

УДК-624.138.2.678.063

Пащенко В.Ф.¹*д.т.н., профессор***Довжик М.Я.**²*к.т.н., декан инженерно-технологического факультета***E-mail:** *dovgukt@yandex.ru***Домашенко В.В.**²*аспирант***E-mail:** *vladimir-domashenko@ukr.net*¹ *Харьковский национальный технический университет им. П.Василенка
Харьков, Украина*² *Сумский национальный аграрный университет
Сумы, Украина*

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЛИНА С ПОЧВОЙ ПРИ ПОСЛОЙНОЙ ЕЁ РЫХЛЕНИИ

Аннотация

В статье рассмотрено взаимодействие клина при послойном рыхлении почвы. Установлена зависимость длины склоного пласта почвы от угла резания и глубины хода клина при различных глубинах обработки почвы, а также зависимость скорости движения поверхностного сыпучего слоя относительно подрезаемого пласта почвы от скорости движения клина при послойном рыхлении почвы.

Исследовано зависимость качественных энергетических показателей послойного рыхления почвы культиваторными лапами с различными углами крошения. Одним из перспективных направлений в снижении энергоёмкости обработки почвы является уменьшение тягового сопротивления сельскохозяйственных машин и орудий. Существенное влияние на взаимодействие рабочих органов с почвой оказывает совершенство их параметров, которое является одним из основных факторов, влияющих на качество и энергоёмкость обработки почвы.

Показатели качества и энергоёмкости работы почвообрабатывающих машин и орудий необходимо рассматривать во взаимосвязи. Поэтому целесообразно определять параметры технологического процесса, обладающего хорошими показателями качества обработки при минимальных показателях энергоёмкости самого процесса.

Ключевые слова: *почва; взаимодействие; клин; рыхление; культиваторные лапы; угол крошения.*

Введение. В настоящее время тракторные агрегаты при выполнении технологических операций обработки почвы расходуют до 35 % затрат энергии от общих затрат на выращивание сельскохозяйственных культур. При этом до 84 % энергии уходит на выполнение процессов, происходящих в самих машинах, и лишь незначительная часть энергии затрачивается непосредственно на осуществление технологических операций.

Экономия энергетических затрат на производство продукции растениеводства может достигаться уменьшением количества проходов агрегатов по полю. Данный подход уменьшает также степень уплотнения почвы и затраты на последующее её разуплотнение. Уменьшение количества проходов агрегатов по полю обеспечивается увеличением ширины захвата агрегатов и сокращением числа выполняемых технологических операций.

В связи с этим теоретические и экспериментальные исследования процесса взаимодействия с почвой пассивных рабочих органов в условиях послойной обработки почвы являются особо актуальными и позволят определить его рациональные параметры.

Анализ последних исследований и публикаций. Результаты экспериментальных исследований, проведенные Т.М. Гологурским, В.П. Горячкиным и др. свидетельствовали, что при крошении пласта основным видом деформации почвы является сдвиг. Исследования данной проблемы В.В. Бородинским и В.Г. Кирюхиным установили, что суглинистые и глинистые почвы под воздействием клина разрушаются путем отрыва.

В работах Г.Н. Синеокова отмечалось, крошение пласта на песчаных и супесчаных почвах происходит путем сдвига. Воздействие клина на сыпучие почвы приводит к сжатию пласта, а затем по достижению предельного состояния, наблюдается сдвиг пласта. Следовательно, отделение частиц почвы от монолита сдвигом или отрывом возникает в зависимости от вида почвы и ее состояния. Обработка почвы, которая имеет связную структуру, приводит к отделению пласта почвы от монолита путем отрыва, а в почвах с более сыпучей структурой - путем сдвига.

В.П. Горячкин, изучая процессы деформации почвы под воздействием клина, отмечал, что при работе почвообрабатывающих машин получение частиц почвы нужного размера и строения является одним из главных [2].

Целью исследований было снижение себестоимости продукции растениеводства путем уменьшения затрат энергии на обработку почвы.

