

УДК 631.333:631.862

**Э.В. Дыба, П.П. Бегун,  
В.В. Микульский**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

**ОБОСНОВАНИЕ ШИРИНЫ  
ЗАХВАТА МАШИНЫ ДЛЯ  
ВНУТРИПОЧВЕННОГО  
ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ  
ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ**

**Введение**

Одним из основных параметров машин для внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений (ЖОУ) является рабочая ширина захвата, от правильности выбора значения которой в значительной степени зависит технико-экономическая эффективность процесса. В настоящее время методики определения оптимального значения ширины захвата машин для внутрипочвенного внесения ЖОУ не существует. Нами сделана попытка ликвидировать этот пробел.

**Основная часть**

Решить задачу по определению оптимальной ширины захвата машины можно, зная класс трактора с известными энергетическими и другими характеристиками и размеры емкости сельскохозяйственной машины, используя в качестве критерия производительность [1, с. 201–206]. Расчет ширины захвата произведем на примере машинно-тракторного агрегата в составе «Беларус 3022» + МПВУ-16.

Сменную производительность определим, используя известную формулу [2, с. 102; 3, с. 76; 4, с. 220]:

$$W_{см} = 0,36 \cdot N_e \cdot \eta_m \cdot T \cdot \tau / K, \quad (1)$$

где  $N_e$  – эффективная мощность двигателя, кВт;

$\eta_m$  – тяговый КПД трактора;

$T$  – продолжительность смены, ч;

$\tau$  – коэффициент использования времени смены;

$K$  – удельное сопротивление агрегата, кН/м.

Удельное сопротивление машины

$$K = R_a / B_p,$$

где  $R_a$  – сила сопротивления движению агрегата, кН;

$B_p$  – рабочая ширина захвата машины, м.

Сила сопротивления движению агрегата [2, с. 71; 5, с. 38]

$$R_a = R_m + R_{вом},$$

где  $R_m$  – сила сопротивления рабочей машины, кН;

$R_{вом}$  – сопротивление рабочей машины, связанное с потерей тягового усилия за счет передачи части мощности двигателя на привод механизмов машины, кН.

Сопrotивление движению рабочей машины [3]

$$R_m = G_m \left( (1 - \lambda_\partial) f_1 + \frac{i}{100} \right) + G_m \left( \lambda_\partial f_2 + \frac{i}{100} \right) + k_{ad} B_p,$$

где  $G_m$  – вес машины,  $\kappa H$ ;

$\lambda_\partial$  – коэффициент догрузки ведущих колес, в долях;

$f_1$  – коэффициент сопротивления перекатыванию трактора;

$i$  – уклон поля, %;

$f_2$  – коэффициент сопротивления перекатыванию машины;

$k_{ad}$  – удельное сопротивление дискового адаптера,  $\kappa H/м$ ;

$B_p$  – ширина захвата агрегата.

Полный вес машины ( $\kappa H$ ) складывается из веса груза (удобрения) и сухого веса машины, тогда

$$G_m = G_z + G_{cm}.$$

Сухой вес машины можно представить в виде суммы веса цистерны с шасси и веса дискового адаптера:

$$G_{cm} = G_\psi + G_{ad}.$$

Кроме того, необходимо учесть, что масса адаптера зависит от ширины захвата машины, то есть

$$G_{ad} = m_{1m} \cdot g \cdot B_p,$$

где  $m_{1m}$  – масса 1-го погонного метра ширины захвата дискового адаптера,  $т/м$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $м/с^2$ .

Сопrotивление рабочей машины, связанное с потерей тягового усилия за счет передачи части мощности двигателя на привод ВОМ, определим по выражению [4, с. 39]:

$$R_{вом} = \frac{10N_{вом} i_m \eta_{мз}}{r_k n_n \eta_{вом}},$$

где  $N_{вом}$  – мощность, затрачиваемая на привод ВОМ,  $\kappa Bm$ ;

$i_m$  – общее передаточное число трансмиссии трактора на соответствующей передаче;

$\eta_{мз}$  – КПД трансмиссии;

$r_k$  – радиус качения ведущего колеса,  $м$ ;

$n_n$  – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя,  $мин^{-1}$ ;

$\eta_{вом}$  – КПД ВОМ трактора.

