

УДК 631.324.544

**В.В. Смильский,**

**А.В. Сидорчук**

*(ННЦ «Институт механизации и  
электрификации сельского хозяйства»,  
п.г.т. Глеваха, Киевская обл., Украина)*

## **О КОЭФФИЦИЕНТЕ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ОРУДИЙ**

### **Введение**

Проблема повышения эффективности функционирования сельскохозяйственных орудий – одна из важнейших в аграрном производстве. Изобилие земледельческой техники, предлагаемой мировым рынком, и отсутствие количественного показателя ее совершенства создают проблему выбора наилучших образцов. Разработчики с энтузиазмом сообщают потребителю о создании нового высокопроизводительного орудия, и он воспринимает это как действительное достижение потому, что не имеет объективного показателя для оценки технического уровня новинки. По-видимому, такой показатель и не может существовать, поскольку эффективность обработки почвы зависит от соответствия ее технологических свойств и параметров рабочих органов земледельческих орудий. В различных почвенных условиях одно и то же орудие будет иметь различную эффективность работы. Например, применяемые в настоящее время системы и средства механизации обработки почв в хозяйствах Республики Беларусь не в полной мере являются рациональными, так как не соответствуют зональным почвенно-климатическим условиям [1]. В этой связи дальнейшее наращивание производства сельскохозяйственной продукции в рыночных условиях возможно путем внедрения научно обоснованных технологий и повышения эффективности использования техники.

### **Основная часть**

Под эффективностью понимается степень соответствия фактического результата желаемому или ожидаемому, то есть это степень достижения цели. Различают целевую и технологическую эффективность [2]. Под целевой эффективностью понимается степень соответствия функционирования исследуемой машины ее целевому назначению, а под технологической (ресурсной) – степень интенсивности ее использования с точки зрения соотношения между произведенной продукцией (наработкой) и объемами затраченных ресурсов. Технологическая эффективность сельскохозяйственной техники крайне низка вследствие сезонности ее использования, а целевая пока не имеет объективного оценочного показателя. Традиционно степень совершенства машин и механизмов оценивают коэффициентом полезного действия (КПД), который характеризует эффективность превращения подведенной энергии в другой вид или передачи ее на расстояние (механические передачи, редукторы, двигатели внутреннего сгорания, электрические

двигатели и генераторы). Основоположник земледельческой механики академик В.П. Горячкин предложил определять КПД плуга как отношение полезного сопротивления к общему сопротивлению по формуле [3]:

$$\eta_{пл} = \frac{(k + \varepsilon V^2) \cdot a \cdot b}{G \cdot f + (k + \varepsilon V^2) \cdot a \cdot b}, \quad (1)$$

где  $k$  – удельное сопротивление,  $\kappaПа$ ;  
 $\varepsilon$  – ускорение перемещения пласта,  $м/с^2$ ;  
 $a$  и  $b$  – соответственно глубина и ширина пахоты,  $м$ ;  
 $V$  – скорость движения агрегата,  $м/с$ ;  
 $G$  – вес плуга,  $\kappaН$ ;  
 $f$  – коэффициент сопротивления перемещению плуга.

Полезными сопротивлениями он считал суммарное действие сил трения на рабочих поверхностях и сопротивление пласта деформации, крошению, подрезанию и отбрасыванию его в борозду. Из формулы (1) следует, что чем дальше отбрасывается пласт (чем больший член  $\varepsilon V^2$ ) и чем большее удельное сопротивление почвы резанию  $k$ , тем выше оказывается КПД плуга, что противоречит его физической сущности. Выходит, что чем меньше острота лемехов плуга, тем лучше его КПД. В работах [4, 5] обращается внимание на то, что формула (1) определяет механический КПД плуга как механизма, но не КПД орудия, предназначенного для желаемого изменения состояния обрабатываемой почвы. Формулу (1) предложено улучшить путем расчленения КПД плуга на технологический  $\eta_{тех}$ , характеризующий энергетическое совершенство рабочих органов, и механический  $\eta_{мех}$ , характеризующий совершенство конструкции плуга. Тогда общий КПД плуга

$$\eta_{пл} = \eta_{тех} \cdot \eta_{мех}. \quad (2)$$

Полезными считаются лишь те затраты энергии, которые вытекают непосредственно из задач деформации пласта:

$$\eta_{тех} = \frac{\chi}{(k + \varepsilon V^2)}, \quad (3)$$

где  $\chi$  – энергия единицы объема пласта, необходимая для изменения свойств почвы в соответствии с агротехническими требованиями.