Методология исследований. Деформация почвы под воздействием клина зависит от величины угла резания и свойств почвы. При обработке почв, обладающих малой связностью, деформация почвы впереди клина складывается из двух периодически повторяющихся фаз (рис. 1): уплотнения клином почвы и мгновенного возникновения в почве впереди лезвия клина плоскости сдвига, образующей угол с дном борозды.

При внедрении в почву лезвия клина (рис. 1) впереди него возникает трещина, которая по мере продвижения клина удлиняется и, все более искривляясь, достигает поверхности поля в точке A_1 . Одновременно с этим происходит расширение трещины, так как элемент $ОАА_1$ приподнимаемый клином, вращается вокруг точки A . Начинается отрыв крупного элемента стружки и возникает трещина $О_2A_2$, форма которой подобна форме кривой $О A_1$.

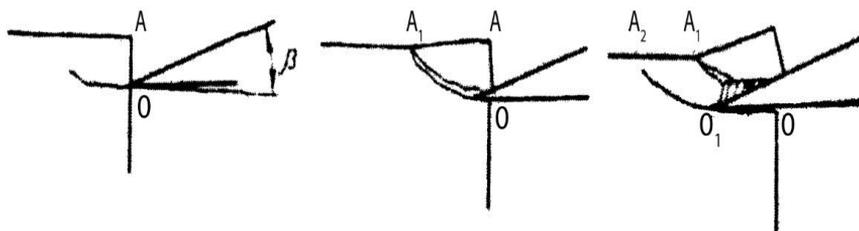


Рис. 1. Схема образования стружки отрыва

Таким образом, характер деформации почвы под воздействием клина зависит от величины угла резания и свойств почвы. Связные почвы деформируются путем отрыва пласта почвы от основной массы. Увеличение угла резания более $32...35^\circ$ на связных почвах способствует смене процесса разрушения почвы путем сдвига, что способствует увеличению затрат энергии на крошение пласта почвы.

На рисунке 2 показана схема действия составляющих равнодействующей силы воздействия поверхностного слоя почвы на нижний, подрезаемый клином слой почвы. Сыпучий поверхностный слой почвы под воздействием нижнего слоя уплотняется, что способствует снижению скорости движения его относительно клина и повышению его уровня. С учетом непрерывности движения сыпучего слоя, получим:

$$h_b = h_{cb} \frac{V}{\dot{x}}, \quad (1)$$

где h_b - толщина верхнего сыпучего слоя над подрезанным нижнем слое почвы;
 h_{cb} - толщина сыпучего ранее подрезанного слоя почвы;
 V - скорость движения клина;
 \dot{x} - скорость движения клина относительно поверхностного сыпучего слоя почвы.

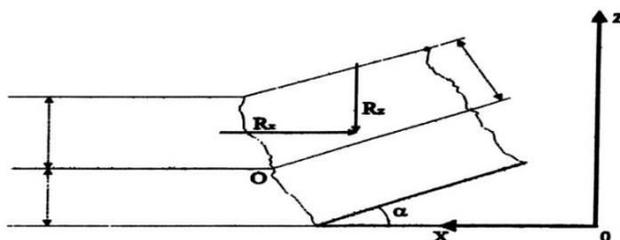


Рис. 2. Схема действия равнодействующих сил поверхностного слоя почвы на подрезаемый пласт почвы

Составляющие равнодействующей силы воздействия поверхностного слоя на нижний, подрезаемый, слой почвы находим на основании использования теории предельного состояния сыпучей среды.

$$R_z = L \sin \alpha \frac{1 - \sin 4b \cos 2a}{1 - \sin 4} - (ctg \alpha + tg \varphi) \times \left[\frac{\gamma_b \cdot h_b}{2} + C_w \cdot ctg 4_b \left(1 - \frac{1 - \sin 4}{1 - \sin 4_b \cos 2\alpha} \right) \right] \quad (2)$$

$$R_x = L \sin \alpha \frac{1 - \sin 4b \cos 2a}{1 - \sin 4} (1 + ctg \alpha + tg 4) \times \left[\frac{\gamma_b \cdot h}{2} + C_w \cdot ctg 4_b \left(1 - \frac{1 - \sin 4}{1 - \sin 4_b \cos 2\alpha} \right) \right] \quad (3)$$

где φ (4) - угол трения почвы о металл;

φ_b - угол трения почвы по почве;

γ_b - объёмная масса сыпучей почвы;

C_w - коэффициент сцепления почвы.