Теоретическая скорость ( $м/с$ ) движения машины равна:

$$\vartheta_m = 0,377 \frac{r_k n_n}{i_m}.$$

Выразив теоретическую скорость движения агрегата через рабочую, получим:

$$\vartheta_m = \vartheta_p / (1 - \delta_\epsilon),$$

где  $\vartheta_p$  – рабочая скорость движения агрегата,  $км/ч$ ;

$\delta_\epsilon$  – буксование движителей с включенным ВОМ, в долях.

Тяговый КПД

$$\eta_m = N_{кр} / N_e,$$

где  $N_{кр}$  – мощность на крюке,  $кВт$ .

Из баланса мощности трактора можно записать:

$$N_{кр} = N_e - (N_\delta + N_f \pm N_\alpha + N_{евом} + N_{мп}), \quad (2)$$

где  $N_\delta$  – потери мощности на буксование,  $кВт$ ,

$$N_\delta = N_e \eta_{мз} (1 - \delta_\sigma); \quad (3)$$

$N_f$  – потери мощности на перекачивание трактора,  $кВт$ ,

$$N_f = M_{мп} g f_1 \vartheta_p \cos \alpha / 3,6; \quad (4)$$

$N_\alpha$  – потери мощности на преодоление подъема,  $кВт$ ,

$$N_\alpha = M_{мп} g \vartheta_p \sin \alpha; \quad (5)$$

$N_{евом}$  – потери мощности на привод ВОМ,  $кВт$ ,

$$N_{евом} = N_{вом} / \eta_{вом}; \quad (6)$$

$N_{мп}$  – потери мощности в трансмиссии трактора,  $кВт$ ,

$$N_{мп} = N_e \eta_{мз}, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – угол подъема или спуска,  $град.$ ;

$M_{мп}$  – масса трактора,  $т$ .

Подставим формулы (3)–(7) в выражение (2), после преобразований получим:

$$N_{кр} = N_e \eta_{мз} (1 - \delta_\sigma) - \frac{N_{вом}}{\eta_{вом}} - \frac{M_{мп} g f_1 \vartheta_p}{3,6}.$$

Коэффициент использования времени смены

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^m \tau_c - (m-1)}{\sum_{i=1}^n 1/\tau_c - (n-1)} = \frac{\tau_c}{\frac{1}{\tau_{об}} + \frac{1}{\tau_{мо}} - 1},$$

где  $\tau_c$  – суммарный коэффициент, учитывающий потери времени смены;

$\tau_{об}$  – коэффициент использования времени движения;

$\tau_{мо}$  – коэффициент, учитывающий потери времени на технологическое обслуживание агрегата.

Суммарный коэффициент внецикловых потерь времени смены принимаем постоянным,  $\tau_c = const$ , и определяем по формуле:

$$\tau_c = \tau_n + \tau_{неп} + \tau_\phi - 2,$$

где  $\tau_n$  – коэффициент, учитывающий подготовительно-заключительное время;

$\tau_{неп}$  – коэффициент времени, учитывающий внутрисменные переезды с участка на участок;

$\tau_\phi$  – коэффициент времени, учитывающий простои по физиологическим причинам;

$$\tau_n = (T - T_n) / T;$$

$$\tau_{неп} = (T - T_{неп}) / T;$$

$$\tau_\phi = (T - T_\phi) / T,$$

где  $T_n$  – подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на сдачу-приемку агрегата, комплектование, переезды к месту работы и обратно, выбирается по справочной литературе, ч;

$T_{пер}$  – время на внутрисменные переезды с участка на участок, ч;

$T_{\phi}$  – время на физиологические нужды, ч.

