

## Выводы

1. Технологии и технические средства обработки почвы и посева должны быть адаптивными для различных почвенно-климатических зон Республики Беларусь.

2. На легких супесчаных, подстилаемых песками, песчаных и торфяных почвах южной зоны Гомельской и Брестской областей должны применяться почво- влаго- и ресурсосберегающие технологии обработки почвы, основанные на неглубоких (до 12 см) мульчирующих обработках и безотвальных глубоких (до 25 см) рыхлениях почвы под пропашные культуры.

3. Для технологий обработки легких почв должны быть завершены разработка и освоение в производстве модификации агрегата почвообрабатывающего многофункционального АПП-6А.

4. Для защиты почв склоновых земель от эрозии необходимо широко применять почвозащитные севообороты и специальные агротехнические приемы обработки почвы и посева: глубокие (40–45 см) рыхление и щелевание, бесплужные мульчирующие обработки верхнего слоя почвы, стерневой посев зерновых культур, азотные подкормки многолетних трав с аэрацией дернины, прямой посев трав.

5. Для качественного выполнения почвозащитных технологий обработки почвы и посева на склоновых землях необходимо ускорить разработку недостающей техники:

- универсального блочно-модульного рыхлителя-щелевателя;
- модификации агрегата почвообрабатывающего дискового АПД-6 с игольчатыми дисками;
- сеялки зернотукотравяной шириной захвата 6 м.

6. Для повышения плодородия тяжелых почв необходимы изыскания специальных технологий и технических средств обработки почвы и посева.

05.06.2014

УДК 631.435: 621.98

**В.В. Смильский**

*(Тернопольский национальный педагогический университет им. Владимира Гнатюка, г. Тернополь, Украина)*

## **ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЧВЫ НА ИЗНАШИВАЕМОСТЬ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ОРУДИЙ**

### Введение

При взаимодействии с почвой рабочие органы почвообрабатывающих и посевных машин подвергаются интенсивному изнашиванию [1, 2, 3]. Сотни тонн металла, с трудом добытых из недр Земли, снова возвра-

щаются туда же, но уже в распыленном на громадной территории виде, и собрать их обратно нет никакой возможности. Кроме того, геометрические параметры рабочих органов изменяются так, что нарушаются агротехнические показатели их работы. Например, посев изношенными стрелчатými лапами сеялки-культиватора СЗС-2,1 приводит к снижению полевой всхожести семян яровой пшеницы до 10,2 %, а урожайность падает на 38...40 % по сравнению с посевом новыми лапами [4]. Исследования работы культиватора КЛБ-1,7 с трактором ТДТ-55 показали, что глубина обработки уменьшается по мере затупления лезвий дисков с коэффициентом вариации 12,4 % (допускается 10 %), а степень подрезания травы снижается на 28 % [5].

Многие исследователи работают над этой проблемой, но особых успехов пока не достигнуто. Лемех плуга, как наиболее изнашиваемая деталь, имеет среднюю наработку на отказ, в зависимости от вида почвы, в пределах от 5 до 20 га, а отвал – 10...40 га [1, 2, 6]. К настоящему времени в научной литературе накоплен богатый экспериментальный материал, свидетельствующий о попытках создать износостойкий рабочий орган. Многофакторность процесса и отсутствие его феноменологической модели создают трудности в разработке научно обоснованной методологии проектирования рабочих органов орудий с заданными эксплуатационными показателями: режущей способностью, износостойкостью. Результативный методологический подход к обобщению и формализации имеющейся базы накопленных знаний может быть реализован, если будет найден объективный показатель для оценки изнашивающей способности почв.

### **Основная часть**

Процесс взаимодействия рабочего органа сельскохозяйственного орудия с почвой представляет собой совокупность явлений, происходящих в определенных условиях давления и влажности. Все компоненты этого процесса, включающие металл, абразивную среду и внешние условия, взаимосвязаны, и каждый из них оказывает определенное влияние на конечный результат. Весьма важно найти оптимальное сочетание параметров этих факторов, обеспечивающих наименьший износ отдельных деталей и машины в целом.