Формулы для определения проекций равнодействующей силы справедливы только для определения усилий для образования тела скольжения в сыпучей среде.

С учетом сил инерции, действующих на тело скольжения, уравнение динамики движения поверхностного пласта почвы по почвенному клину запишутся:

$$\ddot{x} - \frac{A_4 A_5}{\dot{x}} - A_7 \dot{x} - A_2 A_5 = 0, \quad (4)$$

$$\ddot{z} - \frac{A_4 A_6}{\dot{x}} - A_8 \dot{x} - A_2 A_6 = 0, \quad (5)$$

где

$$A_1 = \frac{1 - \sin 4_b \cos 2\alpha}{1 - \sin 4} L \sin \alpha,$$

$$A_2 = C_w \operatorname{ctg} \varphi_b \left(1 - \frac{1 - \sin^4 \alpha}{1 - \sin^4 \beta \cos 2\alpha} \right),$$

$$A_3 = \frac{h_{cb} \gamma_b V \sin \psi}{q \sin(\alpha + \psi)},$$

$$A_4 = \frac{\gamma_b h_{cb} A_1}{2m},$$

$$A_5 = \frac{(1 + \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} 4) A_1}{m},$$

$$A_6 = \frac{(\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg} 4) A_1}{m},$$

$$A_7 = \frac{\cos \psi A_3}{m},$$

$$A_8 = \frac{\sin \psi A_3}{m},$$

где ψ - угол сдвига пласта поверхностного слоя почвы.

Решение дифференциального уравнения (4) имеет вид.

При условии

$$\frac{A_4 A_5}{A_7} - \frac{(A_4 A_5)^2}{4A_7^2} \triangleright 0$$

$$\frac{1}{A_7} \ln |A_7 \dot{x}^2 + A_2 A_5 \dot{x} + A_4 A_5| - \frac{A_2 A_5}{A_7 \sqrt{\frac{A_4 A_5}{A_7} - \frac{(A_2 A_5)^2}{4A_7^2}}} \times$$

$$\times \operatorname{arctg} \frac{\dot{x} + \frac{A_2 A_5}{2A_7}}{\sqrt{\frac{A_4 A_5}{A_7} - \frac{(A_2 A_5)^2}{4A_7^2}}} = 0 \quad (6)$$

При условии

$$\frac{A_4 A_5}{A_7} - \frac{(A_2 A_5)^2}{4A_7^2} \triangleleft 0$$

$$\frac{1}{A_7} [\ln |A_7 \dot{x}^2 + A_2 A_5 \dot{x} + A_4 A_5|] - \frac{A_2 A_5}{2A_7 \sqrt{\frac{(A_2 A_5)^2}{4A_7^2} - \frac{A_4 A_5}{A_7}}} \times$$

$$\times \left[\ln \left| \frac{\dot{x} + \frac{A_2 A_5}{2A_7} - \sqrt{\frac{(A_2 A_5)^2}{4A_7^2} - \frac{A_4 A_5}{A_7}}}{\dot{x} + \frac{A_2 A_5}{2A_7} + \sqrt{\frac{(A_2 A_5)^2}{4A_7^2} - \frac{A_4 A_5}{A_7}}} \right| - \ln \left| \frac{\frac{A_2 A_5}{2A_7} - \sqrt{\frac{(A_2 A_5)^2}{4A_7^2} - \frac{A_4 A_5}{A_7}}}{\frac{A_2 A_5}{2A_7} + \sqrt{\frac{(A_2 A_5)^2}{4A_7^2} - \frac{A_4 A_5}{A_7}}} \right| \right] = 0, \quad (7)$$

