

ИНЖ. Г. Д. ТЕРСКОВ.

К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ ОТВАЛОВ АМЕРИКАНСКИХ ПЛУГОВ.

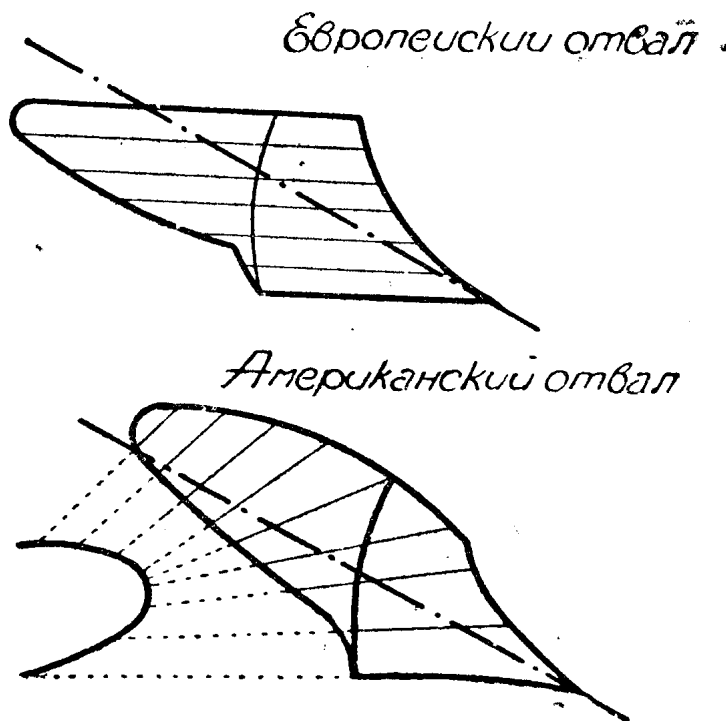
1. Введение.

Исследование американских отвалов проведенное в Висхом'е проф. Н. Д. Лучинским, показало, что основное отличие их от отвалов европейского типа заключается в расположении прямолинейных образующих.

В то время как у европейских отвалов прямолинейные образующие расположены параллельно к дну борозды и имеют наклон только к стенке борозды, у американских отвалов эти образующие наклонены как к дну борозды так и к ее стенке (см. фиг. № 1).

По мере движения вверх, у европейских отвалов изменяется наклон образующих только к стенке борозды (по отношению к дну они остаются на всем отвале параллельными); у американских же отвалов по мере движения вверх, изменяется наклон образующих как по отношению к дну, так и к стенке борозды.

Эти исследования показали так же, что положение образующих на отвале может быть охарактеризовано при помощи так называемой Ортогональной кривой, т. е. кривой линии проведенной через правый конец лемеха, таким образом что совсеми образующими эта кривая составляет угол равной 90° . У большинства исследованных отвалов эта ортогональная кривая оказалась плоской, и по форме подходящей к эллипсу.



Фиг. 1.

Для того чтобы построить отвал американского типа, оказывается необходимым иметь данные:

- а) о положении лемеха по отношению к дну и стенке борозды,
- б) о положении плоскости ортогональной кривой по отношению к лезвию лемеха и дну борозды,
- в) о положении ортогональной кривой,
- г) о форме самой ортогональной кривой и
- д) о положении образующих по отношению к плоскости ортогональной кривой.

Судя по опубликованному материалу (см. Н. Д. Лучинский. Исследование американских тракторных корпусов) величина этих неизвестных и связь их между собой и с характером обрабатываемой почвы еще не выяснена настолько, чтобы можно было сконструировать американский отвал, не превращая это дело в слепое копирование уже имеющихся образцов.

Неизбежные неточности в измерении имеющихся отвалов приводят к тому, что даже сняв все необходимые размеры с натуры, почти невозможно получить отвал, похожий на существующие, благодаря различным неувязкам.

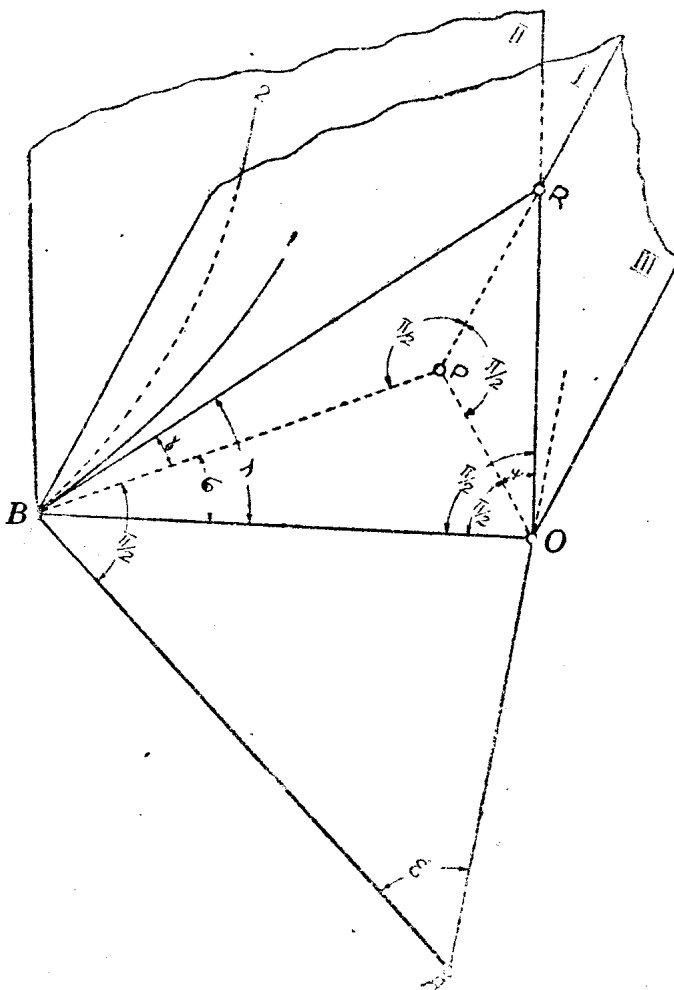
Ниже приводятся некоторые соображения о взаимной связи между величинами, характеризующими форму американских отвалов.

