sigma_{h_n}, \text{ мм}$ | 14,1 | 15,7 | 16,8 | 18,4 | 19,6 | 21,2 | 22,8 | 24,4 | 26,0 | 27,6 |

Так как требованиями агротехники вспашки установлено допустимое среднеквадратическое отклонение заданной глубины пахоты не более $\pm 2 \text{ см}$, то из условия устойчивости хода плуга по глубине и выполненной оценки рельефа почвы следует, что допустимое расстояние между носками первого и последнего корпусов, закрепленных на жесткой

балке, равно 5,2 м. Если они установлены через 0,58...0,66 м, то в плуге должно быть 8...9 корпусов.

Таким образом, для поворотного плуга-лушительника допустимая ширина захвата составляет 3,2...3,6 м (при $b=40 \text{ см}$).

Применение двухсекционной схемы в поворотном плуге позволяет в 1,5...1,7 раза уменьшить его длину при равной ширине захвата [2]. Следовательно, параметром, ограничивающим ширину захвата двухсекционного поворотного плуга-лушительника, является допустимое отклонение по ширине захвата.

В то же время ширина захвата пахотного агрегата прямо пропорционально влияет на величину его производительности. Но производительность агрегата зависит и от мощности энергетического средства, тягового КПД, коэффициента использования времени смены и удельного тягового сопротивления плуга. Сопоставляя эти параметры одно- и двухсекционных поворотных плугов равной ширины захвата, можно заключить, что все указанные величины, кроме коэффициента использования времени смены, будут идентичными.

Сменная производительность определяется выражением [3]

$$W_{cm} = \frac{0,36 \cdot N_{kp} \cdot \beta \cdot T \cdot \tau}{k} \quad (20)$$

где N_{kp} - мощность на крюке, Вт;

$\beta = B_p/B$ - коэффициент использования конструктивной ширины захвата;

T - продолжительность времени смены, ч;

τ - коэффициент использования времени смены;

$k = P/B$ - удельное сопротивление агрегата, Н/м.

По [3]

$$N_{kp} = N_e - N_i \cdot \left(1 - \frac{\eta_{sc} (100 + \delta)}{100} \right) - G_m \cdot V_p (f_m \pm \cos \alpha') \quad (21)$$

где N_e - мощность двигателя трактора, Вт;

G_m - вес трактора, Н;

δ - буксование двигателей трактора, %;

α' - уклон местности, град.

η_{sc} - КПД трансмиссии трактора, %.

Время смены T определяется выражением

$$T = T_p + t_x + t_1 + t_2 + t_3 + t_6 \quad (22)$$

где T_p - чистое рабочее время, ч;

t_x - время, отведенное на холостые повороты и заезды, ч;

t_1 - время технологических остановок, ч;

t_2 - время технологического обслуживания агрегата, ч;

t_5 - время отдыха и личных надобностей, ч;

t_6 - подготовительно-заключительное время, ч.

Чистое рабочее время, а также отведенное на холостые повороты и заезды определяется выражениями:

$$T_p = \frac{2 \cdot L_p \cdot n_u}{3600 \cdot V_p} \quad (23)$$

$$t_x = \frac{2 \cdot l_x \cdot n_u}{3600 \cdot V_p} \quad (24)$$

где L_p - рабочая длина гона, м;

l_x - длина холостых заездов, м;

n_u - количество циклов работы агрегата.

Количество циклов работы агрегата за смену

$$n_u = \frac{T_p - t_2 - t_5 - t_6}{t_u} \quad (25)$$

где t_u - время цикла, ч.

Время цикла

$$t_u = \frac{10^{-3}}{3,6} \left(\frac{2 \cdot L_p}{V_p} + \frac{2 \cdot l_x}{V_x} + 60 \cdot t_{on} \right) \quad (26)$$

где V_x - скорость движения агрегата на холостом ходу, м/с;

t_{on} - время остановок на технологическое обслуживание агрегата, приходящееся на один цикл, мин.