Время прохождения пласта по клину и его масса определяется:

$$t = \frac{L \cos \alpha}{\dot{x}}, \quad (8)$$

$$m = \frac{\gamma_b h_{cb} V L}{\dot{x}}, \quad (9)$$

При условии, что на нижний слой почвы, подрезаемый клином, действует сыпучий верхний слой, и полагая, что проекции равнодействующей силы приложения близка к

центру масс запишется:

$$\sum M_0 = N \frac{2h}{\cos \alpha} + F_j L_j + G L_g + F L_f - R L_r + \frac{1}{2} R_x L \cos \alpha + \frac{1}{2} R_x h_{cb} = 0, \quad (10)$$

$$\sum F_x = -F_j \cos \beta - G + R \cos \alpha - F \sin \alpha - N \cos \psi - R_x = 0, \quad (11)$$

Решение системы из уравнений (10) и (11) позволило найти значение равнодействующей силы воздействия клина на подрезаемый пласт почвы:

$$R = \frac{N \frac{2h}{\cos \alpha} + L_j [F_j - G \cos(\psi + \alpha + \beta_1)] + R_x \frac{L}{2} \cos \alpha + \frac{1}{2} R_x h_{cb}}{\left[\frac{2}{5} L + h \operatorname{ctg}(\alpha + \psi) \right] - fh}, \quad (12)$$

Подставив выражение (12) в (11) получим:

$$F_j \cos(\psi + \alpha + \beta_1) - G + \frac{N \frac{2h}{\cos \alpha} + L_j [F_j - G \cos(\psi + \alpha + \beta_1)] + R_x \frac{L}{2} \cos \alpha + \frac{1}{2} R_x h_{cb}}{\left[\frac{2}{5} L + h \operatorname{ctg}(\alpha + \psi) \right] - fh} \times (\cos \alpha - f \sin \alpha) - [G]_{\text{паст}} b \cdot h, \quad (13)$$

Горизонтальная составляющая силы воздействия пласта почвы на клин определяется по уравнению:

$$R_x = R \sin(\alpha + \varphi), \quad (14)$$

Решая систему трансцендентных уравнений (6) или (7) и (13) находим значения относительной скорости движения сыпучего слоя \dot{x} и длину сколотого пласта L . По уравнению (14) определяем значение проекций на ось OX равнодействующих сил воздействия пласта на клин.

Решение системы проводим при $\varphi_b = 30^\circ$; $\gamma_b = 900 \text{ кг/м}^3$; $C_w = 3000 \text{ Н/м}^2$;

Степень влияния угла на сопротивление клина определяется глубиной обработки почвы. С увеличением глубины хода клина степень влияния повышается. При глубине хода клина 0,2 м увеличение угла до 18° не приводит к увеличению сопротивления клина.

На рисунке 3 приведены зависимости горизонтальной составляющей силы отрыва пласта почвы от глубины её обработки при различных углах крошения.

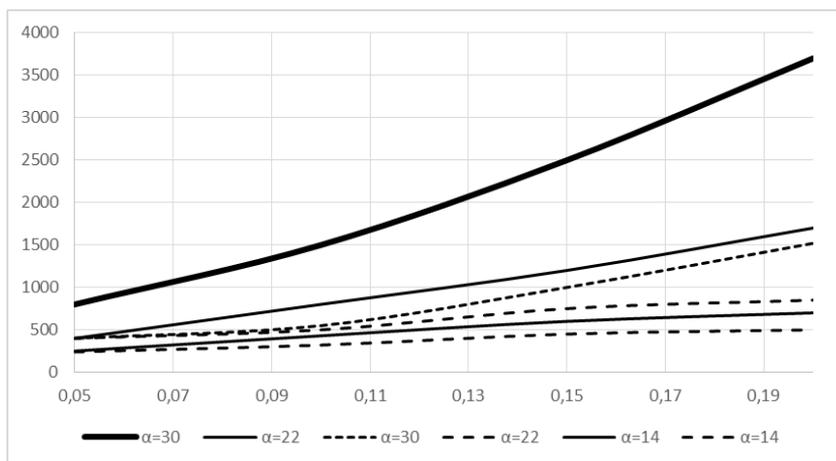


Рис. 3. Зависимость горизонтальной составляющей силы отрыва пласта почвы от глубины обработки почвы клином при различных углах крошения