Ниже приводятся некоторые соображения о взаимной связи между величинами, характеризующими форму американских отвалов.

2. Связь между положением лемеха и ортогональной кривой.

Пусть на фиг. № 2 плоскость (I) представляет собой вертикальную плоскость, проведенную перпендикулярно лезвию лемеха; с дном борозды эта плоскость пересечется по горизонтальной линии „BP“ перпендикулярной к лезвию лемеха „BA“ и с отвалом по некоторой кривой „B1“.

Если точка „B“ находится на правом конце лезвия лемеха, то через нее же будет проходить плоскость ортогональной кривой (II), пересекающая дно борозды по линии „BO“, а отвал по ортогональной кривой „B2“.



Фиг. 2.

дет проходить плоскость ортогональной кривой (II), пересекающая дно борозды по линии „BO“, а отвал по ортогональной кривой „B2“.

Так как кривые „B1“ и „B2“ в точке „B“ перпендикулярны лезвию лемеха и сливаются друг с другом, то пересечение плоскостей I и II будет по некоторой линии „BR“ касательной в точке „B“, к обеим кривым и лежащей над линией „BP“. Поэтому угол „RBP“ очевидно будет характеризовать собой величину наклона лемеха к дну борозды в месте их соприкосновения, т. е. будет так наз. углом резания. Обозначим его через „γ“. В свою очередь угол „RBO“ будет характеризовать собой положение ортогональной кривой по отношению к горизонтальному следу плоскости ортогональной кривой (II). Иначе говоря он будет углом наклона касательной к ортогональной кривой, в точке „B“, по отношению к горизонтальному следу ее плоскости. Обозначим этот угол через „λ“.

Угол между нормалью к лемеху „BP“ и горизонтальным следом плоскости ортогональной кривой „BO“, измеряемый в плоскости дна борозды, обозначим через „σ“.

Наконец, проведем еще одну плоскость (III) перпендикулярную горизонтальному следу плоскости ортогональной кривой. Эта плоскость, будучи вертикальной, пересечет плоскость (I) по вертикальной линии „PR“, плоскость (II) по наклонной линии „OR“ и дно борозды по горизонтальной линии „OP“. Очевидно угол „POR“ будет характеризовать наклон плоскости ортогональной кривой к дну борозды; обозначим его через „ψ“. Углы „BOR“, „BOP“, „OPR“ и „BPR“ очевидно будут прямыми.

Полученный пространственный четырехгранник „BOPR“ даст возможность написать следующие соотношения:

$$PR = PO \operatorname{Tg} \psi = PB \operatorname{Tg} \gamma \quad (1)$$

$$PO = PB \operatorname{Sn} \sigma \quad (2)$$

$$PO = OR \operatorname{Cos} \psi = OB \operatorname{Tg} \sigma \quad (3)$$

$$OR = OB \operatorname{Tg} \lambda \quad (4)$$

Из (1) находим

$$\operatorname{Tg} \psi = \frac{PB}{PO} \operatorname{Tg} \gamma \quad (1-a)$$

Из (2) находим

$$\frac{PB}{PO} = \frac{1}{\operatorname{Sn} \sigma} \quad (2-a)$$

Подставляя (2-a) в (1-a), получим

$$\boxed{\operatorname{Tg} \psi = \frac{\operatorname{Tg} \gamma}{\operatorname{Sn} \sigma}} \quad (5)$$

Из (3) находим

$$\cos \psi = \frac{OB}{OR} \operatorname{Tg} \sigma \quad (3-a)$$

Из (4) находим

$$\frac{OB}{OR} = \frac{1}{\operatorname{Tg} \lambda} \quad (4-a)$$

Подставляю (4-a) в (3-a) получим

$$\cos \psi = \frac{\operatorname{Tg} \sigma}{\operatorname{Tg} \lambda} \quad (6)$$

Кроме того исключая из (5) и (6) угол „ ψ “ найдем

$$\bullet \quad \cos \sigma = \frac{\cos \lambda}{\cos \gamma} \quad (7)$$

Так как углы „ λ “ и „ γ “ и их косинусы по существу положительны, а $\cos \sigma$ не может быть больше единицы, то очевидно можно написать неравенство

$$\frac{\cos \lambda}{\cos \gamma} \leq 1$$

$$\text{откуда} \quad \cos \lambda \leq \cos \gamma$$

$$\text{или} \quad \lambda \geq \gamma \quad (8)$$

т. е. угол наклона ортогональной кривой, в точке „ B “ к горизонтальному следу ее плоскости не может быть меньше угла резания.

