

УДК 631.312

М. Д. ПОДСКРЕБКО

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИВЕДЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПАХОТНЫХ АГРЕГАТОВ

(Поступила в редакцию 13.10.2005)

Пахота является «самой важной, самой продолжительной, самой дорогой и самой тяжелой работой», занимающей примерно 30–40% от всех энергозатрат на полевые работы [1]. Высокое качество пахоты способствует повышению биологической активности пахотного горизонта и является основной гарантией получения будущего урожая. Пахота, выполненная с нарушением агротехники, как правило, исправлению не поддается и ведет к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. По данным Почвенного института РАН им. Докучаева, качество вспашки считается высоким, когда содержание комочков от 1,0 до 10–20 мм в пашне составляет не менее 50%, частиц менее 0,25 мм – не более 3%, при этом степень крошения пласта – не ниже 80%, заделка растительных остатков – не ниже 90%. Исследования показывают [4], что при вспашке отвальными плугами даже в нормальных условиях только около 30% площади по степени крошения удовлетворяют этим требованиям агротехники. Недостаточное крошение и перемешивание почвенных слоев требует проведения дополнительных поверхностных обработок пашни, что значительно увеличивает затраты труда и энергии на ее подготовку.

В данном случае поверхностные обработки доводят качество предыдущего процесса до требований агротехники и в определенном смысле являются вынужденными. Поэтому производительность новых пахотных агрегатов должна определяться физическим объемом работ при обязательном выполнении агротребований к процессу. Только в этом случае производительность будет являться характеристикой степени прогрессивности и совершенства пахотного агрегата.

Разработка теоретических основ и способа определения приведенной производительности пахотных агрегатов с учетом качества технологического процесса независимо от конструкции плуга и характера воздействия рабочих органов на почву позволит объективно сравнивать пахотные агрегаты, избежать субъективных оценок совершенства машин (агрегатов), а также создает научные основы для разработки новой и совершенствования существующей техники.

В 70-е годы XX века Советским Союзом были предприняты попытки при нормировании работ привести производительность пахотных агрегатов к одинаковым эталонным условиям, принимая за единицу выработки «условный эталонный гектар» (усл. эт. га) [2]. Разработанная методика учитывала глубину пахоты, агрофон и тип почвы, но не учитывала различий в качественных показателях технологических процессов, без чего при проведении сравнительных испытаний нельзя дать объективную оценку производительности пахотных агрегатов, выполняющих одинаковый технологический процесс, но имеющих различные конструкции и параметры рабочих органов.

Под усл. эт. га понимается вспашка одного физического гектара старопашотных земель в следующих, принимаемых за эталонные, условиях: удельное сопротивление плуга – 5,0 Н/см² при скорости движения агрегата 5,0 км/ч; глубина обработки 20–22 см; агрофон – стерня зерновых, почва – средний суглинок; влажность почвы – 20–22%; рельеф ровный, препятствия работе агрегата отсутствуют.

Для сравнения производительности пахотных агрегатов, работающих на различных полях с различным состоянием почвы, на разную глубину приведем полученную производительность в физических гектарах к одинаковым (эталонным) условиям.

С увеличением средней глубины пахоты при прочих равных условиях количество обработанной почвы будет изменяться пропорционально глубине. Работа, совершаемая агрегатом на вспашке одного усл. эт. га, равна

$$A_0 = 10^4 \cdot K_{п_0} \cdot a_0 = 10^6 \cdot K_{п_0} \cdot a_0 = 10^6 \cdot 5 \cdot 20 = 10^8 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где $K_{п_0}$ – удельное сопротивление плуга (усл. эт. га), равное $5,0 \text{ Н/см}^2$; a_0 – глубина вспашки, равная 20 см.

Приведенная эталонная производительность при работе агрегатов на разной глубине, но одинаковом удельном сопротивлении $K_{п_0} = \text{const}$ будет определяться выражением

$$W'_н = \frac{W_ч \cdot 10^6 \cdot K_{п_0} \cdot a}{10^6 \cdot K_{п_0} \cdot a_0} = W_ч \frac{a}{a_0} = W_ч \cdot \varphi_a, \quad (1)$$

где $W_ч$ – часовая производительность агрегата, принятого за эталон, при глубине пахоты a , см; $\varphi_a = \frac{a}{a_0}$ – коэффициент, учитывающий изменение производительности в зависимости от глубины вспашки.