Из рисунка видно, что послойная обработка почвы способствует увеличению энергетических затрат на отрыв пласта. Это объясняется тем, что при послойной обработке почвы дополнительные затраты энергии возникают в процессе взаимодействия

нижнего подрезаемого и поверхностного сыпучего слоев почвы. Разница в затратах энергии весьма существенно определяется углом крошения пласта почвы. Так, для угла крошения 14° разница в энергетических затратах на отрыв пласта составляет от 33 до 95 % в зависимости от глубины хода клина. Для угла 22° разница в энергетических затратах по отношению отличия при угле 14° возрастает в 1,5-2,0 раза, а величина угла 30° - в 4-7 раз. Следовательно, для послойного рыхления почвы, целесообразно использовать плоскорежущие лапы с малыми углами крошения. При этом общие затраты энергии на отрыв пласта от основной массы почвы будут превосходить соответствующие затраты при обработке почвы за один проход рабочего органа в наименьшей степени.

На основании данных построена зависимость горизонтальной составляющей силы на отрыв пласта от глубины обработки при различных значениях угла крошения клина при условии распределения лап друг над другом, при котором исключено взаимодействие верхнего и нижнего слоев почвы (рис. 4).

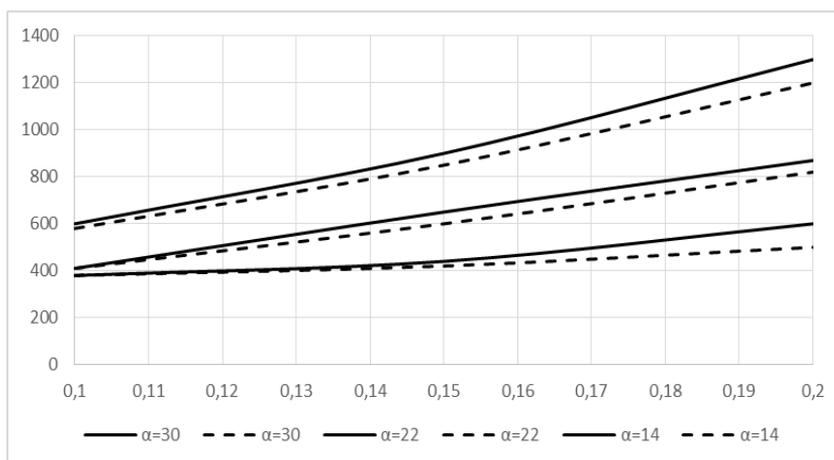


Рис. 4. Зависимость горизонтальной составляющей силы на отрыв пласта почвы от глубины обработки почвы клином при различных углах крошения

Из рисунка видно, что при таком расположении лап послойная обработка позволяет снизить затраты энергии примерно на 7 %. Причем эта разница в затратах энергии практически не зависит от угла крошения. Такое послойное рыхление существенно способствует уменьшению длины сколотого пласта почвы.

Результаты. Изучался процесс послойной обработки почвы и определялись при этом качественные показатели работы плоскорежущей лапы в полевых условиях. Использовался при этом агрегат, который состоял из трактора «МТЗ-1221» и культиватора-плоскореза КПШ-5. Полевой эксперимент по определению качества разуплотнения почвы проводился при скорости движения агрегата равной 1,2 м/с. Компоновка агрегата позволила за один проход агрегата обработать уплотненные участки колёсами трактора послойно и традиционным способом. Влажность почвы при проведении опыта составляла 25 %. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Дисперсионный анализ таблицы показывает что, взаимодействия вариантов опыта с полученным структурным составом существенны с 99 % вероятности и значимы с 95 % вероятностью.

