

# Сельскохозяйственное направление

УДК 630\*432.

DOI 10.24412/2409-3203-2021-25-3-11

## СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

**Бердникова Лариса Николаевна**

к.с.-х.н. – доцент кафедры безопасности жизнедеятельности

ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ

Россия, г. Красноярск

**Аннотация:** Для благоприятного произрастания культурных растений в почве необходимо устранить влияние их диких предшественников. Для уничтожения диких растений производят вспашку с оборотом пласта на 180 градусов при полосной вспашке и при освоении целинных земель. Дернина без доступа солнца погибает и, кроме того, перекрывает своей поверхностью не паханую полосу при полосной вспашке. [1] Так при помощи пахоты новых земель осуществляется борьба с нежелательной растительностью. На старопахотных землях путем постоянного оборота пласта почвенный слой содержит во всех горизонтах семена сорняков. Необходимо достичь такого положения, чтобы после вспашки на поле не стало сорняков, поэтому смысл вспашки с оборотом пласта теряется на старопахотных почвах. Определение сил, действующих на отвал плуга при выполнении технологического процесса обработки лесных почв необходимо при расчётах почвообрабатывающих машин. [2]

Установлено, что при выполнении всех технологических операций по возделыванию и уборке с.-х. культур различные машины проходят по полю многократно, при этом на 10-20 % площади от 6 до 7 раз, на 65-80 % от 1 до 6 раз и только 10-15 % площади не подвергается воздействию ходовых аппаратов.

Измельчение почвенного слоя при работе должно производиться на частицы не меньше 1 мм<sup>3</sup>. Глубина уплотнения достигает 80 см и, кроме того, в результате многолетней обработки плугами образуется "плужная подошва", которая резко изменяет водно-воздушный режим почвы. На обработку уплотненной при обработке почвы затрачивается больше энергии. по следу гусеничных тракторов Тяговое сопротивление по следам техники возрастает на 25 – 60 % в зависимости от вида технических средств. Применение пахотных агрегатов с лемешноотвальными плугами является высокоэнергоёмким процессом, поэтому применяются трактора большой мощности и массы все более увеличивают уплотнение почвы. [3]

**Ключевые слова:** машины, уборка, обработка, трактор, почва, энергоёмкость, плуг.

## REDUCING THE ENERGY CONSUMPTION OF SOIL MACHINES AND TOOLS FOR BASIC TILLAGE

**Berdnikova Larisa Nikolaevna**

Ph. D.-Associate Professor of the Department of Life Safety

Krasnoyarsk State Agrarian University

Russia, Krasnoyarsk

**Annotation:** For the profitable growth of cultivated plants in the soil, it is necessary to reduce the influence of their wild predecessors. For the destruction of wild plants, plowing is carried out with a 180-degree rotation of the formation during strip plowing and during the

development of virgin lands. Sod without access to the sun dies and, in addition, overlaps with its surface not plowed strip during strip plowing.[1] Though, with the help of plowing new lands, the fight against unwanted vegetation is carried out. In the old-arable lands, the soil layer contains weed seeds in all horizons by constant rotation of the layer. It is necessary to achieve such a situation that after plowing there are no weeds in the field, so the meaning of plowing with a reservoir turnover is lost on old-arable soils. The determination of the power acting on the plow blade when performing the technological process of processing forest soils is necessary for the calculations of soil machines.[2]

It is established that when performing all technological operations for the cultivation and harvesting of agricultural crops, various machines pass through the field repeatedly, while on 10-20 % of the area from 6 to 7 times, on 65-80 % from 1 to 6 times, and only 10-15% of the area is not exposed to running vehicles.