При подсчете приведенной эталонной производительности необходимо учитывать отличие удельного сопротивления обрабатываемой почвы от эталонных условий. Исследования показывают, что закономерность изменения удельного сопротивления вспашки от влажности при изменении глубины обработки сохраняется [3]. Учитывая, что с ростом глубины удельное сопротивление в зависимости от состояния пахотного горизонта может увеличиваться, уменьшаться или оставаться постоянным, можно дать в первом приближении выражение для определения удельного сопротивления в зависимости от влажности и глубины обработки

$$K'_п = (d + bw + cw^2) + \delta(a - a_0), \quad (2)$$

где d, b, c – опытные коэффициенты, определяемые для данного типа почвы и фона при вспашке на глубину $a_0 = 20$ см; w – влажность почвы; δ – коэффициент, учитывающий изменение удельного сопротивления при изменении глубины.

На основе обработки экспериментальных данных для выщелоченных черноземов среднесуглинистого механического состава получена формула, позволяющая вычислять удельное сопротивление вспашки по значению влажности почвы и глубине вспашки:

$$K'_п = 11,96 - 0,708w + 0,018w^2 - 0,08(a - 20) \text{ Н/см}^2. \quad (3)$$

Приведенная эталонная производительность $W''_н$ агрегатов, работающих на участках с разными удельными сопротивлениями, на разных глубинах, определится из условия равенства работ

$$W''_н = \frac{W_ч \cdot 10^6 \cdot K'_п \cdot a}{10^6 \cdot K_{п_0} \cdot a_0} = W_ч \varphi_к \varphi_a = W'_н \varphi_к, \quad (4)$$

где $W_ч$ – фактическая производительность пахотного агрегата, га/ч; $\varphi_к = \frac{K'_п}{K_{п_0}}$ – коэффициент, учитывающий изменение производительности в зависимости от удельного сопротивления вспашки.

Площадь, обработанную с явным нарушением требований агротехники, будем считать браком.

Пусть α_0 – процент брака при работе эталонного агрегата в эталонных условиях. Тогда доля площади, удовлетворяющей требованиям агротехники, будет $(1 - \alpha_0)$.

Увеличение или уменьшение брака, естественно, должно учитываться соответствующим изменением производительности.

При вспашке W'' га/ч с процентом брака α площадь, удовлетворяющая требованиям агротехники, будет равна

$$W'_ч = W''(1 - \alpha). \quad (5)$$

Полезная работа, совершаемая агрегатом при вспашке W'' га/ч на глубину a_0 , будет

$$A_п = W''(1 - \alpha) \cdot A_{p.o}^{agr} \cdot 10^4 \cdot a_0. \quad (6)$$

Приведенная эталонная производительность W''' агрегатов при работе с различным качеством обработки найдется из условия равенства агротехнических работ

$$W''' = \frac{W''(1 - \alpha) \cdot A_{p.o}^{agr} \cdot 10^4 \cdot a_0}{(1 - \alpha_0) \cdot A_{agr}^{treb} \cdot 10^4 \cdot a_0} = W'' \cdot \varphi_{agr}, \quad (7)$$

где $\varphi_{agr} = \frac{(1 - \alpha) A_{p.o}^{agr}}{(1 - \alpha_0) A_{agr}^{treb}}$ – коэффициент, учитывающий изменение производительности в зависимости от качества вспашки; $A_{p.o}^{agr}$ – агротехническая работа, совершаемая рабочим органами, Н·м/м³, она зависит от параметров и режимов работы, характера воздействия на обрабатываемую среду и определяется на основе снятия качественных показателей; A_{agr}^{treb} – агротехнически необходимая работа на крошение оборот и перемешивание пласта для обработки почвы в эталонных условиях, Н·м/м³.

Таким образом, приведенная производительность трактора, принятого за эталон в усл. эт. га, будет определяться умножением фактически выполненного агрегатом объема работ в физических гектарах на соответствующие коэффициенты

$$W_н = W'_ч \cdot \varphi_a \cdot \varphi_k \cdot \varphi_{agr}. \quad (8)$$

Формула (8) позволяет производить сравнение приведенной производительности пахотных агрегатов, работающих с различными марками тракторов на различных типах почв, с различным качеством. В этом случае необходимо в формулу (8) подставить эталонную выработку трактора соответствующей марки.

Агротехнически необходимая работа обуславливается только свойством почвы и не зависит ни от конструктивных параметров и типа рабочего органа, ни от характера его воздействия на почву.