Таблица 1. Качественные показатели работы агрегата при разуплотнении почвы по следам колёс трактора

Условия обработки	Структура почвы, %						Коэффициент структурности, $K_{стр}$	Максимальный размер комков, мм
	≥ 30	30	20	10	1	$0,25 \leq$		
Контрольный участок (без уплотнения)	64,94	11,09	5,81	16,90	1,06	0,21	0,31	80
	60,17	13,40	7,18	18,54	0,60	0,12	0,36	75
	63,28	10,77	6,49	17,78	1,57	0,10	0,35	75
Среднее	62,80	11,75	6,49	17,74	1,08	0,14	0,34	76,67
Традиционное рыхление уплотнённого участка	88,74	4,77	2,10	3,72	0,57	0,10	0,07	90
	90,83	3,30	2,15	3,39	0,25	0,08	0,06	100
	84,81	8,48	3,32	3,32	0,07	0,00	0,07	105
Среднее	88,13	5,52	2,52	3,48	0,30	0,06	0,07	98,33
Послойное рыхление уплотнённого участка	36,69	14,30	15,55	30,47	2,74	0,25	0,95	65
	44,4	13,51	12,74	27,03	1,93	0,39	0,72	30
	30,49	14,23	14,23	35,52	8,13	0,41	1,26	20
Среднее	37,19	14,01	14,17	31,01	4,27	0,35	0,98	38,33

Анализ данных таблицы показывает, что коэффициент структурности разуплотнённой почвы при традиционной культивации составляет 0,07 в среднем по участку. Тогда как коэффициент структурности почвы, обработанной послойно равняется 0,34, что говорит о улучшении качества крошения почти в 5 раз. Максимальный размер комков на участке, обработанном традиционно составляет 105 мм, тогда как максимальный размер комков на участке, обработанном послойно не превышает 80 мм, что на 24 % меньше. На контроле коэффициент структурности почвы составлял в среднем 0,98, что более чем 10 раз выше показателей качества обработки почвы по следам колёс трактора серийной плоскорезушей лапой и менее чем в три раза в сравнении с послойной обработкой почвы.

Выводы и перспективы. Анализ коэффициентов регрессии показывает, что наиболее сильное влияние на коэффициент структурности почвы оказывает глубина обработки и в меньшей степени - угол крошения ножа и влажность почвы.

Отрицательное значение коэффициентов регрессии свидетельствует о том, что с увеличением влажности почвы в выбранных пределах и глубины обработки почвы качество крошения почвы ухудшается.

Положительное значение коэффициента регрессии свидетельствует об улучшении качества крошения с возрастанием угла крошения в выбранных пределах его варьирования.

Сравнение результатов теоретических исследований и полученных экспериментальных данных показало, что направление влияния таких факторов как влажность почвы, угол крошения и глубины обработки совпадают.

Анализ данных показывает, что увеличение глубины обработки почвы с 6 до 16 см способствует уменьшению коэффициента структурности почвы на 60 % и повышению на 54 % удельного сопротивления плоскореза. Послойная обработка почвы на глубину 16 см в сравнении с контролем обеспечивает повышение коэффициента структурности более чем в 3 раза, а тяговое сопротивление при этом увеличивается на 52 %.

С целью улучшения качества крошения почвы в используемых технологиях растениеводства при возделывании зерновых проводят 2-3 обработки. При выполнении

обработки почвы на заданную глубину за 2 прохода суммарный расход топлива составляет 7 кг/га, тогда как при послойной обработке расход топлива при равной глубине обработки и качестве крошения меньше на 19 %. Уменьшение расхода топлива при послойной обработке почвы при равных показателях качества крошения свидетельствует о целесообразности её применения за один проход агрегата.