Pulverization of the soil layer during operation should be carried out on particles not less than 1 mm<sup>3</sup>. The compaction depth reaches 80 cm and, in addition, as a result of long-term processing with plows, a "plow sole" is formed, which dramatically changes the water-air regime of the soil. More energy is spent on the treatment of compacted soil during cultivation. On the track of tracked tractors, the traction resistance on the tracks of equipment increases by 25-60 %, depending on the type of technical means. The use of arable aggregates with ploughshares is a highly energy-intensive process, so the use of tractors of high power and mass is increasingly increasing the compaction of the soil.[3]

**Keywords:** machines, cleaning, processing, tractor, soil, energy intensity, plow.

### Введение

Обработка почвы производится с целью борьбы с сорняками и увеличения суммарной поверхности частиц всего почвенного слоя. Чем больше поверхность слоя почвы, тем с большей поверхностью корневые волоски растений контактируют. Так описано В.П. Горячкиным о выводах, которые сделал проф. Митчерлих: «Богатство почвы определяется количеством в ней мелких частиц». Измельчение почвенного слоя должно на частицы не меньшие 1 мм<sup>3</sup>. В природе естественным образом создаётся в почве такое состояние, но если посадить или посеять в почву растения, то растения, растущие здесь до этого, не дадут развиваться культурным растениям.[4] Поэтому для произрастания культурных растений необходимо устранить влияния диких. Для уничтожения диких растений производят вспашку с оборотом пласта на 180 градусов при полосной вспашке и при освоении целинных земель. Дернина без доступа солнца погибает и, кроме того, перекрывает своей поверхностью не паханую полосу при полосной вспашке. Так при помощи пахоты новых земель осуществляется борьба с нежелательной растительностью. На старопахотных землях путем постоянного оборота пласта почвенный слой содержит во всех горизонтах семена сорняков. Многолетняя вспашка привела к тому, что в зоне Южного Урала в слое 0 – 10 см находилось 36% семян сорняков, в слое 10 -20 см – 36%, в слое 20 – 30 см 29 %. В момент уборки на 1 м<sup>2</sup> произрастало 77 видов сорняков, из них 9.1 % - корнеотпрысковых. Нет никакой уверенности, что вспахав поле, на нём не будет сорняков, поэтому смысл вспашки с оборотом пласта теряется на почвах старопахотных, но для заделки сидератов и другой органики, вспашка почвы с оборотом пласта пока единственно возможный метод.[5] Определение сил, действующих на отвал плуга при выполнении технологического процесса обработки лесных почв необходимо при расчётах почвообрабатывающих машин.

### Материалы и методы

Цель данной работы является:- разработка методики определения значений сил и их реакций, действующие на лемешноотвальную поверхность без учета сил резания,

Задачи исследований - создание алгоритма расчётов величин и направлений сил, действующих на отвал плуга при движении по нему почвенного пласта позволяет определить характер резания почвы плужным рабочим органом и деформации в ней,

установить расчётным путём относительные скорости движения пласта по отвальной поверхности и рассчитать характер деформации плоскости пласта в области стенки борозды по высоте, а также вычислить площадь сечения пласта в плоскости стенки борозды и установить место среза почвы полевым обрезом корпуса плуга.

Знание сил воздействия разрабатываемой среды на лемешноотвальную поверхность плужных рабочих органов позволяет повысить точность расчётов плугов, что позволит снизить их массу и повысить производительность.

#### Результаты исследования

При обработке корпусом плуга пласт подрезается снизу лемехом, отделяется от массива у стенки борозды, поднимается на грудь и сдвигается в сторону.[6] Определим силы, участвующие в этих процессах.

Примем допущения: пласт задернелый, поэтому цельный, одинаковой толщины  $a$  (глубина обработки), плужная поверхность цилиндрическая.

Центральный угол  $\alpha$ , охватывающий направляющую кривую равен  $90^\circ - \gamma + \Delta\gamma$ . Приращение центрального угла  $\Delta\gamma = 5 \dots 10^\circ$ .

Пласт, имеющий возможность разместится на лемешноотвальной поверхности, имеет длину  $L$ . до деформации равной длине дуги сектора с радиусом  $r - 0.5a$ . Так как по теории изгиба середина изгибающегося стержня не меняет свою длину. Длина дуги  $L$  по середине пласта вычисляется по формуле –

$$L = (r - 0.5) \cdot \alpha \quad (1)$$

Разделим пласт на  $n$  частей. Каждый элемент пласта будет иметь объём  $\Delta V$  и объёмная масса  $\Delta g$

$$\Delta V = \frac{abL}{n}, \quad \Delta g = \frac{abL\rho}{n} \quad (2)$$

Где  $a$  – глубина обработки почвы;  
 $b$  – ширина захвата корпуса плуга;  
 $\rho$  – объёмный масса почвы.

