



Չայքեջ՝ [anau.am /hy/teghkagir](http://anau.am/hy/teghkagir)

УДК: 631.316

О ПРИРОДЕ ИЗНОСА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЛУЖНЫХ ОТВАЛОВ

А.П. Тарвердян

Национальный аграрный университет Армении

tarverdyan@anau.am

СВЕДЕНИЯ

Ключевые слова:

отвал плуга,
почва,
трение,
износ,
локальное место,
упрочнение

АННОТАЦИЯ

Разработана теория расчета для установления закономерностей изменения величин износа и трения при взаимодействии рабочих поверхностей плугов с бороздами различных почвотипов. Спроектированы полуинтовой отвал с плужным кузовом и математическая модель относительной траектории движения пласта по поверхности канавокопателя с обязательным обеспечением нарезки границы канавы.

Предлагаемая модель позволяет определить вертикальную координату и верхний предел величины внешнего угла трения почвы, где трение и износ достигают максимальной степени.

Введение

Рассматриваемый нами вопрос о трении и износе почвообрабатывающих рабочих органов относится к проблеме “Трение и износ”, основоположником изучения которой, по многочисленным литературным источникам (Крагельский, 1968), является Дж.С. Максвелл (Maxwell, 1878). В частности, по мнению И.В. Крагельского, Дж.С. Максвелл (Maxwell, 1878) “глубоко и детально изучил вопрос о контакте между двумя телами и условности этого понятия в зависимости от характера рассматриваемого явления”.

В области проблемы “Трение и износ”, по вопросу о сухом трении, особо отмечаются заслуги проф. А. К. Зайцева (Зайцев, 1948) Н. И. Колчиным (Колчин, 1954), Дж. Ланкастера (Lancaster, 1962), В. Хурста.

К сожалению, вопрос износа почвообрабатывающих

рабочих органов сложной геометрической формы при их взаимодействии с почвенной средой не был рассмотрен ни в одном из литературных источников, ни в какой форме. Попытки использовать близкие к задачам материалы, опубликованные в журнале “Трение и износ” за последние 10 лет, не дали положительных результатов, поскольку они относятся к изучению влияния смазывающих материалов на уменьшение износа.

Решение проблемы “Трение и износ” сложных поверхностей при взаимодействии с рыхлой массой на сегодняшний день является актуальной задачей земледельческой механики.

Данная работа является попыткой установления физико-технологической сути и закономерностей трения и износа при взаимодействии почвообрабатывающих

поверхностей с почвотипами и в некоторой степени может восполнить указанный пробел.

В работах И. В. Крагельского относительно трения и износа достаточно всесторонне и глубоко разработаны следующие задачи: характеристика процесса трения и износа; износ при трении, свойства пленки смазки и др. Эти работы при исследовании рассматриваемой задачи будут использованы в качестве методики.

Почвообрабатывающие машины с отвальными рабочими органами-корпусами классифицируются по двум типам: работающие в открытой борозде – пахотные плуги, и специальные, работающие в закрытой борозде – канавокопатели, виноградиковые плуги для укрытия виноградных лоз и др.

В основе проектирования отвальных поверхностей этих машин, естественно, лежат:

1. Технологические требования

- в одном случае, для пахотных плугов - это требуемый оборот пласта, с определенным углом наклона,
- в другом случае - образование канавы путем выноса пласта на поверхность поля и его оборот в сторону для образования дамбы.

2. Энергетические требования

- обеспечить минимальные энергетические затраты. Осуществить технологический процесс с минимальным тяговым усилием.

Нередки случаи, когда при проектировании рабочих поверхностей основное внимание уделяется обеспечению минимума тяговых сопротивлений, причем в обоих случаях используется методика проектирования рабочих поверхностей отвалов пахотных плугов, что нежелательно (Tarverdyan, Khanaghyan, 2016).