Список использованных источников

1. Василенко П. М., Бабий П. Т. Культиваторы. Киев : Изд-во Укр. акад. с.-х. наук, 1961. 239 с.
2. Горячкин В. П. Собрание сочинений. Т.2. 2-е изд. Москва : Колос, 1968. 455 с.
3. Гуков Я.С. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку гранту в умовах України : автореф. дис. док. техн. наук. Глеваха, 1998. 33 с.
4. Адамчук В.В., Петриченко Е.А. Теорія руху причіпного комбінованого агрегату. *Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка*. 2015. Вип. 163 С. 195-212.
5. Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Н. Плотность сложения почвы (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харьков, 2004. 243 с.
6. Медведев В.В., Назарова Д.И., Нестеренко А.Ф., Михновская А.Д., Щербак И.Е. Влияние плоскорезной обработки почвы на плодородие южных черноземов. *Защита почв от эрозии*. Киев, 1981. С. 62-71.
7. Пащенко В.Ф. Моделирование взаимодействия с почвой рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий : монография. Харьков, 1994. 134 с.
8. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями. Днепропетровск, 1999. 139 с.
9. Хоменко М.С., Зырянов В.А., Гуков Я.С. Показатели послойной плоскорезной обработки почвы на повышенных скоростях движения. *Трактора и сельхозмашины*. 1976. № 10. С. 25-27.
10. Шенявский А.Л. Минимальная обработка почвы и ее эффективность. Аналитический обзор. Москва : ВИНТИСХ, 1971. 69 с.

Пащенко В.Ф.¹

д.т.н., професор

Довжик М.Я.²

к.т.н., декан інженерно-технологічного факультету

E-mail: dovgukm@yandex.ru

Домашенко В.В.²

аспірант

E-mail: vladimir-domashenko@ukr.net

¹*Харківський національний технічний університет ім. П.Василенка*

Харків, Україна

²*Сумський національний аграрний університет*

Суми, Україна

ОПИС ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ КЛИНА З ГРУНТОМ ПРИ ПОШАРОВОМУ РОЗПУШУВАННІ

Анотація

У статті розглянуто взаємодію клина при пошаровому розпушуванні ґрунту. Встановлено залежність довжини сколотого пласта ґрунту від кута різання і глибини ходу клина при різних глибинах обробітку ґрунту, а також залежність швидкості руху поверхневого сипучого шару щодо справляються із підрізанням пласта ґрунту від швидкості руху клина при пошаровому розпушуванні ґрунту.

Досліджено залежність якісних енергетичних показників пошарового розпушування ґрунту

культиваторними лапами з різними кутами крошення. Одним з перспективних напрямків в зниженні енергоємності обробітку ґрунту є зменшення тягового опору с.-г. машин і знарядь. Істотний вплив на взаємодію робочих органів з ґрунтом надає досконалість їх параметрів, яке є одним з основних факторів, що впливають на якість і енергоємність обробки ґрунту.

Показники якості та енергоємності роботи ґрунтообробних машин і знарядь необхідно розглядати у взаємозв'язку, тому доцільно визначати параметри технологічного процесу, що володіє хорошими показниками якості обробки при мінімальних показниках енергоємності самого процесу.

Ключові слова: ґрунт; взаємодія; клин; розпушування, культиваторні лапи, кут кришення.

Дата надходження статті до редакції :12.10.2017
1 рецензування 11.11.2017 Прийняття в друк: 14.12.2017

Pashchenko V.F.¹

Dr.Sc. (Technics), Professor

Dovzhyk M. Ya.²

PhD (Technics), Dean of Engineering and technological Department

Doroshenko V.V.²

PhD student

¹*Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture
Kharkiv, Ukraine*

²*Sumy National Agrarian University
Sumy, Ukraine*

PROCESS OF INTERWORKING RELATIONSHIP BETWEEN KEYBAR AND SOIL IN TERMS OF MULTISTAGE PLOWING

Abstract

The author examines the interaction between keybar and soil in terms of multistage plowing. The dependence of the split off soil layer length on the cutting angle and keybar running depth in terms of various depths of tillage is considered in the study. The author inquiries into the dependence of the speed of the surface running soil layer according to split off soil on the keybar speed in terms of multistage plowing.