Сила тяжести каждого элемента  $G_i$

$$G_i = \Delta g g,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

Построим схему (рис.1) размещения элементов пласта на лемешноотвальной поверхности в плоскости расположения направляющей кривой (рис.1). Радиус  $r$  направляющей кривой рассчитываем по формуле расчета минимального радиуса направляющей кривой

$$r = \frac{b}{(0.5\pi - \gamma) \cos \Theta_0}, \quad (3)$$

где  $b$  – ширина захвата корпуса плуга;

$\gamma$  – угол между дном борозды и касательной проведенной к кривой в точке  $C$ .

$\Theta_0$  – угол постановки лезвия относительно стенки борозды.

По методике проф. Щучкина Н.В. произведём построение направляющей кривой. Из произвольной точки  $C$  которая будет являться точкой лезвия лемеха под углом  $\gamma$  ( $20^\circ \dots 30^\circ$ ) относительно вертикали проводим отрезок, равный  $r$ . Конец этого отрезка будет центром кривизны  $O$  направляющей кривой. Из этой точки  $O$ , относительно горизонтали, под углом  $\Delta\gamma$  ( $5^\circ \dots 10^\circ$ ) этим же радиусом проводим отрезок. Конец этого отрезка будет точка  $A$ . Соединяем точку  $C$  и  $A$  дугой. Эта дуга для цилиндрического плуга является

направляющей кривой и шаблоном. Разместим на этой кривой продольное сечение почвенного пласта, имеющего длину  $LL = (r - 0.5 a)\alpha$ ,

где  $a$  – глубина обработки почвы;

$\alpha$  – центральный угол;

$$\alpha = 90^\circ - \gamma + \Delta\gamma. \quad (4)$$

Разделим центральный угол на такое же число  $n$  секторов. По массе каждый сектор будет иметь силу тяжести  $G_i$ . Центр тяжести каждого элемента будет располагаться в точках пересечения биссектрисы центрального угла и срединной линии пласта. Центры тяжести в точках  $i_5, i_6, i_7$  и в точке  $i_8$  центр тяжести двух секторов.

Точку  $O$  соединим отрезками с точками центра сил тяжести  $i_5, i_6, i_7$  и  $i_8$ . По какой причине выбрана точка  $i_8$  центра тяжести двойных секторов будет рассмотрено ниже. Из точек центров сил тяжести опускаем вектора сил тяжести до места контакта их с лемешноотвальной поверхностью. Получим точки  $i_1, i_2, i_3, i_4$  концентрации сил. Обозначим эти вектора через  $G_1, G_2, G_3, G_4$ . Соединяем точки концентрации сил с точкой  $O$ . Получаем треугольники, в которых не известны углы  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ . Определим значения углов  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ . Эти углы определятся, если определим углы  $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}, \beta_{44}$ . По порядку определим  $\beta_{11}$ . Для этого из точки  $O$  опустим вертикаль до встречи с дном борозды в точке получим четырёх угольник  $O i_5 D d_1$ . Угол  $O d_1 D$  и угол  $i_5 D d_1$  прямоугольные. Угол  $i_5 O d_1$  равен сумме углов  $\gamma, \Delta\alpha$ . Угол  $\Delta\alpha$  равен половине угла  $\alpha/n$ . Угол  $d_1 O D$  равен углу  $\gamma$  по построению направляющей кривой. Таким образом, угол  $\beta_{11}$  находим из выражения

$$\beta_{11} = 180 - \Delta\alpha - \gamma.$$

Угол  $\beta_{22}$  находим таким же образом из четырёх угольника  $O d_2 i_6$ .

$$\beta_{22} = 180 - 3\Delta\alpha - \gamma.$$

Угол  $\beta_{33}$  находится из четырёхугольника  $O d_3 i_7$ .