В крайнем случае, если

$$\lambda = \gamma$$

из ф-лы (7) имеем

$$\cos \sigma = 1; \quad \sigma = 0^\circ$$

из ф-лы (6) имеем

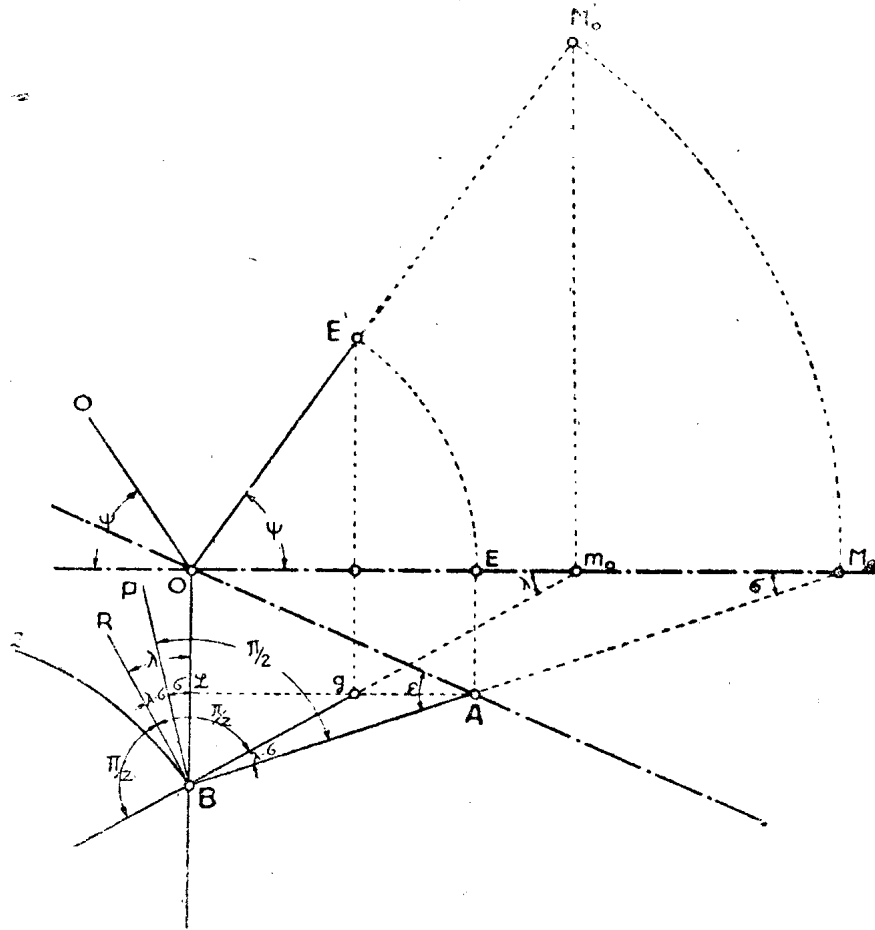
$$\cos \psi = 0 \quad \psi = \frac{\pi}{2}$$

т. е.—„Если угол наклона ортогональной кривой, в точке „ B “, к горизонтальному следу ее плоскости равен углу резания, то плоскость ортогональной кривой становится перпендикулярной к дну борозды и к лезвию лемеха“—иначе говоря на фиг. № 2 плоскость (II) сольется с плоскостью (I), а линия „ OB “ с линией „ PB “ и в

результате получится направляющая кривая в том виде, в каком она задается при проектировании европейских отвалов по методу проф. В. П. Горячкина.

3. Связь между положением нижней образующей и ортогональной кривой.

Пусть на фиг. № 3 „ OA “ изображает стенку борозды. AB —лезвие лемеха и „ OB “—горизонтальный след плоскости ортогональной кривой.



Фиг. 3.

кривой. Если считать за вертикальную плоскость проекций, вертикальную плоскость, перпендикулярную гориз. следу плоскости ортогональной кривой, и соответственно за ось проекции линию „ OM_0 “—перпендикулярную „ OB “, то вертикальный след плоскости ортогональной кривой „ OO' “ будет наклонен к оси проекции „ OM_0 “ под углом „ ψ “, характеризующим наклон плоскости ортогональной кривой к дну борозды. Горизонтальной проекцией лезвия лемеха будет „ AB “, а вертикальной—линия „ OE “.

Повернем отвал около горизонтального следа „ OB “ против часовой стрелки на угол „ ψ “ т. е. до совмещения плоскости ортого-

нальной кривой с дном борозды; в таком случае вертикальная проекция лезвия лемеха займет положение „ OE' “, а горизонтальная положение „ Bg “, ортогональная кривая „ $B2$ “ спроектируется на дно борозды без искажения своей формы, точно так же как и угол „ λ “ между горизонтальным следом „ OB “ плоскости ортогональной кривой и касательной „ BR “ к ортогональной кривой в точке „ B “.

Так как на плоскость ортогональной кривой (на горизонтальной проекции) мы теперь смотрим сверху вниз, перпендикулярно к ней, то все образующие должны на горизонтальной проекции проходить перпендикулярно ортогональной кривой. И так как у правильно спроектированного отвала нижняя образующая должна совпадать с лезвием лемеха, то, очевидно, что горизонтальная проекция „ Bm'_0 “, этой образующей (перпендикулярная „ BR “), должна совпадать с горизонтальной проекцией лезвия лемеха „ Bg “, а вертикальная проекция этой образующей „ OM'_0 “—совпадет с вертикальной проекцией лезвия „ OE' “.

В связи с этим мы можем написать, что

$$Om'_0 = OM'_0 \cos \psi = OM_0 \cos \psi = OB \frac{\cos \psi}{\operatorname{Tg} \sigma} \quad (9)$$

$$\text{но } Om'_0 = OB \frac{1}{\operatorname{Tg} \lambda} \quad (10)$$

поэтому

$$OB \frac{1}{\operatorname{Tg} \lambda} = OB \frac{\cos \psi}{\operatorname{Tg} \sigma} \quad (11)$$

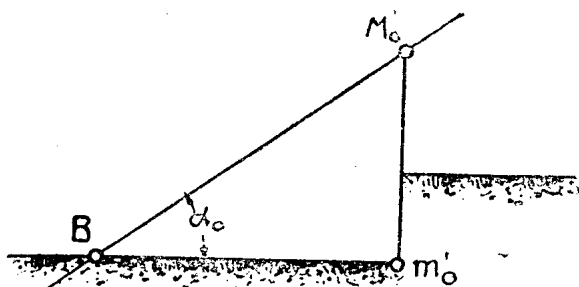
откуда

$$\boxed{\cos \psi = \frac{\operatorname{Tg} \sigma}{\operatorname{Tg} \lambda}} \quad (6)$$

т. е. получаем уже известное нам соотношение.

