

4. Трамбовщики силоса ТСК 3 и ТСК 2.6 [Электронный ресурс] // Сайт ОАО «Вятка-АгроДизель». — Режим доступа: <https://vyatka-agro.ru/>. — Дата доступа: 09.04.2023.
5. КУС-3.1. Каток для уплотнения силосной, сенажной массы в траншейных хранилищах: руководство по эксплуатации (ОАО «Столбцовский райагросервис») [Электронный ресурс] // Сайт ООО «ГолдКовАгро». — Режим доступа: https://gcagro.by/assets/files/rukovodstvo-po-jekspluatácii-trambovshhika-silosa-i-senazha-goldkovagro_compressed.pdf. — Дата доступа: 09.04.2023.
6. Трамбовщик силоса и сенажа КТ-3 «*JECK*» и «*JECKMAX*» [Электронный ресурс] // Сайт компании «Логус». — Режим доступа: <http://logus-reck.ru/?page=kt3>. — Дата доступа: 14.04.2023.
7. Silagepacker — Stego [Электронный ресурс] / Сайт фирмы Holaras (Нидерланды). — Режим доступа: <https://www.holaras.nl/en/products/silaging-en/silagepacker>. — Дата доступа: 09.04.2023.
8. Дубень, И. В. Эффективность машин для уплотнения зеленой массы при закладке сенажа в хранилища траншейного типа / И. В. Дубень, В. Д. Косухин // *Материалы III Междунар. науч.-практ. конференции «Наука – практике»*, 19 мая 2022 г., г. Барановичи, БарГУ. — В 3 ч. Ч. 2. — Барановичи, 2022. — С. 20—23.
9. Невдах, С. С. Концепция агрегата для закладки зеленой массы в сенажные траншеи на базе погрузчика «Амкордор» / С. С. Невдах, И. В. Дубень // *Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. «Наука — практике»*, 13 мая 2021 г. — Барановичи, БарГУ, 2021. — С. 180—182.
10. Дубень, И. В. Совершенствование рабочих органов для уплотнения зеленой массы при закладке сенажа в хранилища траншейного типа / И. В. Дубень, М. А. Макаревич, В. Д. Косухин // *Материалы IV Междунар. науч.-практ. конференции «Наука – практике»*, 19 мая 2023 г., г. Барановичи, БарГУ. — В 2 ч. Ч. 1. — Барановичи, 2023. — С. 285—287.

УДК 631.312.021

И. В. Дубень, М. А. Покровский, А. В. Дубешко
*Учреждение образования «Барановичский государственный университет»,
 Барановичи, Республика Беларусь*

ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЧАТОЙ МОДЕЛИ ЛЕМЕШНО-ОТВАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЛУГА

Введение. При проектировании отвальных плугов в отечественной практике обычно используются лемешно-отвальные поверхности цилиндрического типа — цилиндрические, культурные и полувинтовые. Их рабочая поверхность образована направляющей кривой в вертикальной плоскости, перпендикулярной лезвию лемеха, с заданным законом изменения угла наклона касательной к горизонтали $\varepsilon = f(Z)$ и совокупностью горизонтальных образующих с заданным законом изменения угла их наклона к продольно-вертикальной плоскости $\gamma = f(Z)$ [1, 2]. В результате лемешно-отвальная поверхность представляет собой совокупность точек горизонтальных образующих, ограниченных контуром ее лобовой проекции.

Касательную плоскость к горизонтальной образующей лемешно-отвальной поверхности (например, в точке M на рисунке 1) можно представить как поверхность элементарного трехгранного клина, параметрами которого в системе координат $X'Y'Z'$ наряду с углами γ и ε служат углы α , β и γ : угол α характеризует сжатие почвенного пласта в продольно-вертикальной плоскости и его подъем в вертикальном направлении; угол β характеризует оборот пласта; угол γ характеризует смещение почвы в боковом направлении [2, 3]. Таким образом, при исследовании геометрической формы отвала ставится задача определения углов α , β , γ и ε для всех точек лемешно-отвальной поверхности, что может быть с достаточной точностью выполнено на основе разработанного нами метода измерений с использованием лазерного дальномера [4, 5].