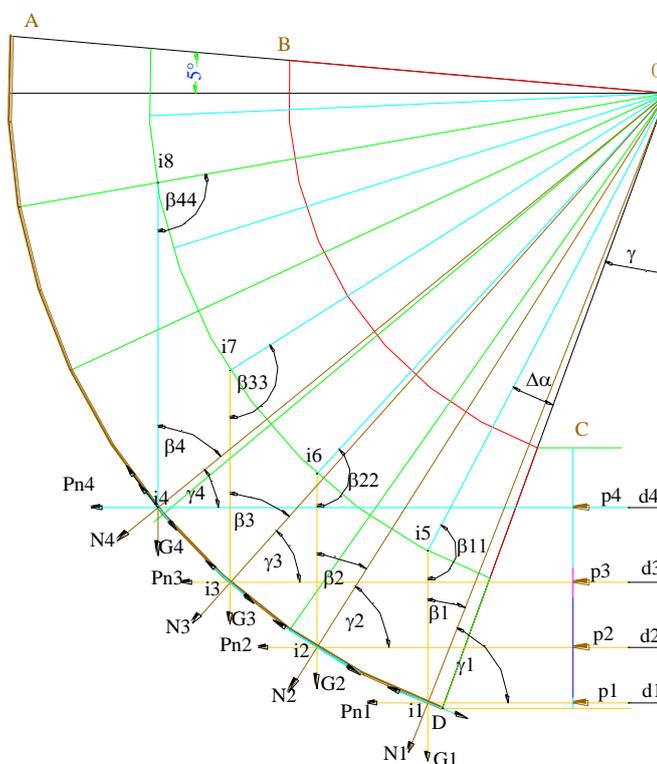


Рис. 1 Схема действия сил, действующих на элементы почвенного пласта и лемешноотвальную поверхность цилиндрического плуга в плоскости расположения направляющей кривой

$$\beta_{33} = 180 - 5\Delta\alpha - \gamma.$$

Угол  $\beta_{44}$  определим из четырёх угольника  $Od_4 i_4 8$ .

$$\beta_{44} = 180 - 8\Delta\alpha - \gamma.$$

Углы  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  найдем, используя соотношения сторон треугольников и синусов противоположных углов. Угол  $\beta_1$  найдем из треугольника  $Oi_1 i_5$ .

$$\frac{r - 0.5a}{\sin\beta_1} = \frac{r}{\sin\beta_{11}} \quad (5)$$

Из этой пропорции находим значение угла  $\beta_1$

$$\beta_1 = \arcsin \frac{(r - 0.5a)\sin\beta_{11}}{r} \quad (6)$$

Аналогично находим значения углов

$$\beta_2 = \arcsin \frac{(r - 0.5a)\sin\beta_{22}}{r} \quad (7)$$

$$\beta_3 = \arcsin \frac{(r - 0.5a)\sin\beta_{33}}{r} \quad (8)$$

$$\beta_4 = \arcsin \frac{(r - 0.5a)\sin\beta_{44}}{r} \quad (9)$$

Из точек  $i_5, i_6, i_7$  проводим горизонтали до встречи с вертикалью, опущенной из точки  $O$ . Получаем точки пересечения  $d_1, d_2, d_3$ . В этих точках сосредоточены силы напирания почвенного пласта на лемешноотвальную поверхность корпуса плуга. Датчики, установленные впереди движения корпуса плуга на разной высоте, показывали одинаковое давление почвенного пласта. Напирание почвенного пласта можно считать распределённой нагрузкой. Силы при распределённой нагрузке располагаются в центре тяжести распределённой нагрузки. Из точки  $D$ , точки на лезвии лемеха, проводим горизонталь до встречи с вертикальной линией опущенной из точки  $O$ . Расстояние по вертикали от места пересечения до точки  $d_1$  это половина расстояния, приходящегося на нагрузку  $p_1$ . Прибавим такое же расстояние от точки  $d_1$  выше по вертикали. Это будет вторая половина расстояния распределённой нагрузки  $p_1$ . Расстояние от распределённой нагрузки  $p_1$  до точки  $d_2$  будет половиной нагрузки  $p_2$ . Откладываем выше точки  $d_2$  эту нагрузку и получаем вторую половину распределённой нагрузки  $p_2$ . От нагрузки  $p_2$  выше по вертикали до точки  $d_3$  – половина распределённой нагрузки силы  $p_3$ . Снова проделываем такую же операцию и откладываем вторую длину распределённой нагрузки  $p_3$ . Если произвести такие же операции для сегмента 4 и 5, то пропорционально между ними и уже распределёнными нагрузками для секторов 3, 2, и 1 не произвести. Поэтому просто оставшаяся часть длины делится пополам и получается точка  $d_4$ , точка, где приложена сила  $p_4$ . От этой точки проводим горизонталь до встречи с лемешноотвальной поверхностью и получаем точку  $i_4$ . От точки  $i_4$  проводим вертикаль до пересечения с центром тяжести 4 и 5 сегмента. Получаем точку  $i_8$ . На уровне расположения точки  $i_4$  максимальное давление почвенного пласта.