Поскольку данных для теоретического определения удельной энергоемкости крошения нет, авторы предлагают условно приравнять  $\chi$  к минимальному значению коэффициента  $k$  в формуле (1). Такая замена позволит сравнивать энергоемкость рабочего органа не с теоретической, а с минимальной фактической энергоемкостью.

По нашему мнению, такое усовершенствование понятия КПД ненормально улучшает его информативную ценность. Феномен земледельческих

орудий заключается в том, что они не превращают энергию в другой вид и никуда ее не передают. Главным смыслом их функционирования является разрушение почвенного тела, а не превращение или передача энергии. Например, назначением плуга является переворачивание пласта, разрушение его монолитности и заделка всего, что лежит на поверхности почвы. Позволим себе заметить, что в формуле (1) полезных сопротивлений нет вообще, а потому классический КПД не может быть оценочным критерием совершенства сельскохозяйственных орудий. Полезным можно назвать сопротивление почвы сдвигу ведущим колесом трактора: там оно создает тяговую силу.

Известные ученые-почвоведы В.Р. Вильямс, К.К. Гедройц, П.В. Вершинин, Л.А. Костычев, В.В. Медведев, ученые-инженеры В.П. Горячкин, В.А. Желиговский видели цель механической обработки в крошении почвы [6...9]. Академик В.П. Горячкин писал, что «для современной агротехники главной задачей нужно считать характер крошения пласта различной толщины при различных условиях при посредстве клиньев всевозможной формы...» [3]. Сопутствующие процессы – оборот пласта, заделка растительных остатков и удобрений, рассматривались как ограничения, определяющие тип рабочего органа. Процесс обработки почвы является сложной комбинацией нескольких более простых процессов, которую невозможно выразить традиционной методикой вычисления КПД, а потому официальный термин «КПД сельскохозяйственного орудия» отсутствует и в его технической характеристике не приводится. Поэтому для оценки эффективности вновь создаваемых сельхозорудий применялись различные удельные показатели – производительность, энергетические затраты, материалоемкость, сопротивление, но не качество работы. Если какое-либо орудие совершенствуется, то должен существовать и его теоретический предел – идеальный рабочий орган. Теория сельскохозяйственной механики, при всех ее бесспорных достижениях, не предложила объективных показателей для оценки реального уровня эффективности сельскохозяйственных орудий как средства для обработки почв и не выявила предела их совершенствования. В результате нет весомых доказательств того, что принятые технологии возделывания почвы оптимальны с точки зрения обеспечения жизнедеятельности растений.

### **Результаты исследований**

Объективность количественной оценки качества работы орудий зависит от того, какими параметрами эта работа оценивается. Качество структуры пахотной почвы сейчас оценивают отношением агрономически ценных фракций (0,25–10 мм) ко всей массе почвы, именуя это коэффициентом структурности [9, 10]. Предполагается, что агрегаты внутри диапазонов фракций равноценны. Анализ результатов агрегатного состава различных почв показывает, что одинаковые значения коэффициента могут соответствовать неравноценным агрегатным составам почвы, поэтому нужно учитывать характер распределения фракций.

Суть нашего исследования заключается в разработке количественного показателя агрегатного состава почвы, по значению которого можно будет сравнивать ее состояние до и после обработки различными типами рабочих органов. Продемонстрируем предлагаемый метод на основе результатов анализа агрегатного состава чернозема среднесуглинистого влажностью 13,3–16,4 % и плотностью 215–225 *кПа*. Стерню ячменя вспахивали различными рабочими органами плугов в агрегате с трактором Т-75 на трех передачах трансмиссии [11]. Для сравнения определено процентное содержание почвенных фракций в естественно сложенной почве (контроль). Результаты анализа крошения почвы представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Агрегатный состав чернозема среднесуглинистого после обработки различными плугами и результаты его фрактальной оценки