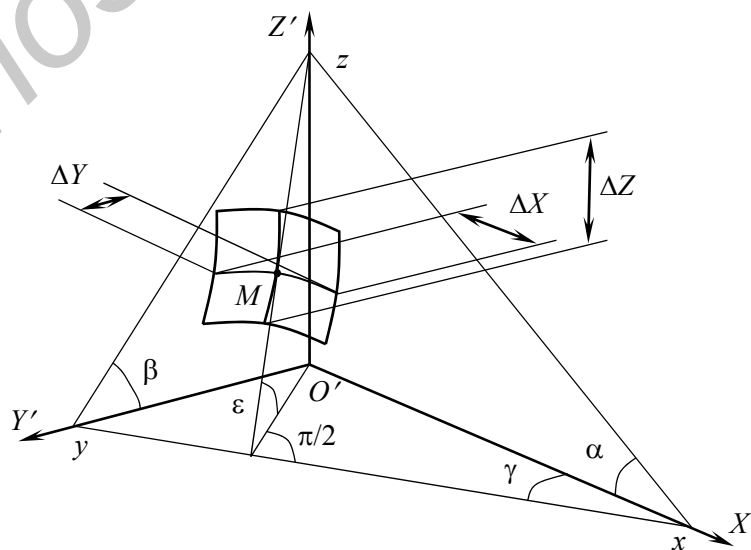


Рисунок 1 — Параметры касательной плоскости в точке M лемешно-отвальной поверхности

Как известно [3], значения углов α , β и γ , связанных соотношением $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \gamma$.

В свою очередь угол ε можно определить из зависимости

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \gamma} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\cos \gamma} = \operatorname{tg} \beta \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}.$$

По результатам профилирования лемешно-отвальной поверхности с определенной погрешностью значения углов α , β и γ можно определить по формулам:

$$\operatorname{tg} \gamma = \Delta Y / \Delta X; \quad \operatorname{tg} \beta = \Delta Z / \Delta Y; \quad \operatorname{tg} \alpha = \Delta Z / \Delta X,$$

где ΔX , ΔY и ΔZ — разность соответствующих координат соседних точек относительно точки M по результатам профилирования.

При относительной простоте расчетов этот способ имеет значительную погрешность: при шаге между точками измерения 100 мм по оси X и 50 мм по оси Z получим базовые расстояния для определения углов $\Delta X = 200$ мм и $\Delta Z = 100$ мм соответственно, к тому же определение углов невозможно в крайних точках лемешно-отвальной поверхности — на полевом, бороздном и верхнем обрезах, а также на лезвии лемеха.

Основная часть. Нами разработан более точный способ определения геометрических параметров точек ТОП с использованием возможностей пакетов трехмерной графики, например «Компас-3D».

Исследования проводились на примере лемешно-отвальной поверхности плужного корпуса типа ПК 20.010-01 (аналог корпуса № 9 фирмы «Kverneland»), которым комплектуются плуги производства ПО «Минский завод шестерен». Использовали конструкцию стенда с лазерным дальномером, разработанную на кафедре технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии БарГУ [4, 5]. Стенд состоит из стола с нанесенной на его поверхности сеткой, на которую в определенном положении устанавливали исследуемый плужной корпус. По этой же координатной сетке установлены две прозрачные панели из стекла: передняя — в поперечно-вертикальной плоскости, боковая — в продольно-вертикальной плоскости со стороны бороздного обреза плужного корпуса. Измерение координат точек производили лазерным дальномером TESLA D20 с длиной волны луча 635 нм, максимальной дальностью измерения до 20 м и погрешностью до 2 мм. Координаты точек принимали по оси X с шагом 100 мм и по оси Z с шагом 50 мм, затем измеряли координаты Y этих точек с помощью лазерного дальномера.

В результате был получен массив координат точек лемешно-отвальной поверхности и построена ее сетчатая трехмерная модель в пакете «Компас-3D» на основе точек и сплайнов (рисунок 2). Горизонтальные сечения лемешно-отвальной поверхности (образующие) обозначены латинскими буквами (A_0 — A_n , B_0 — B_n , C_0 — C_n и т. д.), сечения поперечно-вертикальными плоскостями — цифрами. Такая нумерация точек, образующих и вертикальных сечений позволяет систематизировать обозначения для последующей компьютерной обработки данных.