Коэффициент использования времени движения определим по формуле:

$$\tau_{об} = \frac{T}{T_p + T_x + T_z + T_{\phi z}} = \frac{t_p}{t_p + t_x + t_z + t_{\phi z}},$$

где  $T_p$ ,  $T_x$ ,  $T_z$  и  $T_{\phi z}$  – время смены, затрачиваемое на работу, холостое движение, на переезды с грузом и без груза, ч;

$t_p$ ,  $t_x$ ,  $t_z$  и  $t_{\phi z}$  – время цикла, затрачиваемое на работу, холостое движение, на переезды с грузом и без груза, ч.

Рассмотрим более подробно время цикла, затрачиваемое:

– на работу:

$$t_p = L_{техн} / \mathfrak{G}_p ;$$

– на холостое движение:

$$t_x = l_{хц} / \mathfrak{G}_x ;$$

– на переезды с грузом:

$$t_z = S / \mathfrak{G}_z ;$$

– на переезды без груза:

$$t_{\phi z} = S / \mathfrak{G}_{\phi z} ,$$

где  $L_{техн}$  – технологическое расстояние, м;

$l_{хц}$  – средняя удельная длина холостого хода на одну полную выгрузку, м;

$\mathfrak{G}_x$  – скорость движения агрегата на холостом ходу, км/ч;

$S$  – расстояние транспортирования удобрений, км;

$\mathfrak{G}_z$  и  $\mathfrak{G}_{\phi z}$  – скорость движения агрегата с грузом и без груза на транспортных работах, км/ч.

Технологическое расстояние определяется по формуле:

$$L_{техн} = \frac{10^4 m_z}{B_p H} ,$$

где  $m_z$  – масса груза (грузоподъемность), т;

$H$  – доза внесения удобрений, т/га.

Агрегат для внесения удобрений будет двигаться способом перекрытия, вид разворота – беспетлевой с прямолинейным участком.

Средняя удельная длина холостого хода на одну полную выгрузку

$$l_{хц} = \frac{L_{техн} \cdot l_x}{L_p} ,$$

где  $l_x$  – средняя удельная длина холостого хода, м;

$L_p$  – рабочая длина гона, м.

Рабочая длина гона

$$L_p = L - 2 \cdot E,$$

где  $L$  – длина гона, м;

$E$  – ширина поворотной полосы, м.

Для беспетлевого разворота с прямолинейным участком ширина поворотной полосы равна:

$$E = 1,1 R_0 + 0,5 d_k + e,$$

где  $R_0$  – минимальный радиус поворота агрегата, м;

$d_k$  – кинематическая ширина агрегата, равная расстоянию между крайними точками по ширине, м;

$e$  – длина выезда агрегата, м.

Радиус поворота агрегата зависит от состава агрегата и скорости поворота:

$$R_0 = 1,5 K_{R0} \cdot B_p,$$

где  $K_{R0}$  – коэффициент увеличения радиуса при скорости на холостом ходу.

Длина выезда для тягово-приводных агрегатов [2, с. 93]

$$e = (0,25 \dots 0,75) l_k,$$

где  $l_k$  – кинематическая длина агрегата, м;

$$l_k = l_m + l_n,$$

где  $l_m$  – кинематическая длина трактора, м;

$l_n$  – кинематическая длина машины, м.

Длина холостого хода  $l_x$  [2, с. 93]

$$l_x = (1,4 - 2) R_0 + x + 2e,$$

где  $x$  – длина прямолинейного участка, м.

Коэффициент использования времени на технологическое обслуживание определим по формуле:

$$\tau_{mo} = \tau_p / (\tau_p + \tau_{mo}),$$

где  $\tau_{mo}$  – время, затрачиваемое на погрузку, с.

$$\tau_{mo} = m_z / W_{носп},$$

где  $W_{носп}$  – производительность загрузчика, м/ч.

Для рабочей скорости (м/с) движения агрегата можно записать:

$$g_p = \frac{10W_c}{B_p H},$$

где  $W_c$  – часовая подача подающих рабочих органов (насоса, транспортера и т. д.), м/ч.

Отсюда

$$W_c = Q_n \rho_n,$$

где  $Q_n$  – подача вакуум-компрессора, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho_n$  – плотность ЖОУ, м/м<sup>3</sup>.