Комплекс физико-механических явлений, происходящих на разных уровнях эксплуатации рабочих органов, в общем случае определяется тремя группами факторов: свойствами почвы, давлением на поверхность рабочего органа и скоростью его скольжения. Специальными исследованиями изнашиваемости стальных образцов выявлено, что в пределах 20–103 *кПа* интенсивность изнашивания пропорциональна давлению и составляет 8,92 *г/МПа* при скольжении со скоростью 1,4 *м/с* и 9,28 *г/МПа* – со скоростью 5 *м/с* [3].

Свойства почвенной среды определяют несколько факторов: гранулометрический состав, влажность, плотность, содержание гумуса. Влажность почвы влияет на износ рабочих органов через прочность сцепления частиц в агрегате. Изнашивающее свойство почвы главным образом определяется ее гранулометрическим составом. Этот факт доказали многие исследователи: М.М. Хрущов, В.М. Ткачев, М.М. Тененбаум, Б.Л. Орлов [1, 2, 7]. Из-за недостаточно обоснованной классификации почв по абразивности и отсутствия математического описания их гранулометрического состава это направление исследований не получило приемлемого решения. Важность учета влияния гранулометрического состава почвы доказывают зависимости [2, рис. 3 и 8], которые изображены в логарифмических координатах на рисунке 46.

На рисунке 46 видно, что после обработки 8 га площади тяжелосуглинистой почвы износ лап культиватора достигает 15 мм, а после среднесуглинистой – только 8 мм. Еще большая разница в износе лемехов плугов. На тяжелосуглинистой и песчаной почвах их износ в 3 раза превышает износ на глинистом черноземе. Такая разница достойна внимания конструкторов земледельческих орудий.

Гранулометрический состав почв влияет не только на интенсивность изнашивания, но и на его характер. Например, на тяжелых глинистых почвах лезвия лемехов плугов принимают овальную форму, а на песчаных и супесчаных они изнашиваются по толщине и по ширине, но лезвие сохраняет свою остроту [2]. Поэтому задача получения оптимального состава износостойкого сплава имеет бесконечно большое число решений, каждое из которых справедливо только для исследуемой детали в конкретной изнашивающей среде. К настоящему времени в отечественной и зарубежной научной литературе накоплен богатый экспериментальный материал по износостойкости сталей, но

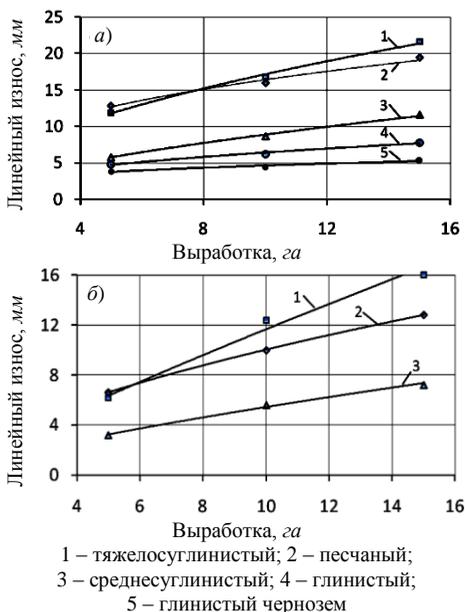


Рисунок 46 – Зависимость изнашивания лап культиватора (а) и лемехов плуга (б) от выработки на почвах разного механического состава

попытки создать износостойкий рабочий орган без учета всех параметров условий изнашивания в лучшем случае дают частное решение, пригодное только для одной конкретной детали. Это обстоятельство является причиной больших расхождений в оценке износостойкости практически одинаковых по составу и свойствам материалов, исследованных независимыми авторами, применительно к разным деталям. Для обобщения имеющейся информации и для производства режущих деталей почвообрабатывающих машин, соответствующих различным типам почв, необходимо в первую очередь выявить изнашивающую способность почв. Это возможно сделать на основе нового методологического подхода к созданию модели процесса изнашивания по схеме: *изнашивающая среда – условия работы – конструкция и материал рабочего органа*.

В настоящей работе мы поставили задачу исследовать зависимость между износостойкостью материала рабочего органа и структурным составом почвы, а также найти показатель измельчения почвы, который мог бы служить критерием для оценки ее абразивных свойств.