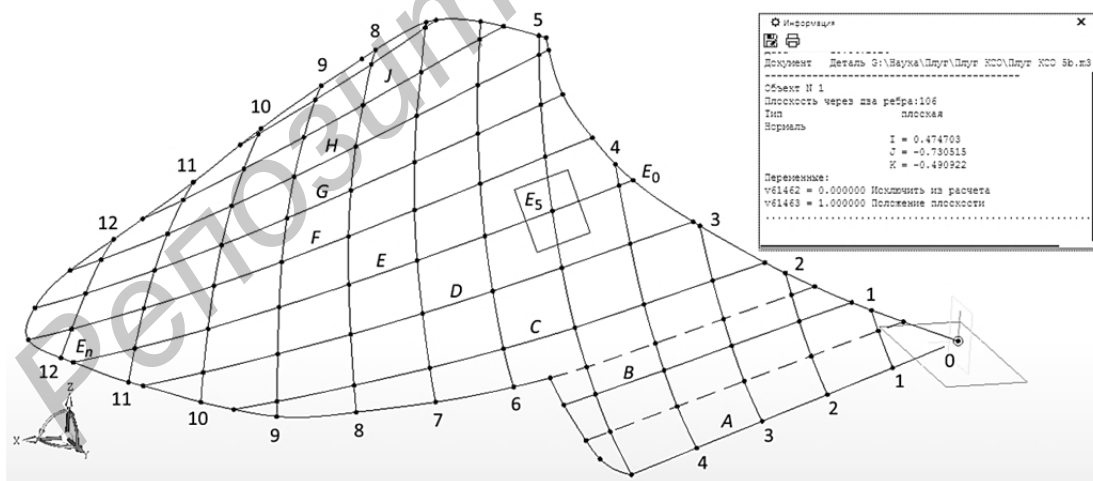


Рисунок 2 — Определение параметров точки E_5 на сетчатой модели лемешно-отвальной поверхности в пакете «Компас-3D»

Инструментальные средства пакета «Компас-3D» дают возможность рассчитать углы в исследуемых точках ЛОП с достаточной точностью в следующем порядке (на примере точки E_5 , см. рис. 2).

1. В рассматриваемой точке с помощью инструмента «Ось через точку по направлению» строятся оси параллельно горизонтальной образующей E_0 — E_n и вертикального сечения 5—5;
2. С помощью инструмента «Плоскость через ребро параллельно другому ребру» в точке строится касательная плоскость к сетчатой поверхности ЛОП в рассматриваемой точке;

3. В окне «Информация об объекте» на экран выводятся значения направляющих косинусов i , j и k нормали к рассматриваемой касательной плоскости.

4. Производится расчет искомых углов ε , α , β и γ по формулам:

$$\varepsilon = \arccos(k); \quad \alpha = \arctg(i / k); \quad \beta = \arctg(j / k); \quad \gamma = \arcsin(i / \sin \varepsilon).$$

Проведенные расчеты для всех узловых точек сетчатой модели ЛОП исследуемого корпуса позволили построить графики зависимости углов $\alpha = f(x, z)$ и $\gamma = f(x, z)$. Как видно из рисунка 3, а, на лемехе угол крошения α ($Z = 0$) составляет $15 \dots 25^\circ$, что обеспечивает подрезание пласта при минимальном сгруживании почвы. На высоте $Z = 200$ мм на груди отвала увеличивается до $40 \dots 60^\circ$, на крыле отвала — до $120 \dots 140^\circ$, что способствует оборачиванию пласта.