Минимальная работа крошения соответствует разрушению пласта по направлениям, где естественные связи между частицами наименьшие. Для определения расхода энергии на крошение воспользуемся энергетическим законом разрушения твердых тел П.А.Ребиндера [4]

$$A_п = \sigma \Delta S + K \Delta V, \quad (9)$$

где σ – удельная поверхностная энергия определяется свойствами материала и для данного типа почвы может рассматриваться величиной постоянной; ΔS – площадь вновь образованных поверхностей при разрушении; $K \Delta V$ – работа деформации объема разрушаемого тела; K – удельная объемная работа деформации.

Для почв нормальной влажности работа деформации при разрушении незначительна. Поэтому можно принять, что работа крошения пласта определяется только работой, затрачиваемой на обра-

зование новых поверхностей, – первым членом формулы (9). Будем рассматривать общий вес почвенной пробы как объем статистической совокупности. Тогда отношение веса комков определенного размера к общему весу будет представлять частоту, соответствующую данному интервалу:

$$P_i = \frac{\Delta Q_i}{Q_n}, \quad (10)$$

где ΔQ_i – вес комков в i -м интервале (классе); Q_n – общий вес почвенной пробы.

Расчеты показывают, что удельная поверхность комков ($\text{см}^2/\text{Н}$) одинакового диаметра d_i в весовой единице независимо от их принятой формы (кубической или шарообразной) будет равна

$$S_{\text{уд}} = 6d_i^2 \cdot \frac{1}{\gamma d_i^3} = \frac{6}{\gamma d_i}, \quad (11)$$

где γ – удельный вес комков, $\text{Н}/\text{см}^3$.

Формула показывает, что чем меньше комки, тем большую удельную поверхность имеет разрушенный материал.

Величина суммарной вновь образованной поверхности в почвенной пробе весом Q_n будет равна

$$S = \frac{6}{\gamma} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i}{d_i}, \quad (12)$$

где n – число интервалов (классов), на которые делится проба.

Отсюда вновь образованная поверхность ($\text{см}^2/\text{Н}$), приходящаяся на весовую единицу, будет равна

$$S' = \frac{6}{\gamma Q_n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i}{d_i} = \frac{6}{\gamma} \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{d_i} \quad (13)$$

или

$$S' = \frac{6}{\gamma \cdot 100} \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{d_i}, \quad (14)$$

где P_i в процентах.

Предполагая равномерную степень крошения всего пласта, получим величину вновь образованной поверхности, приходящуюся на объемную единицу, $\text{см}^2/\text{см}^3$:

$$S_n = S' \gamma = \frac{6}{100} \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{d_i}, \quad (15)$$

Определить величину минимальной поверхностной энергии, приходящейся на единицу вновь образованной поверхности для данного типа почвы наиболее просто путем разрушения образцов почвы ударом на специальном копре [5, 6].

Экспериментальные исследования разрушения почвенных образцов показывают, что с повышением скорости удара величина суммарной вновь образованной поверхности возрастает, а удельная энергия разрушения почвы уменьшается. Следовательно, удельная поверхностная энергия, представляющая отношение энергии разрушения почвы к величине вновь образованной поверхности, будет приближаться к установившемуся значению, величина которого будет представлять значение удельной поверхностной энергии σ_0 (удельной энергоемкости разрушения)

$$\sigma_0 = \frac{E}{S_n^0}, \quad (16)$$

где E – энергия, затраченная на разрушение почвенного образца, равная разности потенциальной и неиспользованной энергии ударника; S_n^o – вновь образованная поверхность при разрушении образца.

В опытах для суглинистых почв наименьшая величина удельной энергоемкости ($H \cdot м/см^2$) имела место при скорости удара 5,0–6,0 м/с и равнялась

$$\sigma_o = 0,00283.$$

Принимая для данного типа почвы $\sigma_o = \text{const}$, работа крошения пласта ($H \cdot м$) будет равна

$$A_{\text{крош}} = \sigma_o S_n^o a B_p L, \quad (17)$$

где a – глубина пахоты, см; B_p – рабочая ширина захвата плуга, см; L – длина гона, см.