Так как лемешноотвальная поверхность косо поставленный клин, силы  $p_1, p_2, p_3$  и  $p_4$  разлагаются на перпендикулярную  $P_n = P_i \sin\Theta$  относительно лезвия лемеха и силу сдвига пласта в сторону  $P_s = P_i \cos\Theta$ . Здесь  $\Theta$  угол постановки образующих цилиндрического плуга относительно стенки борозды. Таким образом, в плоскости перпендикулярной

лезвию лемеха действуют силы нормального давления  $P_n$  от напирания пласта и силы  $G$  тяжести пласта. Они разлагаются на силы расположенные по касательной к кривой и силы нормальные, расположенные по направлению радиуса, соединяющего точку приложения сил. Касательная сила  $G_i \cos \gamma_i$  это сила скатывания пласта. Ей препятствует сила трения  $G_i \cos \beta_i f$ , где  $f$  коэффициент трения. Сила  $P_n = P_i \sin \Theta$  так же разлагается на силу  $P_i \sin \Theta \sin \gamma_i$ , поднимающую пласт вверх по лемешноотвальной поверхности и ей препятствует сила трения  $P_i \sin \Theta \cos \gamma_i f$ . Силы, расположенные по радиусу кривизны  $N_i = P_i \sin \Theta \cos \gamma_i + G_i \cos \beta_i$  создают реакцию, направленную в противоположную сторону:

$$R_r = P_i \sin \Theta \cos \gamma_i f + G_i \cos \beta_i. \quad (10)$$

С учетом свойств сходящихся сил определяем проекции сил на координатные оси  $X$  и  $Y$  на примере точки  $i_4$ , в которой сконцентрированы перечисленные силы (рис.2).

В этой системе сходящихся сил в плоскости  $XY$  не известными силами являются элементы силы напирания на лемешноотвальную поверхность:  $P_1, P_2, P_3, P_4, p_5$ , и элементы от силы веса пласта  $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5$  так как современные плуги и технология обработки обуславливает большую глубину 0.2 ... 0.3 метра и отрезанный пласт лежит на лемешноотвальной поверхности.

Для четвертого узла -

$$P_4 \sin \Theta \cos^2 \gamma_4 + G_4 \cos \beta_4 \cos \gamma_4 f - G_4 \cos \beta_4 \cos \gamma_4 - P_4 \sin \Theta \cos \gamma_4^2 f = 0$$

Для третьего узла -

$$P_3 \sin \Theta \cos^2 \gamma_3 + G_3 \cos \beta_3 \cos \gamma_3 f - G_3 \cos \beta_3 \cos \gamma_3 - P_3 \sin \Theta \cos \gamma_3^2 f = 0$$

Для второго узла -

$$P_2 \sin \Theta \cos^2 \gamma_2 + G_2 \cos \beta_2 \cos \gamma_2 f - G_2 \cos \beta_2 \cos \gamma_2 - P_2 \sin \Theta \cos \gamma_2^2 f = 0$$

Для первого узла -

$$P_1 \sin \Theta \cos^2 \gamma_1 + G_1 \cos \beta_1 \cos \gamma_1 f - G_1 \cos \beta_1 \cos \gamma_1 - P_1 \sin \Theta \cos \gamma_1^2 f = 0$$

Составим уравнения проекций сил на координатную ось  $Y$ .