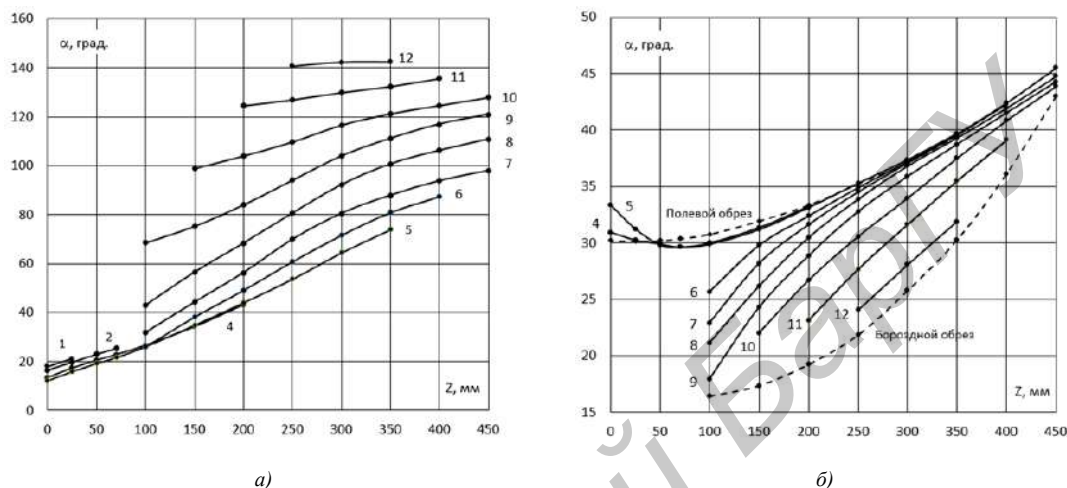


Рисунок 3 — Зависимость угла α крошения пласта (а) и угла наклона образующих γ (б) от высоты Z (цифрами обозначены номера вертикальных сечений)

Как видно из зависимости $\gamma = f(Z)$ на рисунке 3, б, лемех исследуемого корпуса имеет криволинейную форму — угол постановки лезвия к направлению движения составляет 35° в передней части и увеличивается до 38° к пятке. В верхней части лемеха на высоте $Z = 75$ мм угол γ уменьшается до $30 \dots 32^\circ$, на высоте $400 \dots 450$ мм — увеличивается $44 \dots 45^\circ$. Такая близкая к параболической зависимость соответствует отечественным полувинтовым корпусам цилиндрического типа [3]. Напротив, в средней и задней части форма отвала значительно отличается от цилиндрической — в нижней части крыла на высоте $Z = 100 \dots 150$ мм угол γ интенсивно уменьшается до значений $17 \dots 20^\circ$, в средней части на высоте $Z = 250 \dots 300$ мм — до $25 \dots 30^\circ$, и только в верхней части при $Z = 400 \dots 450$ мм сохраняет такие же значения, как и на груди отвала.

Горизонтальные образующие в средней части отвала имеет выпуклую форму, что видно по характерному изгибу линий $\gamma = f(Z)$ для сечений 7, 8 и 9 (см. рисунок 3, б). Это способствует меньшему боковому смещению почвы, обороту пласта без его задиранья бороздным обрезом и лучшей заделке растительных остатков.

Заключение. Предлагаемая методика измерений и расчетов параметров лемешно-отвальной поверхности с использованием пакета «Компас-3D» обеспечивает достаточную точность и может быть применена для корпусов различных типов. Результаты исследования лемешно-отвальной поверхности корпуса ПК 20.010-01 показали, что форма его лемешно-отвальной поверхности не является цилиндрической, форма крыла отвала с уменьшенными углами γ наклона образующих в средней и нижней части крыла отвала способствует обороту почвенного пласта и качественной заделке растительных остатков.

Список цитируемых источников

1. Летошнев, М. Н. Сельскохозяйственные машины: Теория, расчет, проектирование и испытание. — 3-е изд, доп. и перераб. / М. Н. Летошнев. — М.-Л., 1955. — 764 с.
2. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. — М : Машиностроение. 1977. — 328 с.
3. Сидоров, С. А. Влияние геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические и силовые характеристики / С. А. Сидоров, Я. П. Лобачевский, Д. А. Миронов, А. С. Золотарёв. // Сельскохозяйственные машины и технологии. — Т. 14. — №2. — 2020, С.10—16.
4. Дубень, И. В. Лабораторный стенд для профилирования лемешно-отвальной поверхности / И. В. Дубень, М. А. Покровский, А. В. Дубешко // Материалы IV Междунар. науч.-практ. конференции «Наука – практике», 19 мая 2023 г., г. Барановичи, БарГУ. — Барановичи, 2023. — С. 287—289.
5. Дубешко, А. В. Построение цифровой модели лемешно-отвальной поверхности / А. В. Дубешко, М. А. Покровский // Новатор-2023: материалы V Баранович. науч.-образоват. форума, Барановичи, 19 окт. 2023 г.: в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т; редкол.: В. В. Климук (гл. ред.) [и др.]. — Барановичи: БарГУ, 2023. — Ч. 1. — С. 12—14.