В отличие от отвальных пахотных плугов, к канавокопателям предъявляются специальные технологические требования: поливную воду от водозаборного сооружения до орошаемого поля следует доставлять без разрушения основных геометрических параметров канавы и дамбы, с минимальными потерями воды через боковые стенки канавы с обязательным обеспечением заданной пропускной нормы расхода поливной воды.

В технологических требованиях компонент уменьшения фильтрационной способности канавы учитывается не всегда.

В основе современных методик проектирования отвалов лежит требование обеспечения скользящего перемещения пласта по поверхности отвалов с минимальными энергозатратами (Tarverdyan, Khanaghyan, 2017).

Однако следует отметить, что рабочие поверхности плужных отвалов, предназначенных для работы на разных по свойствам и состоянию почвотипах, отличаются друг от друга закономерностью изменения угла γ по высоте отвала, составленной образующей линией со стенкой борозды и геометрической формой направляющей кривой. Они выбраны по результатам испытаний многовариантных конструкций экспериментальных отвалов, без теоретических основ.

Конечная цель проведенных исследований заключается в разработке основ проектирования рабочих поверхностей отвалов разных назначений, с учетом энерготехнологических требований, выраженных через кинематику относительного и абсолютного перемещения пласта под воздействием движущегося отвала в стадии проектирования почвообрабатывающих корпусов почвомашин.

Заметим, что из-за выбора параметров направляющей кривой и закономерности изменения угла γ по высоте отвала, по результатам продолжительных испытаний экспериментальных образцов и созданных на этой основе отвалов плугов, разные места рабочих поверхностей изнашиваются неравномерно: степень износа груди отвала всегда больше, что является результатом изменчивости сил трения по длине относительной траектории движения пласта.

Материалы и методы

В данной работе сделана попытка в некоторой степени восполнить указанный пробел, обеспечив плавное скольжение пласта по отвалу.

Поскольку в настоящее время отсутствуют соответствующие научно-обоснованные агрономические требования, рассматриваемую задачу решаем на разработанном нами канавокопателе с полувинтовым отвалом (Tarverdyan, Khanaghyan, 2016).

Условием скольжения пласта по поверхности отвала является:

$$\alpha_p \leq 90 - \phi, \quad (1)$$

где α_p - угол рыхления деформатора, который для трехгранного клина образуется касательной относительной траектории движения пласта с осью ОХ. Поскольку поверхность отвала криволинейная, то для решения данного вопроса воспользуемся дифференциальным трехгранным клином, для которого сумма углов рыхления α_p и нормали к поверхности клина α : $\alpha_p + \alpha = 90^\circ$ (рис. 1).

поверхностей с почвотипами и в некоторой степени может восполнить указанный пробел.

В работах И. В. Крагельского относительно трения и износа достаточно всесторонне и глубоко разработаны следующие задачи: характеристика процесса трения и износа; износ при трении, свойства пленки смазки и др. Эти работы при исследовании рассматриваемой задачи будут использованы в качестве методики.

Почвообрабатывающие машины с отвальными рабочими органами-корпусами классифицируются по двум типам: работающие в открытой борозде – пахотные плуги, и специальные, работающие в закрытой борозде – канавокопатели, виноградноковые плуги для укрытия виноградных лоз и др.

В основе проектирования отвальных поверхностей этих машин, естественно, лежат:

1. Технологические требования

- в одном случае, для пахотных плугов - это требуемый оборот пласта, с определенным углом наклона,
- в другом случае - образование канавы путем выноса пласта на поверхность поля и его оборот в сторону для образования дамбы.

2. Энергетические требования

- обеспечить минимальные энергетические затраты. Осуществить технологический процесс с минимальным тяговым усилием.

Нередки случаи, когда при проектировании рабочих поверхностей основное внимание уделяется обеспечению минимума тяговых сопротивлений, причем в обоих случаях используется методика проектирования рабочих поверхностей отвалов пахотных плугов, что нежелательно (Tarverdyan, Khanaghyan, 2016).