Для четвертого узла -

$$P_4 \sin \Theta \cos \gamma_4 \cos^2 \beta_4 + G_4 \cos \beta_4^2 f - G_4 \cos \beta_4^2 - P_4 \sin \Theta \cos \gamma_4 \cos \beta_4 f = 0$$

Для третьего узла -

$$P_3 \sin \Theta \cos \gamma_3 \cos^2 \beta_3 + G_3 \cos \beta_3^2 f - G_3 \cos \beta_3^2 - P_3 \sin \Theta \cos \gamma_3 \cos \beta_3 f = 0$$

Для второго узла -

$$P_2 \sin \Theta \cos \gamma_2 \cos^2 \beta_2 + G_2 \cos \beta_2^2 f - G_2 \cos \beta_2^2 - P_2 \sin \Theta \cos \gamma_2 \cos \beta_2 f = 0$$

Для первого узла -

$$P_1 \sin \Theta \cos \gamma_1 \cos^2 \beta_1 + G_1 \cos \beta_1^2 f - G_1 \cos \beta_1^2 - P_1 \sin \Theta \cos \gamma_1 \cos \beta_1 f = 0$$

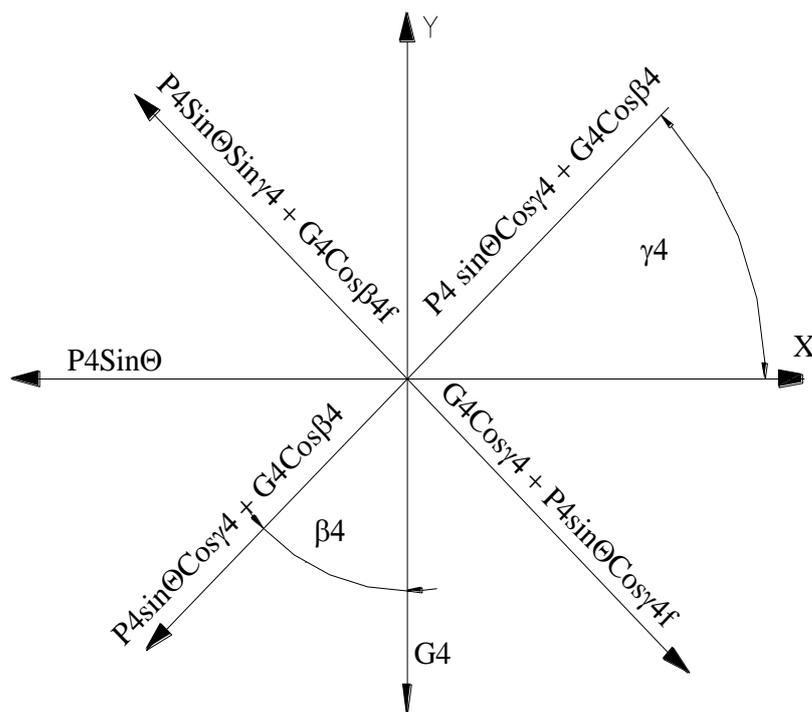


Рис. 2. Пример системы сходящихся сил в точке  $i_4$ .

Далее составим матрицу для решения этих уравнений и найдём неизвестные силы

В плоскости стенки борозды участвуют силы напирания почвенного пласта лежащего не только по фронту движения корпуса плуга, но и лежащие левее стенки борозды. Лемешноотвальная поверхность создаёт борозду, имеющую стенку борозды и дно. В начале, когда лемех начинает только врезаться, почва крошится на мелкие фрагменты потому, что площадь среза меньше предельной площади по прочности при срезе.[7] По данным предел прочности в среднем при растяжении  $\sigma_b$  0.5...0.6 Н/см<sup>2</sup>. Предел прочности почвы  $\tau$  при срезе 1.1 ... 1.2 Н/см<sup>2</sup>. При движении уже на полной глубине, если почва суглинистая влажная или задернелая поднимается вверх по поверхности отвала без трещин, пронизывающих пласт на полную глубину, без отделения от стенки в верхней части площади сечения. В результате этого часть лемешноотвальной поверхности как бы укрыта пластом. В этот момент абсолютная скорость  $V_{хабс}$  точек с лева и справа от стенки борозды равны.