Кроме этого точка M'_0 является вертикальным следом образующей поверхности отвала, проходящей через точку „ B “ а потому, если обозначить угол наклона этой образующей к плоскости орто-

гональной кривой через „ α_0 “ (в нашем случае, когда ортогональная кривая совмещена с дном борозды, этот угол можно рассматривать как угол наклона нижней образующей к дну борозды), то можно написать соотношение (см. фиг. № 4)



Фиг. 4.

$$Bm'_0 \operatorname{Tg} \alpha_0 = m'_0 M'_0 \quad (12)$$

$$\text{но } m'_0 M'_0 = Om'_0 Tg\psi = OB \frac{Tg\psi}{Tg\lambda} \quad (13)$$

$$\text{а } Bm'_0 = \frac{OB}{Sn\lambda} \quad (14)$$

поэтому

$$OB \frac{Tg\alpha_0}{Sn\lambda} = OB \frac{Tg\psi}{Tg\lambda} \quad (15)$$

откуда

$$Tg\alpha_0 = Tg\psi \text{ Cos}\lambda \quad (16)$$

В рассмотренном выше крайнем случае, когда $\lambda = \gamma$ и $\psi = \frac{\pi}{2}$

$$Tg\alpha_0 = \infty \alpha_0 = \frac{\pi}{2}$$

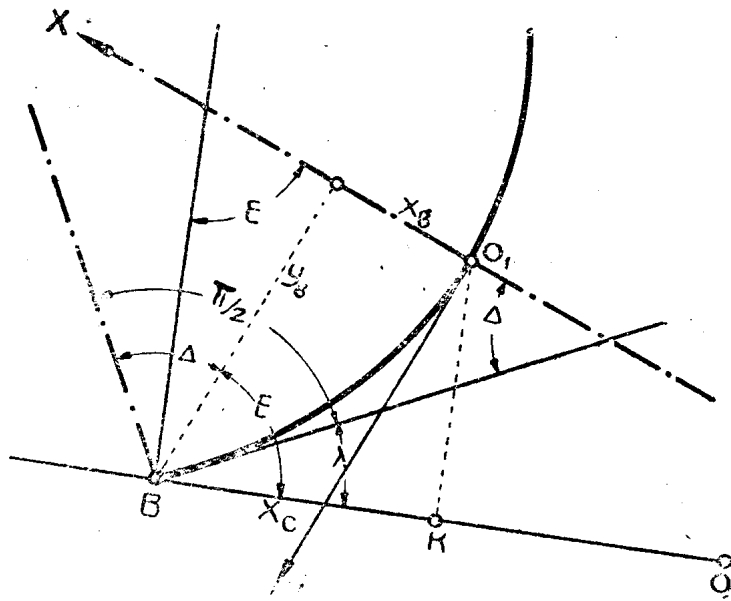
т. е. нижняя образующая (совпадающая с лезвием лемеха) располагается по соотношению к плоскости ортогональной кривой под углом в 90°

4. Форма ортогональной кривой.

По исследованиям Н. Д. Лучинского форма ортогональной кривой ближе всего подходит к эллипсу. Однако, напр., у плуга „Ростсельмаш“ (Джон-Дир № 6с) ближе всего подходит парабола $y^2 = 506x$. Точно также напр. в плугах SP 212 и М. Harris исследованных проф. Н. Д. Лучинским, парабола подойдет к ортогональной кривой с меньшей точностью, чем эллипс.

Во всяком случае приходится признать, что и парабола и эллипс могут быть ортогональной кривой. Парабола имеет перед эллипсом то преимущество, что ее уравнение гораздо проще.

Так напр., если на фиг. № 5, точка „В“ есть правый конец лемеха, а линия „ВО“ есть горизонтальный след плоскости ортогональной кривой, то, обозначив координаты точки „В“ по



Фиг. 5.

отношению к осям координат связанным с параболой x_b и y_b , получим

$$x_c = y_b \operatorname{Cos} E + x_b \operatorname{Sn} E \quad (17)$$

$$y_c = y_b \operatorname{Sn} E - x_b \operatorname{Cos} E \quad (18)$$

откуда, после соответствующих преобразований, найдем

$$x_b = x_c \operatorname{Sn} E - y_c \operatorname{Cos} E \quad (19)$$

$$y_b = y_c \operatorname{Sn} E + x_c \operatorname{Cos} E \quad (20)$$

Угол наклона касательной к параболе в точке „B“, по отношению к оси симметрии параболы, определится из выражения

$$\operatorname{Tg} \Delta = y' = f'(x_b) = \left. \frac{2p}{x} \right|_{x=x_b} = \frac{P}{y_b}$$

но

$$P = \frac{y^2}{2x} = \frac{y_b^2}{2x_b} = \frac{(y_c \operatorname{Sn} E + x_c \operatorname{Cos} E)^2}{2(x_c \operatorname{Sn} E - y_c \operatorname{Cos} E)} \quad (21)$$

Поэтому

$$\operatorname{Tg} \Delta = \frac{y_c \operatorname{Sn} E + x_c \operatorname{Cos} E}{2(x_c \operatorname{Sn} E - y_c \operatorname{Cos} E)} = \frac{y_c \operatorname{Tg} E + x_c}{2(x_c \operatorname{Tg} E - y_c)} \quad (22)$$

Таким образом, если даны „ x_c “, „ y_c “ и „ E “, т. е. положение вершины и оси симметрии параболы, то можно найти величину угла „ Δ “ и параметр параболы „ P “.