Орудие для обработки почвы	Передача трактора	Относительное содержание <i>G</i> фракций почвы размером, мм						Коэффициенты (4) и (5)		
		≤0,25	0,25–20	20–30	30–50	50–100	≥100	<i>G</i>	<i>D</i>	$\eta_{\text{цел}}$
контроль	–	0,019	0,242	0,035	0,047	0,092	0,565	0,81	1,07	–
Плуг П-5-35М, лемешный	I	0,067	0,496	0,043	0,063	0,089	0,222	0,54	1,21	0,131
	II	0,081	0,510	0,046	0,065	0,071	0,227	0,43	1,21	0,131
	III	0,079	0,603	0,061	0,076	0,072	0,109	0,41	1,31	0,224
Плуг ПОД-5-35, роторный с лопатками	I	0,084	0,523	0,104	0,112	0,134	0,043	0,41	1,37	0,280
	II	0,085	0,489	0,107	0,111	0,116	0,092	0,46	1,30	0,215
	III	0,065	0,480	0,113	0,110	0,120	0,112	0,49	1,28	0,196
Плуг ПОД-5-35, роторный с зубьями	I	0,078	0,639	0,053	0,086	0,102	0,042	0,36	1,39	0,299
	II	0,091	0,625	0,055	0,075	0,058	0,096	0,40	1,33	0,243
	III	0,115	0,602	0,049	0,046	0,083	0,105	0,42	1,31	0,224

Мы предлагаем оценивать агрегатный состав почв фрактальным методом. Фрактальным называется множество элементов, которые в некотором отношении подобны целому, а их количество *N* пропорционально относительному размеру  $\delta$  в степени *D*, которая является показателем раздробленности данного множества. Элементами почвенного массива являются агрегаты различных размеров и формы, которые объединены в 6 размерных фракций. Чтобы не считать количество *N* элементов в каждой фракции, заменим их число относительным весовым содержанием *G*. Разделив размер *d* каждой фракции на наибольший размер агрегатов  $d_{\text{max}}$ , получим относительный размер фракции  $\delta = d/d_{\text{max}}$ . В этом случае фрактальная размерность *D* множества агрегатов определяется так:

$$D = \ln G \cdot (\delta) / \ln \delta, \quad (4)$$

где *D* – фрактальная размерность агрегатов (мера раздробленности);

*G* – весовое содержание элементов (агрегатов), кг;

$\delta$  – относительный размер фракции;

$d$  – текущий размер фракции, мм;  
 $d_{max}$  – наибольший размер фракции, мм.

Более подробно методика определения показателя фрактальности описана в [12]. Кроме показателя  $D$  измельчения, для оценки эффективности работы орудий можно использовать относительный показатель – коэффициент целевой эффективности  $\eta_{цел}$ , значения которого определяются по формуле:

$$\eta_{цел} = \frac{D_{op} - D_k}{D_k}, \quad (5)$$

где  $\eta_{цел}$  – показатель целевой эффективности орудия;  
 $D_{op}$  – показатель измельчения почвы орудием;  
 $D_k$  – показатель измельчения почвы на контроле.

Результаты определения показателя  $D$  и  $\eta_{цел}$  для каждого варианта условий обработки занесены в таблицу 1. Анализ значений  $D$  и  $\eta_{цел}$  позволяет заключить, что серийный плуг П-5-35М имеет очень низкую эффективность работы на вспашке. Рабочие органы с активными элементами имеют примерно равную эффективность, которая уменьшается с повышением скорости движения, что скажется на производительности пахотного агрегата.

В [13] описаны результаты исследований эффективности обработки черноземной тяжелосуглинистой почвы различными типами почвообрабатывающих орудий: отвальным плугом, лушильником, фрезой и дисковой бороной (таблица 2). Автор не приводит сведений о начальной структуре почв, поэтому условно примем показатель измельчения почвы на контроле  $D_k = 1,0$ . Сравнение показателей  $D$  и  $\eta_{цел}$  для различных типов орудий показывает, что все они имеют очень низкую эффективность измельчения почвы. Наилучшее качество вспашки получено после плуга ПН-4-35, а наименее эффективно лушение на глубину 20 см.