The dependence of the quality energy indicators of multistage plowing on the various types of soil pulverization by cultivator tooth is examined in the paper. The decreasing traction resistance of agricultural machinery and tools is considered to be one of the most promising areas in reducing the tillage energy density. Parameter efficiency significantly influences on the quality and power consumption of tillage. The indicators of quality and energy intensity of tillage machines and tools should be analyzed in interaction. The study demonstrated that it is desirable to determine the parameters of technological process that contains excellent indicators of tillage quality in terms of low energy density indicators.

Keywords: soil; interaction; plowing; tillage; keybar; traction resistance.

References

1. Vasilenko, P. M., & Babij, P. T. (1961). *Kul'tivatory* [Cultivators]. Kyiv : Izd-vo Ukr. akad. s.-h. nauk. [in Russ.]
2. Gorjachkin, V. P. (1968). *Sobranie sochinenij. T.2. 2-e izd.* [Collection of works. p.2. 2-nd edition]. Moskow : Kolos, [in Russ.]
3. Gukov, Ja.S. (1998). *Mehaniko-tehnologichne obruntuvannja energozberigajuchih zasobiv dlja mehanizacii obrobittku ґранту v umovah Ukraїni : avtofef. dis . dok. tehn. Nauk* [Mechanic-technological justification of energy-saving means for mechanization of grant processing in the conditions of Ukraine]. Glevaha. [in Ukr.]
4. Adamchuk, V.V., & Petrichenko, E.A. (2015). *Teorija ruhu prichipnogo kombinovanogo agregatu* [The theory of motion of a trailed combine unit]. *Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu im. P. Vasilenka*, 163, 195-212.
5. Medvedev, V.V., Lyndina, T.E., & Laktionova, T.N. (2004). *Plotnost' slozhenija pochvy*

(*geneticheskij, jekologicheskij i agronomicheskij aspekty*) [Density of soil additions (genetic, ecological and agronomic aspects)]. Xarkiv [in Ukr.].

6. Medvedev, V.V., Nazarova, D.I., Nesterenko, A.F., Mihnovskaja, A.D., & Shherbak, I.E. (1981). Vlijanie ploskoreznoj obrabotki pochvy na plodorodie juzhnyh chernozemov [Influence of planar cutting of soil on the fertility of southern chernozem. Protection of soil from erosion]. *Zashhita pochv ot jerozii*. Kiev. 62-71. [in Russ.]

7. Pashhenko, V.F. (1994). *Modelirovanie vzaimodejstvija s pochvoj rabochih organov sel'skhozjajstvennyh mashin i orudij : monografija* [Modeling of the interaction with the soil of the working bodies of agricultural machines and implements: a monograph]. Xarkiv [in Russ.]

8. Panchenko, A.N. (1999). *Teorija izmel'chenija pochv pochvoobrabatyvajushhimi orudijami* [Theory of grinding of soils with soil tillage implements]. Dnepropetrovsk. [in Russ.]

9. Homenko, M.S., Zyrjanov, V.A., & Gukov, Ja.S. (1976). Pokazateli poslojnoj ploskoreznoj obrabotki pochvy na povyshennyh skorostjah dvizhenija [Indicators of flat-bed planing at high speeds]. *Traktora i sel'hoz mashiny*, 10, 25-27. [in Russ.]

10. Shenjavskij, A.L. (1971). *Minimal'naja obrabotka pochvy i ee jeffektivnost'. Analiticheskij obzor* [Minimal soil cultivation and its effectiveness. Analytical review]. Moskow : VINTISH. [in Russ.]

Received: October 12, 2017

Revision: November 11, 2017 Accepted: December 14, 2017