Подставляем в выражение (1) значение  $\eta_m$ ,  $N_{кр}$ ,  $\tau$ . После подстановки и математических преобразований получим:

$$W_{см} = \frac{0,36B_p T \left[ N_e \eta_{мэ} (1 - \delta_\delta) - \frac{N_{взм}}{\eta_{взм}} - \frac{M_{мп} g f_1 \vartheta_p Q_n \rho_n}{3,6B_p H} \right]}{\left[ (m_y g + m_z g + m_{1м} \cdot g \cdot B_p) \left( (1 - \lambda_\delta) f_1 + \lambda_\delta f_2 \right) + K_{ад} B + 0,377 \frac{N_{взм} \eta_{мэ} (1 - \delta_\delta)}{B_p H \eta_{взм} Q_n \rho_n} \right]} \times \left[ \frac{T - T_n + T_w - T_{пер}}{T} \right] \times \left[ 1 + \frac{10 Q_n \rho_n (3B_p + x + 2e)}{B_p H \vartheta_x (L - 4,65B_p + 2e)} + \frac{A Q_n \rho_n}{m_z} \right], \quad (8)$$

где  $A = S / \vartheta_z + S / \vartheta_{\delta z} + m_z / W_{носп}$ .

Подставляем в уравнение (8) известные параметры и решим его графическим способом для различных расстояний перевозки и доз внесения навоза. Графики зависимости сменной производительности агрегата от его ширины захвата для расстояний перевозки 2, 5, 10 км представим на рисунке 1, а для доз внесения 20, 40, 60 м/га – на рисунке 2.

Как видно из графиков, представленных на рисунках 1 и 2, при увеличении ширины захвата от 2 до 6 м производительность резко возрастает, что обусловлено уменьшением времени разгрузки цистерны. Дальнейшие изменения, начиная с 6 м до 10 м, менее заметны. Полученное значение ширины захвата машины 10 м, при котором обеспечивается максимальная сменная производительность, нерационально для выполнения работ (неудобства при транспортировке, необходимость отбивать широкие поворотные полосы, большая металлоемкость). Поэтому надо применять такое значение ширины захвата, при котором увеличение сменной производительности незначительно, если при этом нет других ограничений (возможность складывания секций адаптера и т. д.).

Наряду с производительностью агрегата, как правило, в качестве критерия оптимизации принимают прямые затраты денежных средств на единицу обработанной площади (прямые удельные издержки). В последних учиты-

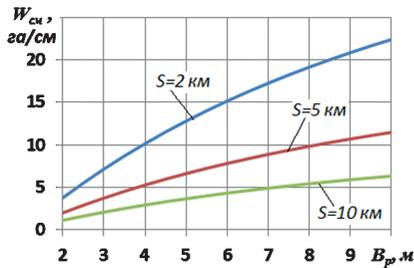


Рисунок 1. – Зависимость сменной производительности от ширины захвата машины для диапазона расстояний перевозки 2–10 км (доза внесения 40 м/га)

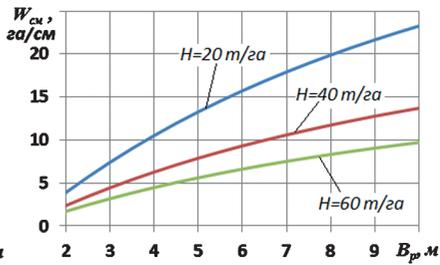


Рисунок 2. – Зависимость сменной производительности от ширины захвата машины для диапазона доз внесения 20–60 м/га (расстояние перевозки 4 км)

ваются как производительность агрегата, так и расход топлива и затраты на оплату труда механизаторов. В общем виде прямые издержки могут быть выражены формулой:

$$C = \frac{1}{100W_{cm}} \left[ \frac{B_m(a_m + r_m)}{T_m} + \frac{B_M(a_M + r_M)}{T_M} + 100(Z_m + 3\Pi_M) \right],$$

где  $B_m$  и  $B_M$  – балансовая стоимость соответственно трактора и сельхозмашины, долл. США;

$a_m$  и  $a_M$  – амортизационные отчисления на трактор и машину, %;

$r_m$  и  $r_M$  – отчисления на ремонт, %;

$T_m$  и  $T_M$  – годовая загрузка трактора и сельхозмашины, ч;

$Z_m$  – затраты на топливо за час работы, долл. США;

$3\Pi_M$  – часовая оплата труда механизаторов, долл. США.