Кроме этого непосредственно из фиг. № 5 видно, что угол наклона касательной к параболе в точке „B“ по отношению к горизонтальному следу плоскости ортогональной кривой

$$\lambda = E + \Delta - \frac{\pi}{2} \quad (23)$$

Выведенные здесь ф-лы (21), (22), (23), (7), (5) и (16) включают в себя 10 величин:

$$P, x_c, y_c, E, \Delta, \lambda, \gamma, \sigma, \psi, \alpha_0$$

Кроме этого необходимо для построения отвала знать угол лезвия лемеха со стенкой борозды „ Σ “, и закон изменения угла наклона образующих к плоскости ортогональной кривой. Всего, таким образом, имеется 12 величин. Шесть из них могут быть определены по выше приведенным уравнениям, две: „ Σ “ и „ γ “ уже установлены практикой. Остаются еще неизвестными четыре вели-

чины: „ E “, „ y_c “, „ x_c “—характеризующие положение ортогональной кривой, и закон изменения угла наклона образующих к плоскости ортогональной кривой. Поэтому очевидно, что проектирование американского отвала может быть осуществлено полностью только тогда, когда, в результате соответствующих исследований, будет выяснено значение последних четырех величин и связь их с характером обрабатываемой почвы.

5. Построение отвала.

Из вышеприведенного материала следует, что для сознательного конструирования поверхности американского отвала необходимо знать форму и положение ортогональной кривой, а также закон изменения угла наклона образующих к плоскости ортогональной кривой. Возьмем их с существующих отвалов.

Пусть, например, в качестве оригинала взят плуг „Ростсельмаш“. В результате его обмера имеем следующие данные:

- 1) Угол резания $\gamma = 22^\circ$
- 2) Угол лемеха со стенкой борозды $\Sigma = 41^\circ$
- 3) Ортогональная кривая-парабола с вершиной, определяемой координатами $x_c = 176$ мм, $y_c = 195$ мм и осью симметрии, расположенной под углом $E = 73^\circ$, к перпендикуляру, опущенному на горизонтальный след плоскости ортогональной кривой.
- 4) Разность углов наклона верхней и нижней образующих к плоскости ортогональной кривой $\Delta\alpha = 25^\circ$, причем изменение углов наклона идет таким образом, что на нижнюю половину отвала

приходится $\frac{1}{3} \Delta\alpha$, а на верхнюю $\frac{2}{3} \Delta\alpha$

а) Определение углов, характеризующих отвал.

По ф-ле (21) находим параметр параболы

$$P = \frac{(195 \operatorname{Sn} 73^\circ + 176 \operatorname{Cos} 73^\circ)^2}{2(176 \operatorname{Sn} 73^\circ - 195 \operatorname{Cos} 73^\circ)} = 253 \text{ мм}$$

Стало быть уравнение ортогональной кривой

$$y^2 = 506 x$$

По ф-ле (22) находим угол наклона касательной к параболе, в точке „ B “, по отношению к оси симметрии параболы

$$\operatorname{Tg} \cdot \Delta = \frac{195 \operatorname{Tg} 73^\circ + 176}{2(176 \operatorname{Tg} 73^\circ - 195)} = 1,07; \quad \Delta = 47^\circ$$

По ф-ле (23) находим угол наклона касательной к параболе, в точке „ B “, по отношению к горизонтальному следу плоскости ортогональной кривой.

$$\lambda = 73^\circ + 47^\circ - 90^\circ = 30^\circ$$

По ф-ле (7) найдем угол наклона горизонтального следа плоскости ортогональной кривой по отношению к перпендикуляру, восстановленному к лезвию лемеха, из правого его конца

$$\cos \sigma = \frac{\cos 30^\circ}{\cos 22^\circ} = 0,933; \quad \sigma = 21^\circ$$

По ф-ле (5) найдем угол наклона плоскости ортогональной кривой к дну борозды

$$\operatorname{Tg} \psi = \frac{\operatorname{Tg} 22^\circ}{\operatorname{Sn} 21^\circ} = 1,13; \quad \psi = 48^\circ 30'$$

По ф-ле (16) найдем угол наклона нижней образующей к плоскости ортогональной кривой.

$$\operatorname{Tg} \alpha_0 = \operatorname{Tg} 48^\circ 30' \cos 30^\circ = 0,98 \cdot \alpha_0 = 44^\circ 30'$$

б) Построение ортогональной кривой (фиг. № 6)

Принимая линию „NN“ за стенку борозды, в некоторой ее точке „А“ откладываем угол лемеха со стенкой борозды $\Sigma = 41^\circ$ и строим лезвие лемеха

$$AB = \frac{b}{\operatorname{Sn} \Sigma} = \frac{300}{\operatorname{Sn} 41^\circ} = 455 \text{ мм}$$

Через правый конец лемеха „В“ проводим горизонтальный след плоскости ортогональной кривой „ОВ“ под углом $\sigma = 21^\circ$ к перпендикуляру, восстановленному из точки „В“ лезвия лемеха. Через точку „О“ пересечения гориз. следа плоскости ортогональной кривой со стенкой борозды проводим линию „ММ“ перпендикулярную следу „ОВ“, и вертикальную плоскость, проходящую через линию „ММ“, принимаем за вертикальную плоскость проекций. Находим проекцию лемеха на ось проекции „ОЕ“.