Оборачивание и перемешивание почвы при вспашке можно рассматривать как подъем нижних и опускание верхних элементарных слоев пласта. Верхние слои почвы опускаются под действием силы тяжести, поэтому в расчетах их можно не учитывать. Требование равномерного перемешивания почвы будет выполняться, если случайная величина (z) (положение элементарного объема почвы) весом $dq = \gamma B_p dx da$ в пределах глубины вспашки будет распределяться по закону равномерной плотности

$$f(z) = \begin{cases} \frac{1}{a} & \text{при } 0 < z < a; \\ 0 & \text{при } z < 0 \text{ и } z > a \end{cases}.$$

Работа, затрачиваемая на оборот и перемешивание почвенных слоев в пласте ($H \cdot м$) длиной L , будет равна

$$A_{\text{об}} = \iiint_V dq f(z) z dz = \frac{1}{400} \gamma B_p a^2 L, \quad (18)$$

где dq – вес элементарного объема почвы; $f(z)$ – плотность распределения случайной величины; z – положения элементарного объема почвы от дна борозды.

Агротехнически необходимая работа для получения заданного качества вспашки будет равна

$$A_{\text{агр}}^{\text{треб}} = A_{\text{крош}} + A_{\text{об}} = \sigma_o S_n^o a B_p L + \frac{1}{400} \gamma B_p a^2 L. \quad (19)$$

Задаваясь другим желаемым законом распределения почвенных слоев $f(z)$, например, нормальным, пуассоновым и т.д., по формулам (18) и (19) найдем соответствующую агротехнически необходимую работу.

Для подсчета агротехнически требуемой работы в эталонных условиях примем, рекомендуемые для черноземных почв агротехнические показатели (табл. 1). Содержание в пашне «пылевидных» частиц размером менее 0,25 мм ограничивается 3%.

Фрикционный состав пашни (%), принимаемый в качестве агротехнически требуемого

Фракции, мм					Показатель крошения, %	Свободная поверхность S_n^o , $см^2/м^3$
<0,25	1–0,25	1–10	10–50	50–100		
не более 3,0	8,8	49,7	20,5	18,0	82	$28,764 \cdot 10^6$

Подставив в общую формулу (8) значения коэффициентов $\varphi_a = a/20$; $\varphi_k = [11,96 - 0,708w + 0,018w^2 - 0,08(a - 20)] \frac{1}{5}$, получим простое выражение для определения приведенной производительности пахотных агрегатов, усл. эт. га:

$$W_{\text{н}} = W_{\text{ч}} \cdot 10^{-2} a [11,96 - 0,708w + 0,018w^2 - 0,08(a - 20)] \varphi_{\text{агр}}, \quad (20)$$

где a в см; w в %; $W_{\text{ч}}$ – в усл.эт.га/ч.

При определении приведенной производительности за смену необходимо в формулу вместо $W_{\text{ч}}$ подставить сменную выработку.

В настоящее время отсутствуют данные по эталонной выработке тракторов разных марок, поэтому проведем сравнение приведенной производительности агрегатов с трактором, предназначенным для работы с данными плугами.

Для сравнения приведенной производительности агрегатов были проведены испытания шестикорпусного плуга с комбинированными рабочими органами ПЛК-6-35 с трактором Т-150К

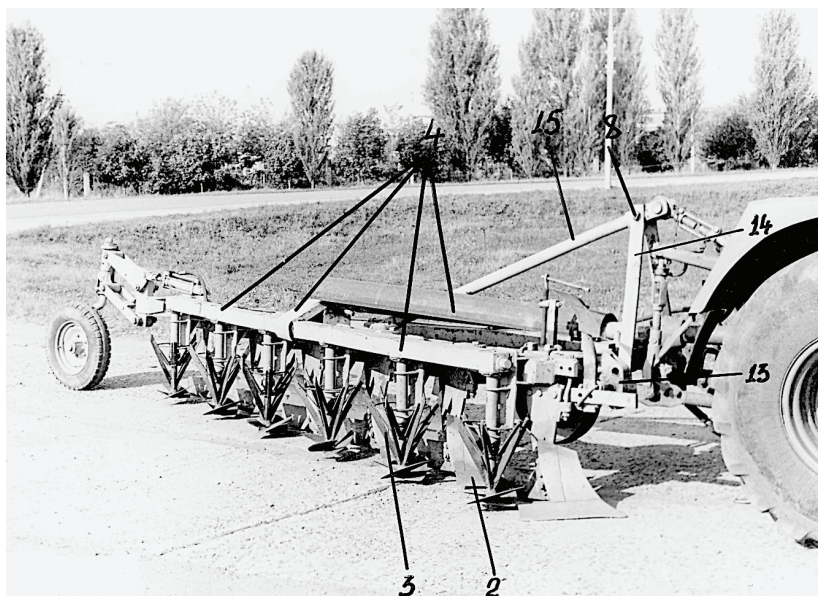


Рис. 1. Плуг ПЛК-6-35. Вид справа: 2 – лемешно-отвальная поверхность; 3 – вращающийся ротор; 4 – привод роторов; 8 – подвеска; 13 – понизитель; 14 – стойка; 15 – догрузатель