В отличие от отвальных пахотных плугов, к канавокопателям предъявляются специальные технологические требования: поливную воду от водозаборного сооружения до орошаемого поля следует доставлять без разрушения основных геометрических параметров канавы и дамбы, с минимальными потерями воды через боковые стенки канавы с обязательным обеспечением заданной пропускной нормы расхода поливной воды.

В технологических требованиях компонент уменьшения фильтрационной способности канавы учитывается не всегда.

В основе современных методик проектирования отвалов лежит требование обеспечения скользящего перемещения пласта по поверхности отвалов с минимальными энергозатратами (Tarverdyan, Khanaghyan, 2017).

Однако следует отметить, что рабочие поверхности плужных отвалов, предназначенных для работы на разных по свойствам и состоянию почвотипах, отличаются друг от друга закономерностью изменения угла γ по высоте отвала, составленной образующей линией со стенкой борозды и геометрической формой направляющей кривой. Они выбраны по результатам испытаний многовариантных конструкций экспериментальных отвалов, без теоретических основ.

Конечная цель проведенных исследований заключается в разработке основ проектирования рабочих поверхностей отвалов разных назначений, с учетом энерготехнологических требований, выраженных через кинематику относительного и абсолютного перемещения пласта под воздействием движущегося отвала в стадии проектирования почвообрабатывающих корпусов почвомашин.

Заметим, что из-за выбора параметров направляющей кривой и закономерности изменения угла γ по высоте отвала, по результатам продолжительных испытаний экспериментальных образцов и созданных на этой основе отвалов плугов, разные места рабочих поверхностей изнашиваются неравномерно: степень износа груди отвала всегда больше, что является результатом изменчивости сил трения по длине относительной траектории движения пласта.

Материалы и методы

В данной работе сделана попытка в некоторой степени восполнить указанный пробел, обеспечив плавное скольжение пласта по отвалу.

Поскольку в настоящее время отсутствуют соответствующие научно-обоснованные агрономические требования, рассматриваемую задачу решаем на разработанном нами канавокопателе с полувинтовым отвалом (Tarverdyan, Khanaghyan, 2016).

Условием скольжения пласта по поверхности отвала является:

$$\alpha_p \leq 90 - \phi, \quad (1)$$

где α_p - угол рыхления деформатора, который для трехгранного клина образуется касательной относительной траектории движения пласта с осью ОХ. Поскольку поверхность отвала криволинейная, то для решения данного вопроса воспользуемся дифференциальным трехгранным клином, для которого сумма углов рыхления α_p и нормали к поверхности клина α : $\alpha_p + \alpha = 90^\circ$ (рис. 1).

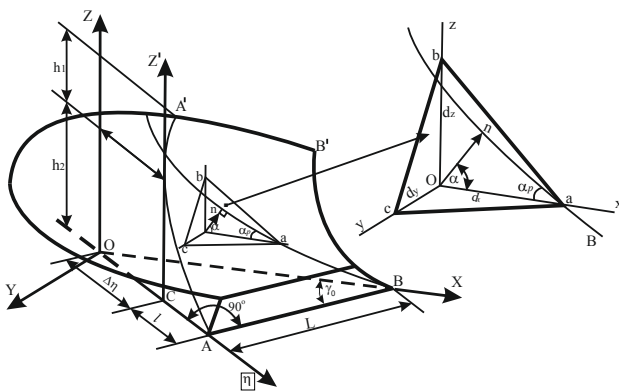


Рис. 1. Расчетная схема для установления закономерности изменения величины трения на поверхности отвала

Имеем: $\cos \alpha = \frac{f'_x}{\sqrt{f'^2_x + f'^2_y + f'^2_z}}$, тогда условие

скольжения пласта по поверхности дифференциального клина отвала выразится следующим уравнением: $\alpha = 90^\circ - \alpha_p$, или:

$$\cos \alpha = \frac{f'_x}{\sqrt{f'^2_x + f'^2_y + f'^2_z}} \leq \cos \phi, \quad (2)$$

где f'_x, f'_y, f'_z – частные производные функции поверхности отвала по x, y, z .