Поворачиваем поверхность отвала около горизонтального следа „ОВ“ против часовой стрелки до тех пор пока плоскость ортогональной кривой не совместится с дном борозды; при этом вертикальная проекция лезвия лемеха „ОЕ“ повернется из угол $\psi = 48^\circ 30'$ и займет положение „ОЕ'“; а горизонтальная—переместится в положение „Вg“ (причем носок лемеха перейдет в положение „g“ двигаясь параллельно линии „ММ“ до тех пор пока не окажется на одном направлении проектирования с точкой „Е'“).

Поскольку плоскость ортогональной кривой совместилась с дном борозды, то, очевидно, что ортогональная кривая будет видна на дне борозды в неискаженном виде, и потому может быть вычерчена по известным данным.

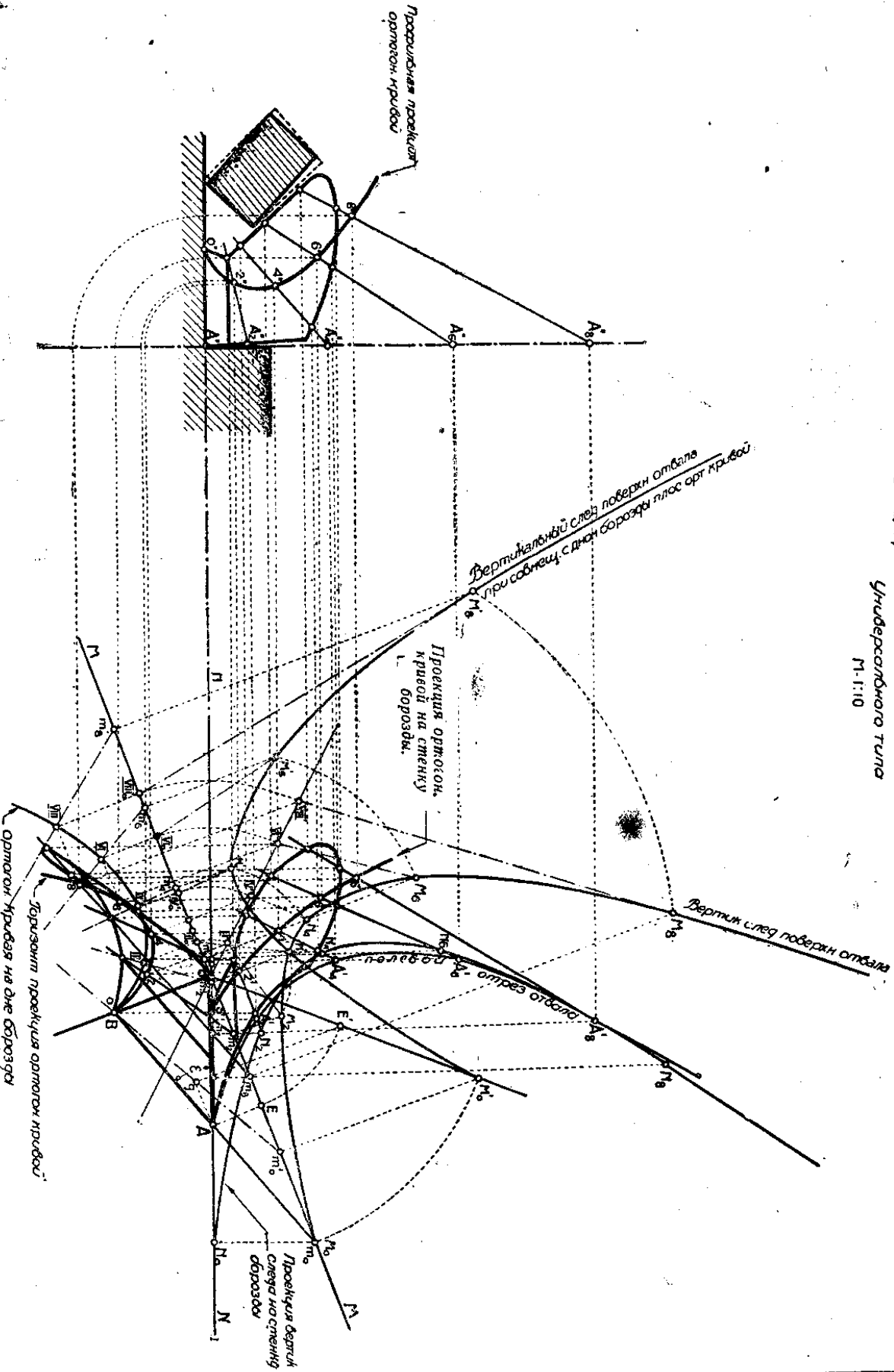
$$x_c = 176 \text{ мм}; \quad y_c = 195 \text{ мм}; \quad y^2 = 506x; \quad E = 73^\circ$$

Листопроектирование Американского отвала

Универсального типа

M:1:10

Фиг. №6



по точкам или графически. При построении ортогональной кривой нужно иметь в виду, что если построение произведено правильно, то парабола пройдет как раз через точку „В“. На построенной ортогональной кривой, начиная от точки „В“, берем на равных расстояниях друг от друга ряд точек I, II, III IX и находим вертикальные проекции этих точек—они очевидно будут находиться на линии „ММ“ на соответствующих направлениях проектирования. Обозначим эти проекции через

$$I'_0, II'_0, III'_0 IX'_0$$

Поворачиваем плоскость ортогональной кривой около горизонтального следа „ОВ“ по часовой стрелке на угол $\psi = 48^\circ 30'$ —т. е. в свое нормальное положение. При этом вертикальные проекции точек ортогональной кривой опишут дуги равные „ ψ “ и расположатся по прямой линии (под углом „ ψ “ к линии „ММ“), а горизонтальные—переместятся в направлении параллельном линии „ММ“, до тех пор пока не окажутся на одних направлениях проектирования с новыми положениями вертикальных проекций. Соединяя полученные точки

$$0, 1, 2, 3, 9$$

плавной кривой—имеем горизонтальную проекцию ортогональной кривой в ее нормальном положении.