Рис. 2. Плуг ПЛК-6-35 в агрегате с трактором Т-150К. Вид в работе

и такой же ширины захвата лемешно-отвального плуга ПЛП-6-35 (рис. 1, 2). Почва представляла выщелоченный чернозем по механическому составу – тяжелый суглинок. Влажность $W = 22,3\%$, глубина вспашки была 22 см. Производительность агрегатов с экспериментальным плугом ПЛК-6-35 составила 2,24 га/ч, с серийным – 2,12 га/ч.

Почвенные условия работы плугов были одинаковыми (работали на одном поле), средняя глубина вспашки и заделка пожнивных остатков также были одинаковыми. Значительное различие наблюдалось в крошении почвенного пласта.

Почвенные пробы разбивались на фракции, мм: <0,25, 0,25–1,0, 1–10 мм, 10–50, 50–100, 100–200 мм. Степень крошения пласта экспериментальным плугом составила 84,7%, серийным – 58,8%. Расчетное значение коэффициента $\Phi_{ар}$ для плуга с комбинированными рабочими органами – 0,917; для серийного – 0,683.

Приведенная производительность пахотного агрегата (усл. эт. га/ч) с экспериментальным плугом

$$W_n^э = 2,24 \cdot 10^{-2} \cdot 22 \left[11,96 - 0,708 \cdot 22,3 + 0,018 \cdot 22,3^2 - 0,08(22 - 20) \right] \times \\ \times 0,917 = 2,24,$$

с серийным плугом

$$W_n = 2,12 \cdot 10^{-2} \cdot 22 \left[11,96 - 0,708 \cdot 22,3 + 0,018 \cdot 22,3^2 - 0,08(22 - 20) \right] \times \\ \times 0,683 = 1,58.$$

Следовательно, приведенная производительность у агрегата с экспериментальным плугом с комбинированными рабочими органами на 42% выше, чем у агрегата с серийным плугом. Содержание в пашне частиц размером менее 0,25 мм у сравниваемых орудий примерно одинаково.

Принимая распределение степени крошения по нормальному закону, получим вероятность обработки поля со степенью крошения не ниже 80%, равную 0,85. Таким образом, пахотный агрегат с плугом, имеющим комбинированные рабочие органы, обеспечивает подготовку почвы за один проход агрегата. Площадь, обработанная лемешным плугом, требует проведения дополнительных поверхностных обработок.

Заключение. Определение приведенной производительности пахотных агрегатов имеет существенное значение при испытании плугов на МИС, а также будет способствовать решению вопроса о постановке на производство или покупке плуга за рубежом.

Литература

1. Горячкин В. П. Рациональная формула для силы тяги плугов конных и тракторных. Соб. соч. Т. 2. М., 1965.
2. Методика определения суммарной выработки тракторов в условных единицах МСХ СССР. Всесоюзное объединение «Сельхозтехника». М., 1971.
3. Бахтин П. У. Исследование физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР. М., 1969.
4. Ребиндер П. А., Жигач Л. Н. Показатели твердости пород при бурении. М., 1941.
5. Хоанг Чен. Разрушение почвенных глыб ударом // Механизация и электрификация соц. с.-х. № 10. 1968.
6. Кузьмин А. Н., Мурзагалиев А. Ж. // Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов. Тр. ЧИМСХ. Вып. 158. Челябинск, 1980.

M. D. PODSKREBKO

THEORETICAL BASIS AND WAYS OF DETERMINATION OF ARABLE AGGREGATES PRODUCTION

Summary

Qualitative indexes of ploughing are not taking into account as a rule at estimation of arable aggregates production. For comparison of arable aggregates of different construction of working and the ways of power delivery from motor to working parts of plough worked at the fields having different soil state, different depth it is needed production of aggregates under comparison lead to identical (standard) properties by setting «conventional standard hectare» for unit of manufacture.

Theoretical basis and conclusion of general formula for determination of arable aggregates production depending on treatment depth, soil state, quality of technology process of ploughing have been discovered. The way allows really estimate arable aggregates production fulfilled the same technology process but had different plough construction at comparative testing.