Таблица 2. – Агрегатный состав чернозема тяжелосуглинистого после обработки различными орудиями и результаты его фрактальной оценки

Орудие для обработки почвы	Относительное содержание $G$ фракций почвы размером, мм						Коэффициенты (4) и (5)		
	$\geq 0,5$	0,5–1,0	1,0–3,0	3,0–5,0	5,0–7,0	7,0–10	$G$	$D$	$\eta_{цел}$
Плуг ПН-4-35 на 20 см	0,103	0,054	0,197	0,071	0,070	0,510	0,77	1,17	0,17
Фрезер УПБ на 20 см	0,055	0,041	0,150	0,101	0,070	0,570	0,81	1,13	0,13
Лушение на 20 см	0,058	0,028	0,091	0,058	0,050	0,710	0,87	1,08	0,09
Фрезер УПБ на 10 см	0,069	0,048	0,151	0,075	0,059	0,590	0,81	1,13	0,13

## Заключение

Классический КПД не отражает качества работы земледельческих орудий, а поэтому не может служить объективной оценкой их целевой эффективности. Предложенный фрактальный показатель измельчения почвы является объективным критерием качества работы земледельческих орудий.

Использование активных роторов на вспашке чернозема среднесуглинистого позволяет существенно повысить качество крошения почвы, а увеличение скорости движения трактора дает отрицательный результат.

На вспашке тяжелосуглинистой почвы наилучшее крошение почвенного пласта получено после лемешного плуга. Использование фрезерных орудий не всегда оправдано. Для получения нужного качества обработки почвы нужно согласовывать тип рабочего органа с ее физическим состоянием.

17.02.2015

## Литература

1. Точицкий, А.А. Почвовлагодережающие технологии и средства механизации обработки легких почв в Республике Беларусь / А.А. Точицкий, Н.Д. Лепешкин, П.П. Костюков, Н.С. Козлов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2012. – Вып. 46. – С. 3–10.
2. Асаул, А.Н. Модернизация экономики на основе технологических инноваций / А.Н. Асаул, Б.М. Карпов, В.Б. Перевазкин. – СПб: АНО ИПЭВ, 2008. – 606 с.
3. Горячкин, В.П. Собрание сочинений / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – Т. 2. – 240 с.
4. Мацепуро, М.Е. О коэффициенте полезного действия сельскохозяйственных машин и орудий / М.Е. Мацепуро, В.В. Кацыгин // Вопросы земледельческой механики. – Минск: АСХН БССР, 1960. – Т. 5. – С. 5–85.
5. Кацыгин, В.В. К вопросу изучения технологического коэффициента полезного действия плугов // Вопросы земледельческой механики. – Минск: Ураджай, 1964. – Т. XIII. – С. 2–15.
6. Вильямс, В.Р. Собрание сочинений / В.Р. Вильямс. – М.: Гос. изд-во сельскохозяйственной лит., 1949. – Том III: Земледелие. – 468 с.
7. Гедройц, К.К. К вопросу о почвенной структуре и сельскохозяйственном ее значении / К.К. Гедройц // Известия Гос. ин-та опытной агрономии. – 1920. – № 3. – Т. 4. – С. 117–127.
8. Вершинин, П.В. Почвенная структура и условия ее формирования / П.В. Вершинин. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1958. – 186 с.
9. Медведев, В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана) / В.В. Медведев. – Харьков: Изд-во «13 типография», 2008. – 406 с.
10. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
11. Панов, И.М. Крошение почвы плугом с комбинированными плужными корпусами / И.М. Панов, В.А. Шмонин // Тракторы и сельхозмашины. – 1970. – № 2. – С. 18–20.
12. Смильский, В.В. Фрактальная параметризация гранулометрического состава почв Беларуси / В.В. Смильский, А.В. Сидорчук // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. – Минск, 2010. – Т. 1. – С. 44–49.
13. Инкин, Л.А. Эффективность фрезерной и других приемов обработки черноземной почвы под озимую пшеницу после непаровых предшественников / Л.А. Инкин // Теоретические вопросы обработки почв. – Л., 1978. – Вып. 4. – С. 42–54.