Для отыскания проекции точек ортогональной кривой на стенку борозды из точек 0, 1, 2, 9 горизонтальной проекции, проводим направления проектирования перпендикулярные линии „NN“ и откладываем на них выше линии „NN“ отрезки равные расстояниям вертикальных проекций от линии „ММ“. Соединяя полученные точки 0', 1', 2', 3', 9' плавной кривой—имеем проекцию ортогональной кривой на стенку борозды.

Последний шаг в построении ортогональной кривой заключается в отыскании профильной проекции ортогональной кривой и не представляет никаких затруднений—отыскание производится по правилам начертательной геометрии. В результате находим точки

$$0'', 1'', 2'', 3'', 9''$$

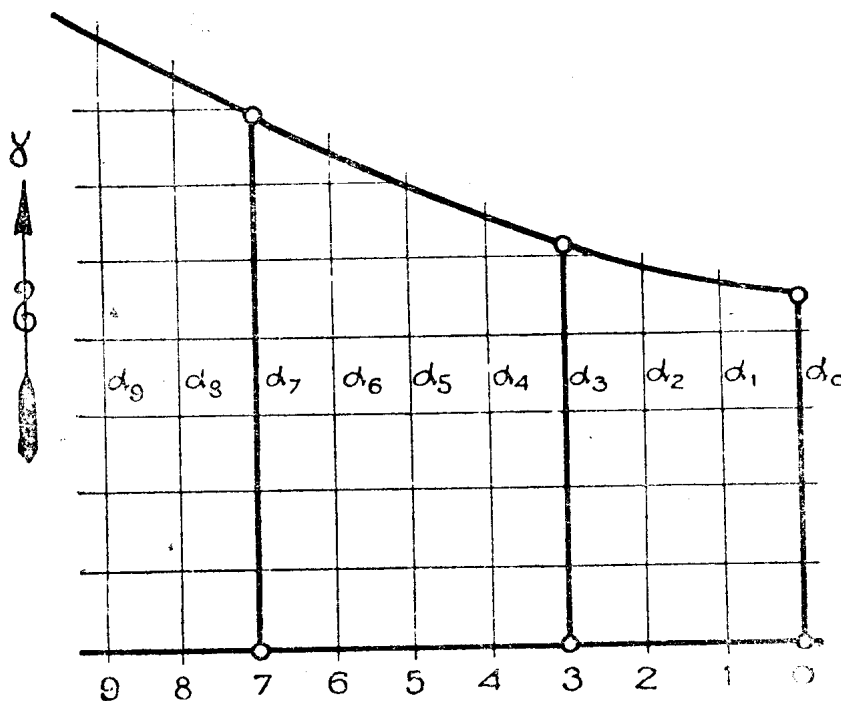
и соединяя их плавной кривой—имеем профильную проекцию ортогональной кривой.

в) Построение профильной проекции отвала.

Это построение производится обычным способом (см. проф. Сладков. Графический метод построения плужных корпусов) с учетом известных данных об американских отвалах (см. „С/х. машина“ 1932 г. № 4 стр. 21).

г) Определение углов наклона образующих к плоскости ортогональной кривой.

Откладывая по оси абсцисс на равных расстояниях друг от друга точки 0, 1, 2, 3, ..., 9 (фиг. № 7); в точках 0, 3 и 7 откладываем ординаты, изображающие в некотором масштабе углы



Фиг. 7.

$$\alpha_0 = 44^\circ 30'$$

$$\alpha_3 = \alpha_0 + \frac{1}{3} \Delta\alpha \cong 52^\circ$$

$$\alpha_7 = \alpha_0 + \Delta\alpha = 70^\circ$$

через концы этих ординат проводим плавную кривую, по которой и находим величину углов для остальных точек:

$$\alpha_1 = 46^\circ 30'; \alpha_2 = 49^\circ; \alpha_4 = 56^\circ; \alpha_5 = 60^\circ; \alpha_6 = 64^\circ 30'; \alpha_8 = 75^\circ; \alpha_9 = 80^\circ$$

д) Отыскание проекций образующих отвала.

В выбранных точках 0, I, II, III, ..., IX ортогональной кривой, известными из математики способами, строим нормали и продолжаем их до пересечения, в точках $m'_0, m'_1, m'_2, \dots, m'_9$ с осью проекции „ММ„

Очевидно линии $O - m'_0; I - m'_1; II - m'_2; \dots IX - m'_9$, и будут горизонтальными проекциями образующих отвала при совмещенной с дном борозды плоскости ортогональной кривой. Если все постро-