### Результаты исследований

Почвы состоят из минеральных частиц различных размеров и формы, которые все вместе именуется гранулометрическим составом. Сейчас гранулометрический состав почв оценивается по классификации Н.А. Качинского, в которой доминирующим принято содержание глинистых фракций. Такая классификация пригодна для оценки агрономического качества почв, но является несовершенной для оценки ее абразивных свойств.

Предлагаемый метод аналитического выражения результатов гранулометрического анализа почв основан на методологии фрактальной геометрии и заключается в модификации исходного распределения фракций к виду, позволяющему его аппроксимацию степенной функцией. Для демонстрации предлагаемого метода в [7] заимствованы результаты исследований, которые приведены в таблице 9. Символом  $j$  обозначена интенсивность износа, а символом  $K_j$  – коэффициент изнашивающей способности.

Фрактальным называется множество элементов, которые в некотором отношении подобны целому, а их количество пропорционально размеру в степени, являющейся константой для данного множества. Такое распределение называется фракталом, а его фрактальная размерность  $D$  равна [9]:

$$D = \frac{\ln N(d)}{\ln d}, \quad (1)$$

где  $D$  – фрактальная размерность множества элементов;

$N$  – количество элементов множества;

$d$  – характерный размер элемента.

Таблица 9 – Результаты исследований изнашивающей способности почв

№ п/п	Тип почвы	Содержание фракций размером $d$ , мм				$j$ , мг/с	$K_j$	Фракталь- ные коэф- фициенты	
		3–10	0,05– 1,0	0,05– 0,01	0,01– 0,001			$G_o$	$D$
I	Граница песчаной и легкой супеси	–	0,86	0,04	0,10	4,80	2,12	0,800	1,03
		0,10	0,76	0,04	0,10	5,55	2,45	0,195	1,31
		–	0,70	0,20	0,10	4,63	2,05	0,610	1,08
		0,10	0,60	0,20	0,10	5,41	2,39	0,180	1,32
II	Граница легкой и тяжелой супеси	–	0,80	0,05	0,15	4,10	1,81	0,720	1,05
		0,10	0,70	0,05	0,15	5,00	2,21	0,190	1,30
		–	0,53	0,32	0,15	3,85	1,70	0,412	1,14
		0,10	0,43	0,32	0,15	4,68	2,07	0,160	1,33
III	Граница тяжелой супеси и легкого суглинка	–	0,70	0,10	0,20	3,40	1,50	0,590	1,08
		0,10	0,60	0,10	0,20	4,53	2,00	0,180	1,31
		–	0,50	0,30	0,20	3,12	1,38	0,380	1,15
		0,10	0,40	0,30	0,20	4,11	1,82	0,153	1,33
IV	Граница легкого и среднего суглинка	–	0,51	0,19	0,30	2,26	1,00	0,380	1,15
		0,10	0,41	0,19	0,30	3,67	1,62	0,153	1,32
		–	0,15	0,55	0,30	1,83	0,81	0,072	1,43
		0,10	0,05	0,55	0,30	3,23	1,43	0,153	1,33
VI	Граница среднего и тяжелого суглинка	–	0,38	0,22	0,40	1,58	0,70	0,250	1,21
		0,10	0,28	0,22	0,40	3,35	1,48	0,130	1,33
		–	0,11	0,49	0,40	1,15	0,51	0,046	1,50
		0,10	0,01	0,49	0,40	2,82	1,25	0,080	1,39
VII	Граница тяжелого суглинка и глинистой	–	0,28	0,22	0,50	1,28	0,57	0,160	1,27
		0,10	0,18	0,22	0,50	3,28	1,45	0,116	1,33
		–	0,08	0,42	0,50	0,95	0,42	0,030	1,56
		0,10	–	0,40	0,50	2,71	1,20	0,074	1,39
VIII	Граница глинистой и тяжело- глинистой	–	0,19	0,21	0,60	1,24	0,55	0,090	1,35
		0,10	0,09	0,21	0,60	3,28	1,43	0,097	1,34
		–	0,06	0,34	0,60	0,98	0,41	0,062	1,62
		0,10	–	0,30	0,60	2,66	1,18	0,073	1,38
IX	Граница тяже- логлинистой и сверхтяже- логлинистой	–	0,10	0,20	0,70	1,13	0,50	0,036	1,49
		0,10	–	0,20	0,70	3,16	1,40	0,072	1,36
		–	0,03	0,27	0,70	0,84	0,37	0,007	1,77
		0,10	–	0,20	0,70	2,60	1,15	0,072	1,36

*Примечание* – I, II, III, IV... – группа почв по гранулометрическому составу;  
1, 2, 3, 4 – вариации гранулометрического состава в пределах группы.