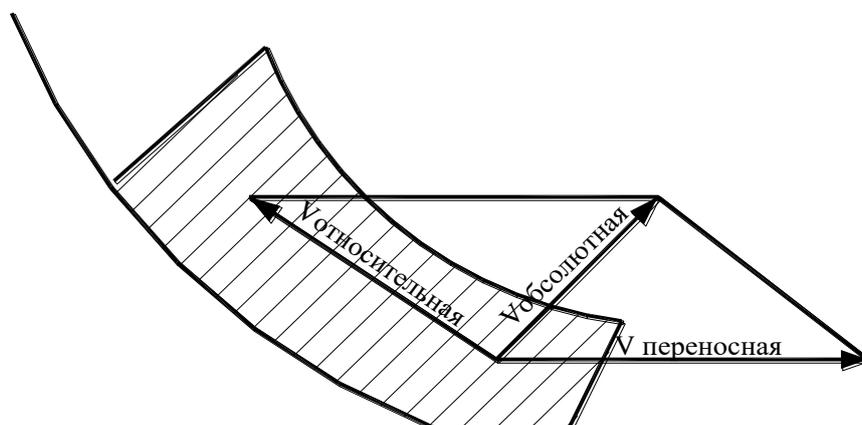


Рис.2 Скорости движения почвенного пласта при движении по лемешноотвальной поверхности:

$$V_{\text{абс}} = V_{\text{отн}} + V_{\text{пер}}, (11)$$

где  $V_{\text{отн}}$  – относительная скорость движения точек пласта. Скорость относительно дна борозды;

$V_{\text{пер}}$  – переносная скорость, скорость движения корпуса плуга.

Если относительная скорость для точек слева и справа различны пласт режется кромкой полевого обреза (рис.2) и одновременно растягивается (отрывается). При том, деформации плоскости пласта в области стенки по высоте различны. На самой поверхности преимущественно пласт отрывается.

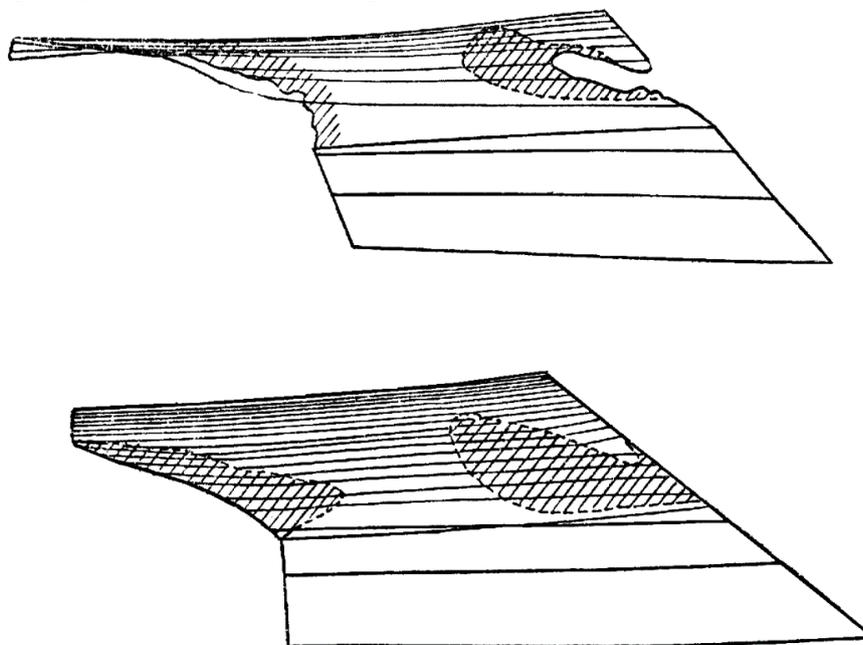


Рис.2. Следы износа на лемешноотвальной поверхности по материалам В.П. Горячкина.

По направлению образующих, в сторону от борозды действуют силы  $P_{\text{си}} = P_i \cos \Theta$ . В плоскости стенки борозды действует на пласт сила резания  $P_p$  и скалывания пласта на ту часть, которая не отделена ещё от стенки борозды

$$P_{p2} = \tau F_1, (12)$$

где  $F_1$  – площадь первоначального сдвига в поперечном сечении пласта.