Исходным материалом для решения задачи является уравнение относительной траектории движения материальной массы (пласта) по поверхности отвала, предложенное В.П. Горячкиным (Goryachkin, 1949):

$$\frac{-dx}{f'^2_y + f'^2_z} = \frac{dy}{f'_x f'_y} = \frac{dz}{f'_x f'_z} \quad (3)$$

Уравнение поверхности отвала разработанного нами канавокопателя для нарезки канавы открытой оросительной сети имеет следующий вид (Tarverdyan, Khanaghyan, 2016):

$$Y \cos(aZ^2 + \ell) - X \sin(aZ^2 + \ell) - \left\{ (H - Z) \left[0,667 \frac{(H - Z)^2}{H^2} - 0,317 \right] + 18,9 \right\} \times \cos \left[\gamma_0 + aZ^2 + \ell \right] = 0 \quad (4)$$

где H – максимальная высота отвала $H=80$ см: $H=h_1+h_2$, $h_1=32$ см, $h_2=48$ см, γ_0 – угол, составленный

режущей кромкой лемеха с полевой доской $\gamma_0 = 35^\circ$; a – постоянный коэффициент угла γ , $a=0,00234$, $\ell = \text{Ltg } \gamma_0 - \Delta \eta = 35$ см (Tarverdyan, Khanaghyan, 2016).

Подставляя значения H, γ_0 и ℓ в уравнение (4) и произведя некоторые математические преобразования, получим уравнение поверхности отвала рассматриваемого канавокопателя в удобном для использования виде:

$$Y \cos(aZ^2 + 35) - X \sin(aZ^2 + 35) - \left[10^{-4}(H - Z)^3 - 0,317(H - Z) + 18,9 \right] \times \cos[aZ^2 + 70] = 0 \quad (5)$$

Для решения неравенства (2) технологической оценки поверхности отвала, определим частные производные поверхности (5) - f'_x, f'_y, f'_z :

$$\left. \begin{aligned} f'_y &= \cos(aZ^2 + 35), \\ f'_x &= -\sin(aZ^2 + 35), \\ f'_z &= -0,00468Z \left[Y \sin(0,00234Z^2 + 35) + X \cos(0,00234Z^2 + 35) \right] + \cos(0,00234Z^2 + 70) \cdot \left[3 \cdot 10^{-4}(80 - Z)^2 - 0,317 \right] + 0,00468Z \sin(0,00234Z^2 + 70) \times \left[10^{-4}(80 - Z)^3 - 0,317(H - Z) + 18,9 \right] \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

При анализе полученной системы уравнения очевидно, что для определения величины f'_z необходимо из третьего уравнения исключить две из трех неизвестных X, Y, Z . Поскольку величина Z – конструктивный параметр, $Z=80$ см, то необходимо установить зависимость неизвестных X и Y от координаты направляющей кривой $\eta(Z)$ (Крагельский, 1968):

$$\eta(Z) = -0,0067 \left\{ (H - Z) \left[1 - \frac{(H - Z)^2}{H^2} \right] \right\} + 0,35(H - Z) + 18,9$$

Упростив последнее уравнение, представим его в следующем виде:

$$\eta(Z) = 10^{-4}(H - Z)^3 - 0,317(H - Z) + 18,9 \quad (7)$$

Согласно (Tarverdyan, Khanaghyan, 2016) рис. 1, имеем:

$$\begin{aligned} X &= \eta(Z) \sin \gamma_0, \\ Y &= \eta(Z) \cos \gamma_0, \end{aligned}$$