Числовое значение фрактальной размерности  $D$  показывает, как быстро множество элементов занимает пространство. Чтобы определить числовое значение  $D$ , нужно сосчитать количество частиц  $N$  в каждой размерной фракции, что сделать достаточно сложно, поэтому  $N$  заменим

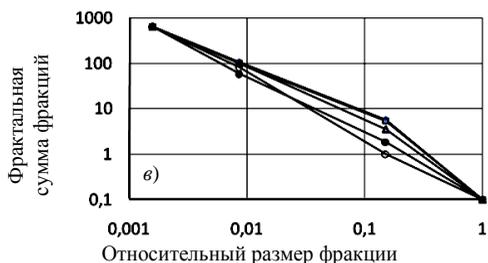
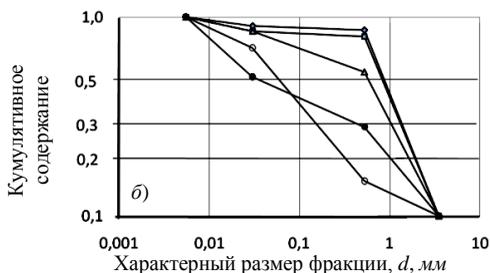
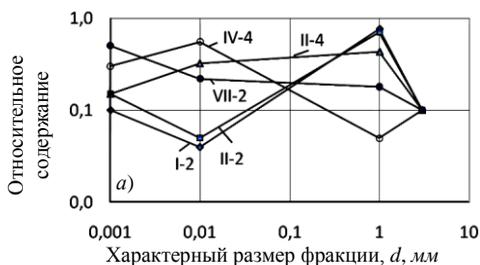
относительным весовым содержанием  $G$ , а уравнение (1) представим в виде:

$$G = f(d)^D, \quad (2)$$

где  $G$  – относительное содержание фракции;

$d$  – характерный размер частиц отдельной фракции, мм.

Для примера на рисунке 47а изображены полигоны частотного распределения элементов для пяти составов исследуемых композиций [7]. Нумерация кривых на рисунке 47а соответствует нумерации композиции в таблице 9. Характер кривых показывает, что эти распределения уникальны и не могут быть выражены стандартными вероятностными функциями. Процедура обработки данных состоит в следующем:



**Рисунок 47 – Графическое представление гранулометрического состава композиций абразивных частиц для исследований изнашиваемости стальных образцов**

1. Из относительных весовых частей фракций  $G$  составляем кумулятивную сумму  $G_k$ , начиная от наибольшего размера фракции к наименьшему. Результат изображен на рисунке 47б.

2. Далее каждое значение  $G_k$  делим на соответствующий ему характерный размер фракции  $d$  и получаем новую функцию  $G_k/d$ .

$$G_k/d = G_o \cdot (d)^D, \quad (3)$$

где  $G_o$  – эмпирический коэффициент.

Зависимость (3) для тех же композиций изображена в логарифмических координатах на рисунке 47в. Теперь графики могут быть аппроксимированы степенной функцией с коэффициентами, приведенными в графе 9 и 10 таблицы 9. Точность аппроксимации оценивается коэффициентом

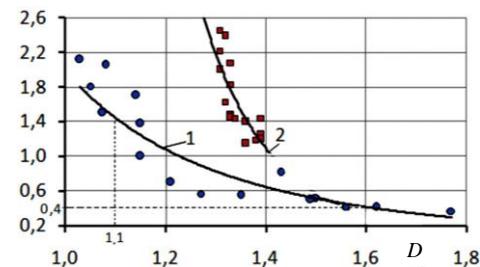
том детерминации  $R^2$ , значения которого находятся в пределах 0,98...0,99.