Затраты денежных средств на топливо

$$Z_m = \frac{g_e N_e}{10^3} C_{zm},$$

где  $g_e$  – удельный расход топлива, г/кВт·ч;

$C_{zm}$  – стоимость 1 кг топлива, долл. США.

В результате расчета были получены зависимости прямых удельных издержек от ширины захвата при различных расстояниях перевозки и дозах удобрений, которые приведены на рисунках 3 и 4.

Анализируя графики, представленные на рисунках 3 и 4, можно сделать вывод, что при прямоочной технологии внесения ЖОУ с увеличением ширины захвата от 2 до 6 м наблюдается резкое снижение прямых удельных издержек, что связано с резким ростом сменной производительности в этом диапазоне. При дальнейшем увеличении ширины захвата снижение прямых удельных издержек малозаметно.

Для определения рациональной ширины захвата машины полученные зависимости сменной производительности и прямых удельных издержек

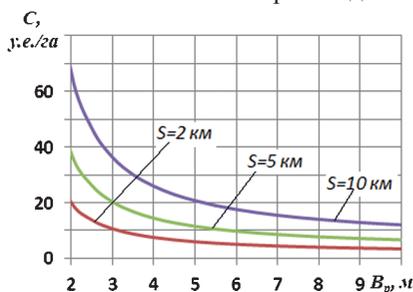


Рисунок 3. – Зависимость прямых удельных издержек от ширины захвата машины для диапазона расстояний перевозки 2–10 км (доза внесения 40 м/га)

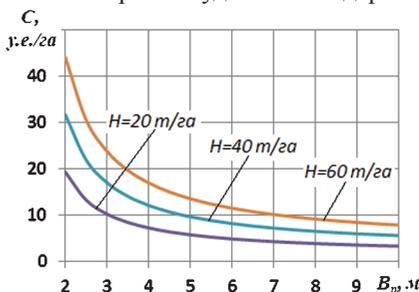


Рисунок 4. – Зависимость прямых удельных издержек от ширины захвата машины для диапазона доз внесения 20–60 м/га (расстояние перевозки 4 км)

от ширины захвата совместим на одной диаграмме. Для этого приведем их к удельным величинам, например к процентам. Совмещенные графики зависимостей сменной производительности и прямых удельных издержек от ширины захвата при различных расстояниях перевозки и различных дозах внесения ЖОУ приведены на рисунках 5 и 6.

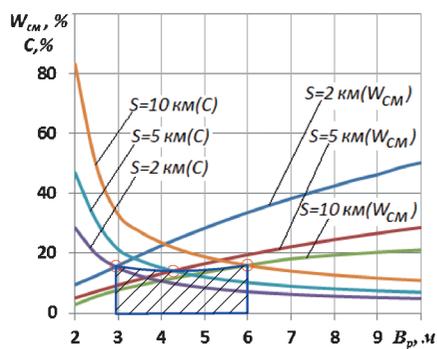


Рисунок 5. – Совмещенные графики зависимостей сменной производительности и прямых удельных издержек от ширины захвата машины для диапазона расстояний перевозки 2–10 км (доза внесения 40 м/га)

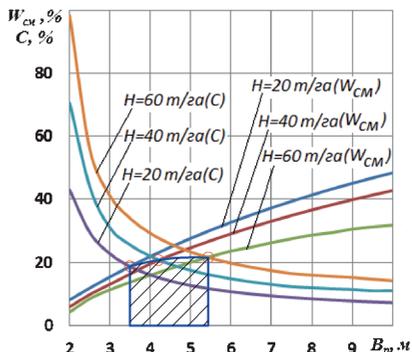


Рисунок 6. – Совмещенные графики зависимостей сменной производительности и прямых удельных издержек от ширины захвата машины для диапазона доз внесения 20–60 м/га (расстояние перевозки 4 км)