Коэффициент использования времени смены:

$$\tau = \frac{T_p}{T} \quad (27)$$

Используя данные выражения в (27), можем записать

$$\tau = \frac{\frac{2 \cdot L_p \cdot n_u}{3600 \cdot V_p}}{\frac{2 \cdot L_p \cdot n_u}{3600 \cdot V_p} + \frac{2 \cdot l_x \cdot n_u}{3600 \cdot V_p} + t_1 + t_2 + t_5 + t_6} \quad (28)$$

Способ движения агрегатов с плугами для гладкой вспашки - челночный. Поэтому для них существует два типа поворотов в зависимости от соединения с трактором: грушевидный петлевой - для прицепных и полунавесных плугов и беспетлевой - для навесных. Двухсекционные плуги выполняются, как правило, навесными, в то время как односекционные, с числом корпусов более 6, имеют большую длину и, как правило, изготавливаются полунавесными.

Тогда, принимая $\beta = 1$, сменная производительность определяется следующим выражением

$$W_{сч} = \frac{0,36 \cdot T \left[N_c - N_s \cdot \left(1 - \frac{\eta_{сч} \cdot (100 + \delta)}{100} \right) - G_m \cdot V_p \cdot (f_r \pm \cos \alpha) \right]}{k_{сч} \cdot f + \alpha \cdot (k_n + \varepsilon \cdot V_p^2)} \quad (29)$$

На рис. 3 представлена графическая интерпретация данного выражения для одно - и двухсекционных плугов.

Из графика видно, что сменная производительность двухсекционных плугов выше, чем у односекционных при ширине захвата более 2,2 м. Это обусловлено меньшей их длиной, а, следовательно, и меньшими холостыми заездами, а значит большим коэффициентом использования

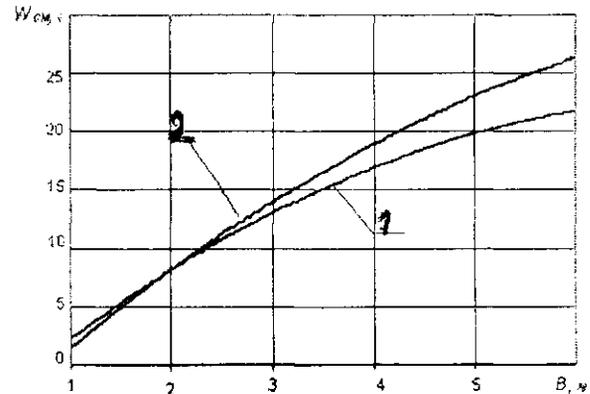


Рис. 3. Зависимость производительности пахотного агрегата от ширины захвата плуга:

1) - односекционные поворотные плуги;

2) - двухсекционные поворотные плуги

времени смены.

При ширине захвата менее 2,2 м двухсекционные плуги имеют меньшую производительность, так как при малом количестве корпусов их длина оказывается больше по причине требуемой установки дополнительных рабочих органов (сталкивателя и катковой секции).

Таким образом, ширина захвата двухсекционных поворотных плугов должна быть не менее 2,2 м. При этом её допустимая величина с учетом агротехнических требований составляет на тяжелом суглинке - 4,5 м, среднем - 4,2 м и супеси - 3,9 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рундю А.А. Исследование энергоёмкости и устойчивости плугов //Труды научной конференции 1959 г. / Под ред. М. Е. Мацепуро. - М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы БССР, 1961. - С. 215-225.

2. Казакевич П.П., Юрин А.Н. К вопросу обоснования двухрядной установки корпусов плуга-лушцильника //Механизация и электрификация сельского хозяйства /Межведомственный тематический сборник/УП «БелНИИМСХ». - Мн., 2003, т1. - С.150-155.

3. Эксплуатация машинно-тракторного парка// Учеб. пособие для с.-х. вузов/ Под ред. Ю. Б. Будько. - Мн.: Ураджай, 1991. - 336с.