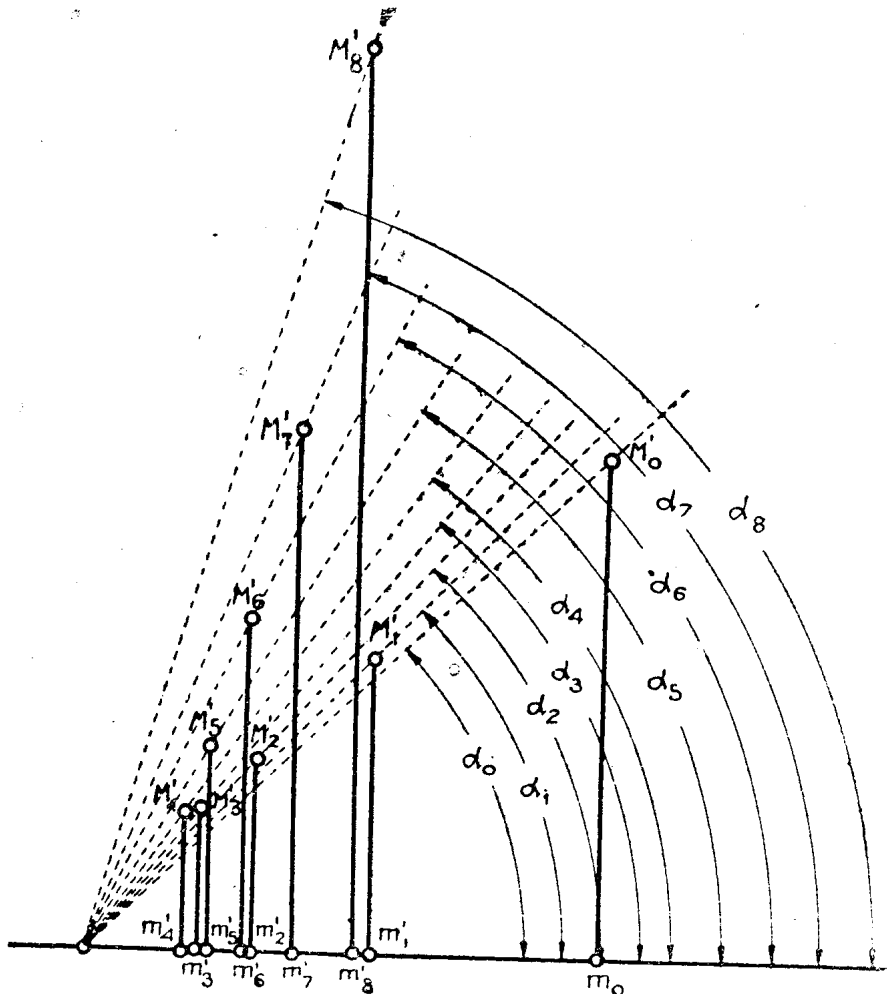
ения произведены правильно, то „ $O—m_0'$ “ совпадет с горизонтальной проекцией лезвия лемеха „ Bg “.

Точки пересечения образующих с вертикальной плоскостью проекций

$$M_0', M_1'; M_2'; \dots M_9'$$

найдутся из соотношения:

$M_0' m_0' = Om_0' Tg \alpha_0, M_1' m_1' = l m_1' Tg \alpha_1, \dots M_9' m_9' = IX. m_9' Tg \alpha_9$
или графически, как это показано на фиг. № 8.



Фиг. 8.

Соединяя эти точки плавной кривой, имеем вертикальный след поверхности отвала при совмещенной с дном борозды плоскости ортогональной кривой. При этом нужно иметь ввиду, что правильность построений доказывается совпадением точки M_0' с линией „ OE' “.

Дальше находим положение вертикального следа поверхности отвала при нормальном положении плоскости ортогональной кривой.

Для этого поворачиваем кривую $M_0' M_1' M_2' \dots M_9'$ около точки „О“ по часовой стрелке на угол „ ψ “ до положения $M_0 M_1 M_2 \dots M_9$; при этом горизонтальные проекции новых положений вертикальных следов образующих отвала найдутся на линии „ММ“, на соответствующих направлениях проектирования; обозначим эти проекции через

$$m_0, m_1, m_2, \dots, m_9$$

Соединяя „ m_0 “ с „В“, „ m_1 “ с „1“, „ m_2 “ с „2“ „ m_9 “ с „9“, получим горизонтальные проекции образующих отвалов.

Для отыскания проекции образующих отвала на стенку борозды нужно предварительно найти проекцию вертикального следа поверхности отвала на стенку борозды $N_0 N_1 N_2 \dots N_9$.

Для этого из точек $m_0, m_1, m_2, \dots, m_9$ опускаем перпендикуляры на линию „NN“ и от точек пересечения их с линией „NN“ откладываем по перпендикулярам вверх отрезки равные высотам точек $M_0, M_1, M_2, \dots, M_9$ над линией „ММ“, т. е. $n_0 N_0 = m_0 M_0$; $n_1 N_1 = m_1 M_1$; $n_9 N_9 = m_9 M_9$.

Соединяя „1“ с „ N_1 “, „2“ с „ N_2 “; „9“ с „ N_9 “ получаем проекции образующих отвала на стенку борозды.

Для отыскания профильных проекций образующих отвала необходимо предварительно найти полевой обрешоток отвала, т. е. кривую пересечения поверхности отвала вертикальной плоскостью, совпадающей со стенкой борозды. Для этого проектируем точки пересечения горизонтальных проекций образующих отвала с линией „NN“ на соответствующие проекции образующих на стенку борозды. Полученные точки $A_1', A_2', A_3', \dots, A_9'$ соединяем плавной кривой, которая и будет полевым образом поверхности отвала.

Переносим точки $A_1', A_2', A_3', \dots, A_9'$ полевого образа на профильную проекцию отвала, получаем точки $A_1'', A_2'', A_3'', \dots, A_9''$; соединяя последние с соответствующими точками ортогональной кривой; т. е. A_1'' с 1"; A_2'' с 2"; A_3'' с 3" A_9'' с 9", получаем профильные проекции образующих отвала.

е) Построение вертикальной и горизонтальной проекции отвала.

Это построение производится обычным способом; а именно: точки пересечения образующих с профильной проекцией отвала переносятся сначала на соответствующие проекции образующих на стенку борозды, а отсюда аналогичным путем на горизонтальные проекции образующих. Соединяя полученные точки плавными кривыми, найдем очерк отвала на горизонтальной проекции и на стенке борозды.