Анализ графиков, представленных на рисунках 5 и 6, показывает, что при расстоянии перевозки от 2 до 10 км значение ширины захвата машины находится в пределах от 2,9 до 6 м. При дозе внесения жидкого навоза от 20 до 60 м/га оптимальное значение ширины захвата машины находится в пределах от 3,5 до 5,5 м.

### Заключение

На основании приведенных расчетов можно сделать вывод, что рациональная ширина захвата машины для внутривспашечного внесения ЖОУ должна находиться в пределах от 2,9 до 6 м. Это позволит снизить прямые удельные издержки на выполнение операции по внесению ЖОУ, что в конечном итоге положительно отразится на себестоимости продукции.

01.07.2015

### Литература

1. Завалишин, Ф.С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф.С. Завалишин. – М.: Колос, 1973. – 391 с.
2. Эксплуатация машинно-тракторного парка: учеб. пособ. для с.-х. вузов / А.П. Ляхов [и др.]; под ред. Ю.В. Будько. – Минск: Ураджай, 1991. – 336 с.
3. Сергеев, В.С. Определение тяговых показателей тракторов: методические указания / В.С. Сергеев, А.А. Миренков. – Горки, 2003. – 52 с.
4. Сапьяник, Г.Н. Оценка энергетических, технологических и экономических показателей работы машинно-тракторных агрегатов: методические указания / Г.Н. Сапьяник, Е.П. Ладик, Г.Л. Солодухин. – Горки, 1983. – 130 с.

5. Веденяпин, Г.В. Эксплуатация машинно-тракторного парка: учеб. пособ. для с.-х. вузов / Г.В. Веденяпин, Ю.К. Киртбая, М.П. Сергеев. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 431 с.
6. Свирцевский, Б.С. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Б.С. Свирцевский. – М.: Сельхозиздат, 1958. – 660 с.

УДК 631.356:635.132(476)

**И.А. Барановский**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

## **ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ ПОДКАПЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КОРНЕКЛУБНЕУБОРОЧНЫХ МАШИН**

### **Введение**

Подкапывающие рабочие органы корнеклубнеуборочных машин выполняют одну из первых операций технологического процесса уборки корнеклубнеплодов, в том числе моркови, поэтому степень их совершенства в значительной мере определяет технологическую схему и качество работы машины в целом.

В основу работы подкапывающих рабочих органов корнеклубнеуборочных машин положен клин. При движении лезвие разъединяет сцепленные между собой частицы почвы и срезанный пласт под действием реакции недеформированной почвы движется вверх по рабочей поверхности клина. Прекращение движения пласта почвы по поверхности клина отрицательно сказывается на работоспособности машины, нарушается надежность технологического процесса, увеличивается процент потерянных и поврежденных корнеплодов. Поэтому при проектировании формы подкапывающих рабочих органов важно определить параметры, при которых обеспечивается устойчивое разрушение и перемещение почвы по их поверхности.

### **Основная часть**

Одними из основных рабочих органов корнеклубнеуборочных машин являются подкапывающие органы в виде лап.

Если рассечь проектируемую нами лапу рядом вертикальных плоскостей, параллельных направлению движения, отстоящих одна от другой на равных бесконечно малых расстояниях  $\Delta u$ , то каждая отсеченная часть лапы будет представлять собой элементарный клин (рисунок 1).

Рабочая поверхность этого элементарного клина определяется его сторонами: лезвием  $AB$ , линией  $AC$  – границей двух смежных элементарных клиньев с одной стороны и линией  $BD$  – с другой.

Лезвие элементарного клина  $AB$  является частью всего лезвия лапы. Деформация почвы определяется углом наклона к горизонту элементарного клина с элементарным лезвием  $AB$ .