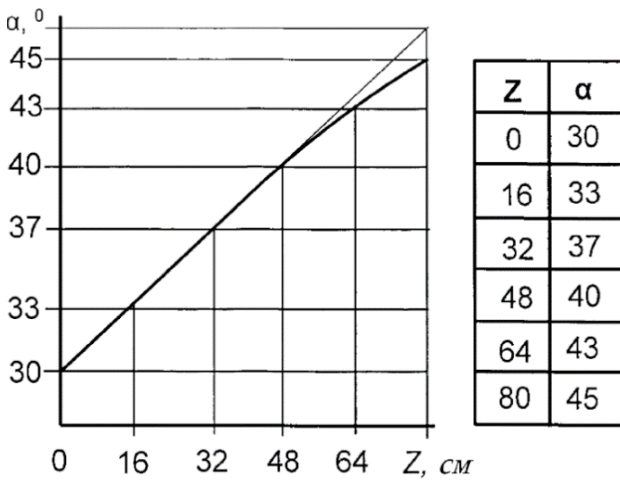


Рис. 2. График зависимости угла α от высоты Z отвала

тогда:

$$\begin{aligned} X &= [10^{-4}(H-Z)^3 - 0,317(H-Z) + 18,9] \sin \gamma_0, \\ Y &= [10^{-4}(H-Z)^3 - 0,317(H-Z) + 18,9] \cos \gamma_0 \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, при расчете f'_z в третьем уравнении системы (6), вместо x и y следует учесть (8).

Теперь, обращаясь к неравенству (2), вместо $f'^2_x + f'^2_y$, учтем величину $\sin^2(aZ^2 + 35) + \cos^2(aZ^2 + 35) = 1$

тогда окончательно получим:

$$\cos \alpha = \frac{-\sin(aZ^2 + 35)}{\sqrt{1 + f'^2_z}} \leq \cos \varphi. \quad (9)$$

Для построения кривой зависимости (9) $\alpha = \varphi(Z)$, задаваясь величинами $z=0-80$, получен следующий графический вид (рис. 2).

Анализ данных графика $\alpha = \varphi(Z)$ показывает, что разработанный канавокопатель может работать без залипания отвала при угле трения $\varphi < 30^\circ$, во всех почвотипах.

Результаты и анализ

Анализ данных рис. 2 показывает, что, действительно, лемехи подвергаются высоким значениям сил трения. Далее, на высоте поверхности отвала до $z=48$ см, до точки перегиба направляющей кривой, сила трения уменьшается. Однако в месте перегиба направляющей кривой, в результате возникновения центробежной

силы, процесс трения пласта об отвал протекает более интенсивно, поэтому максимальный износ отвала будет происходить именно в этих местах.

Согласно данным Г.Н. Синеокова, для всех почвотипов, супесчаных и среднесуглинистых, угол трения не выходит за пределы $26^\circ 30'$, а в случае тяжелых суглинистых и глинистых почв он колеблется в пределах $22^\circ - 42^\circ$.

Естественно, вспашку указанных тяжелых почв, согласно данным графика, следует проводить при низких влажностях $\varphi < 30^\circ$, тогда перемещение пласта по поверхности отвала будет происходить без залипания.

Таким образом, согласно разработанной теории, нам удалось в некоторой степени выяснить суть явления интенсивного износа отвала на груди и на лемехе и закономерности изменения силы трения по длине относительной траектории перемещения пласта по поверхности отвала.

В результате теоретических исследований нами установлена зависимость абсолютной траектории перемещения пласта под воздействием рабочей поверхности отвала: условие обеспечения перемещения пласта по поверхности отвала и на конкретном отвале определена закономерность изменения места возникновения максимальных усилий трения и вероятность износа отвала.

Для приближенной оценки достоверности представленной аналитической методики определения местонахождения участка поверхности сквозного протирания отвалов плуга, мы воспользовались результатами экспериментов, проведенных Г.Н. Синеоковым (Sineokov, Rapov, 1977).

В результате продолжительных экспериментов было установлено, что при вспашке песчаных почв сквозное протирание отвалов наступает после выработки 50-80 га, а на суглинистых почвах это происходит после вспашки одним корпусом 200-500 га.