После того, как лемех заглубился на полную глубину, пласт почвы снизу подрезан, а сверху ещё нет[6]. Далее, передвигаясь по лемешноотвальной поверхности, неподрезанная и не сколотая часть этого сечения пласта, попадает на кромку полевого обреза и начинает скалываться и подрезаться. Сечение не подрезанной части пласта уменьшается и когда достигнет предела прочности, пласт отрывается. В этот момент, возникает равенство сил на подрезание и отрыва пласта от стенки борозды.

$$F_3 \sigma = F_2 \tau, (13)$$

где  $F_2$  – площадь поперечного сечения пласта при уменьшении которой, пласт в дальнейшем разрывается;

$F_3$  – площадь которая перережется первоначально. Всю площадь сечения пласта в плоскости стенки борозды можно подразделить на сумму площадей

$$F = F_1 + F_2 + F_3, (14)$$

Определим эти площади. Площадь  $F_3$  определим из условия –

$$F_3 = P_{p1} / \tau (15)$$

Площадь  $F_1$  определим из условий прочности на растяжение -

$$F_1 = \sum_1^i Pi \cos \Theta / \sigma \quad (16)$$

Площадь F2 получим вычитанием площадей F1 и F3 из площади F.

Так как мы ранее определили силы P1, P2, P3, P4, то начиная от силы P4 мы, подставляя в формулу 1 определим значение.

### **Заключение**

Знание сил воздействия разрабатываемой среды на лемешноотвальную поверхность плужных рабочих органов позволяет повысить точность расчётов плугов, что позволит снизить их массу и повысить производительность.

Подставив средние значения пределов прочности, получим значение площади вырыва. В этих выражениях не известны силы и соответственно площади для видов деформации. Их можно определить только экспериментально, используя видеосъёмку и проводя анализ открытой борозды. Определив площади деформаций можно установить точно место среза почвы полевым обрезом.

### **Список литературы:**

1. Беленков, А.И. Земледелие / А.И. Беленков, Ю.Н. Плескачев, В.А. Николаев и др. - М.: ИНФРА-М, 2018. - 237с.
2. Влияние углубления почвы на урожайность сои при посеве различными агрегатами / В.В. Епифанцев, А.Н. Панасюк, Я.А. Осипов, Ю.А., Вайтехович // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020; 50(1). – С.13-22 doi.org/10.26898/0370-8799-2020-1-2
3. Агротехническая и энергетическая оценка ротационных почвообрабатывающих машин для теплиц / Панов А.И. // Вестник МГАУ, 2012, №5 (56), С. 21-23
4. Благополучная О.А., Девтерова Н.И. Нетрадиционные энергосберегающие способы обработки почв тяжелого механического состава в звене севооборота. Новые технологии. 2020;(1):124-130.
5. Благополучная О.А. Нетрадиционные энергосберегающие способы обработки почв тяжелого механического состава в звене севооборота / О.А. Благополучная, Н.И. Девтерова // Новые технологии. 2020;(1) – С.124-130. doi.org/10.24411/2072-0920-2020-10113
6. Мударисов С.Г. Моделирование процесса взаимодействия рабочих органов с почвой / С.Г. Мударисов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2015. - №7. - С.27-30.
7. FAO-ИТА, 2000: Manual on integrated soil management and conservation practices. FAO Land and Water Bulletin 8. FAO, Rome. ISBN 92-5-104417-1.
8. Машины и оборудование природообустройства и защиты окружающей среды: метод. указания по курсовому проектированию для студентов специальностей 17.11.00, 32.08.00 / М.И. Герасимов И.В. Кухар. – Красноярск. - СГТУ, 1999. - 48 с.
9. Лаврухин В.А. Обоснование коэффициента степени сжатия почвы при работе трехгранного клина / В.А. Лаврухин, В.Н. Ледяев // Исследования и реализация новых технологий и техн. средств в с.-х. пр.-ве. – Зерноград. - 2011. - с. 91-95.
10. Пикушов А.Н. Новый рабочий орган рыхлителя почвы / А.Н. Пикушов // Труды Кубанского государственного аграрного университета - 2012. - № 36.