Коэффициенты  $G_o$  и функции (3) имеют конкретный физический смысл:  $G_o$  отражает относительное содержание фракции наибольшего размера, а фрактальная размерность  $D$  – степень измельчения почвы.

Сейчас гранулометрический состав композиции представлен одним числом  $D$ , что позволяет построить зависимость коэффициента изнашивания от степени измельчения почвы  $K_j = f(D)$  (рисунок 48).

Для анализа динамики процесса изнашивания удобнее пользоваться не абсолютными значениями аргумента и функции, а их относительными приращениями. Например, в экономических исследованиях предпочитают использовать показатель эластичности функции, который

представляет собой предел отношения приращения функции к относительному приращению аргумента. Для степенной функции эластичность равна показателю степени и демонстрирует, насколько возрастет значение функции, если аргумент увеличится на 1 % [10]. Используя этот показатель, оценим влияние дисперсности почвы на износ стали. Первая кривая графика описывается уравнением  $K_j = 1,99 D^{-3,35}$  с точностью  $R^2 = 0,86$ , а вторая – уравнением  $K_j = 25,34 D^{-9,34}$ ,  $R^2 = 0,66$ . Отсюда следует, что интенсивность изнашивания более трех раз превышает прирост показателя измельчения изнашивающего материала. Большая крутизна второй кривой объясняется наличием в композиции частиц размером более 3 мм, которые вызывают интенсивный износ.



1 – в составе композиции отсутствуют фракции частиц размером  $\leq 1$  мм; 2 – в составе композиции присутствуют фракции частиц размером 3–10 мм

**Рисунок 48 – Влияние дисперсности почвы на коэффициент изнашивания стальных образцов**

### Заключение

Гранулометрический состав почв среди прочих факторов имеет наибольшее влияние на износ рабочих органов сельскохозяйственных орудий.

Предложенный фрактальный показатель  $D$  измельчения почвы позволяет уверенно идентифицировать почвы по гранулометрическому составу и может быть использован в расчетах рабочих органов на износостойкость.

26.05.2014

## Литература

1. Орлов, Б.Л. Долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин / Б.Л. Орлов, В.Л. Евграфов, Е.Я. Орлов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 3. – С. 27–29.
2. Ткачев, В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания / В.Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1995. – 336 с.
3. Короткевич, В.А. Влияние удельного давления и скорости скольжения на износ образцов в почве / В.А. Короткевич // Труды ЦНИИМЭСХ. – Минск, 1966. – Т. IV. – С. 256–260.
4. Беляев, В.И. Влияние параметров износа рабочих органов сеялки-культиватора на качество посева и урожайность яровой пшеницы / В.И. Беляев, Н.Т. Кривочуров, А.С. Шайхудинов, В.В. Иванайский // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 7 (57). – С. 50–53.
5. Быков, В.Ф. Изнашивающая способность почв и износ дисков / В.Ф. Быков, М.И. Малютин // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития». – Брянск: БГИТА, 2008. – Ч. 2. – С. 7–10.
6. Новиков, В.С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / В.С. Новиков; ФГОУ ВПО МГАУ. – М., 2009. – 39 с.
7. Износ деталей сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев [и др.]. – М.: Колос, 1972. – 239 с.
8. Михальченко, А.М. Способы армирования лемехов для почв с различной изнашивающей способностью / А.М. Михальченко, С.И. Будко, И.В. Козарез, П.А. Паршиков // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 1. – С. 46–49.
9. Федер, Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
10. Кротов, В.Г. Применения математического анализа в экономике (лекционные записки) / В.Г. Кротов. – Минск, 2010. – 36 с.

УДК 631.356:635.132(476)

**И.А. Барановский,**

**В.В. Голдыбан**

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

## **ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА РЫХЛЕНИЯ ГРУНТА ПОДКАПЫВАЮЩИМИ СИММЕТРИЧНЫМИ ЛАПАМИ**

### **Введение**

Перспективным направлением совершенствования конструкции машин для уборки столовых корнеплодов методом тербления является замена пассивных подкапывающих лемехов активными (вибрационными) симметричными лапами. С этой целью нами предложен подкапывающий орган, представляющий собой две лапы с полувинтовой рабочей