Заключение

Анализ полученных результатов показывает, что материалы теории расчета достаточно верны, и что необходимо продолжить исследование процесса трения и износа на отвалах плужных корпусов.

Разработанная теория позволяет при заданных научно-обоснованных агротехнических требованиях вспашки (обработки почвы), выраженных уравнениями траектории перемещения пласта, получить оптимальную геометрическую форму рабочей поверхности корпуса плуга в стадии его проектирования, определить точное место возникновения максимальных сил трения и область сквозного протирания на груди отвала в процессе проектирования отвалов.

Изложенное позволит продлить общий срок службы отвалов, предусмотреть изготовление отвалов составными или принять другие способы, применяемые в области технологии машиностроения.

Литература

1. Крагельский И.В. Трение и износ. - М., 1968. - С. 467.
2. Maxwell, J.C. (1878). Proceeding of the institution of Great Britain, - vol. 7.
3. Зайцев А.К. Основы учения о трении, износе и смазке машин. - Ч. IV, М.-Л., 1948. - С. 279.
4. Колчин Н.И. Библиография трудов проф. А.К. Зайцева. В кн. «Трение и износ в машинах». - Сб. IX. - М., 1954. - С. 18-21.
5. Lancaster, J. K. (1962). The influence of the conditions of sliding on the wear of the electrographitic brushes. Brit. J. Appl. Phys., - № 9, - vol. 13, - pp. 468-477.
6. Hirst, W., Lancaster, J. K. (1956). Surface film formation and metallic wear. "J. appl. phys.". - No. 9, - vol. 27, - pp. 1057-1065.
7. Tarverdyan, A., Khanaghyan, H. (2016). Mathematical Model of Geometric Form of the Working Surface of the Shellboard of the Digger-Plough (report 2).- Bulletin of the National Agrarian University of Armenia, - №4, - pp. 69-74.
8. Tarverdyan, A., Khanaghyan, H. (2017). The Kinematics of the Movement of the Furrow Slice in Case of the Semi-Screw Shellboard of the Digger-Plough (report 3). - Bulletin of the National Agrarian University of Armenia, - № 1, - pp. 42-46.
9. Goryachkin, V. (1949). Collected Works (Equation of the Surface of the blade of "cylindroid" by profile testing instrument records), - Moscow, VII, - pp. 47-58.
10. Sineokov, G., Panov, J. (1977). Theory and calculation of tillers, - Moscow, - pp. 322 (in Russian).

АННОТАЦИЯ

Գուրանի խոփաթևերի բանող մակերեսի մաշվածության բնույթը

Մշակվել է հաշվարկի տեսություն՝ գուրանների բանող մակերեսների և տարբեր հողատիպերի ակոսիկների փոխազդեցության դեպքում շփման և մաշվածության մեծությունների փոփոխության օրինաչափությունները հաստատելու համար: Նախագծվել են գուրանի թափքով կիսափորիչ և ակոսի հատվածքի սահմանի պարտադիր ապահովմամբ խրամատային գուրանի մակերեսի վրայով հատվածքի հարաբերական շարժման հետագծի մաթեմատիկական մոդել:

Առաջարկվող մոդելը թույլ է տալիս որոշել հողում արտաքին շփման անկյան վերին վերջնակետը և ուղղահայաց կոորդինատը, որտեղ շփումն ու մաշվածությունը հասնում են առավելագույն աստիճանի:

ABSTRACT

The Nature of Working Surface Wear in the Moldboard

The calculation theory for establishing the regularities of the changes in the friction and wear values during the interaction of the working surfaces of plows and furrow slices of different soil types has been developed. The mathematical model of the relative slice movement trajectory along the surface of the recommended trenching plough with semi-digger plough body and obligatory provision of furrow slice slip has been designed. This enables to determine the upper limit of the external friction angle in the soil and the vertical coordinates, where friction and wear reach the maximum point. The exact limits of the optimal values in geometric parameters of the working surface have been established.

Принята: 30.01.2019 г.
Рецензирована: 11.02.2019 г.