

Рис. 3. График изменения показателей прочности ( $\sigma_0$ ) и степени деформации ( $\epsilon$ ) [4]

Для показателя степени деформации ( $\epsilon$ ) характерна более низкая область температур, при которых возможна хотя бы неполная горячая деформация.

При температуре 830-900°C получили резкое снижение пластичности, происходящее, по их мнению, в результате значительного роста зерна.

Следовательно, искомый диапазон температур будет составлять от 700 до 820°C так как деформирование при данных температурах не встретит значительного сопротивления и позволит получить качественные прочностные характеристики восстановленной режущей кромки.

Возвращаясь к данным, полученным путем численного эксперимента, можно

сказать, что данный диапазон температур в точке  $x = l_2$  будет достигнут через 1,5-1,9 с (рис. 2).

### Вывод

Таким образом, разработанная в статье математическая модель позволяет определить время, необходимое для подготовки материала детали к пластическому деформированию, а, соответственно, зная геометрические параметры конкретного рабочего органа можно определить угловую скорость восстановления при прочих заданных параметрах процесса для его режущей кромки.

### Библиографический список

1. Чижов В.Н. Восстановление дисков сошников сеялок с использованием метода электроконтактного нагрева / В.Н. Чижов, А.В. Бодякин, М.В. Селивёрстов // Продукция предприятий Алтайского края для АПК России: сб. – Барнаул, 2003. – С. 67-68.
2. Чижов В.Н. Математическое моделирование тепловых процессов в системе «электрод – деталь – теплоотводящая масса» при ремонте деталей / В.Н. Чижов, А.А. Болтенков, Ф.С. Телгожаева // Вестник АГАУ. – 2009. – № 12 (62). – С. 80-84.
3. Самарский А.А. Теория разностных схем / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 592 с.
4. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.



УДК 539.211

А.С. Баранов,  
А.С. Павлюк

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

**Ключевые слова:** поверхность тела, координаты центра метки, анализ измерений, моделирование поверхности, форма тела.

### Введение

Точное описание поверхности кузовных деталей мобильной машины, а также ра-

бочей поверхности рабочих органов сельскохозяйственных машин необходимо при их конструировании и изготовлении, но вызывает определенную сложность. Вследствие этого предпринимались попытки упростить процесс определения формы рабочей поверхности с помощью ряда способов.

Самым простым и общеизвестным способом определения формы поверхности является нивелирование. Еще одним способом является способ измерения формы поверхности изделий [1].

Другим способом определения формы поверхности может служить способ контроля профиля криволинейных поверхностей [2].

Фирма «МАУЗЕР» (Германия) разработала принципиально новый метод измерений на координатно-измерительном центре.

Применение перечисленных способов достаточно трудоемко. Поэтому требуется разработка более простого и эффективного способа определения формы тела, что должно быть применимо для определения координат поверхности любого тела сложной формы.

**Задачи исследования:** разработать эффективный способ и программу для определения формы поверхности любого тела сложной формы с применением ПЭВМ.

#### Объект и метод

Исходя из поставленных задач разработан способ определения формы поверхности тела [3].

Данный способ отличается простотой и не требует наличия определенных профессиональных навыков. Анализ полученных результатов основан на применении геометрических соотношений. Этот способ не требует применения специальной аппаратуры и может быть автоматизирован. Для обработки экспериментальных данных можно воспользоваться персональным компьютером.

На рисунке 1 изображена схема осуществления разработанного способа на примере лемешно-отвальной поверхности плуга.

Использование способа определения координат точек и ориентации участков поверхности тела сложной формы требует введения горизонтальной 1 и перпендикулярной ей вертикальной 2 базовых поверхностей. Метки 3 выполнены, в форме круга (в проекции эллипса с большой 4 и малой 5 осями). Фиксирующим прибором 6 может являться любой оптический фиксирующий прибор, например, фото-, теле-, кино- или видеокамера. Метка 3 размещается в контролируемой точке участка 7 поверхности тела сложной формы.

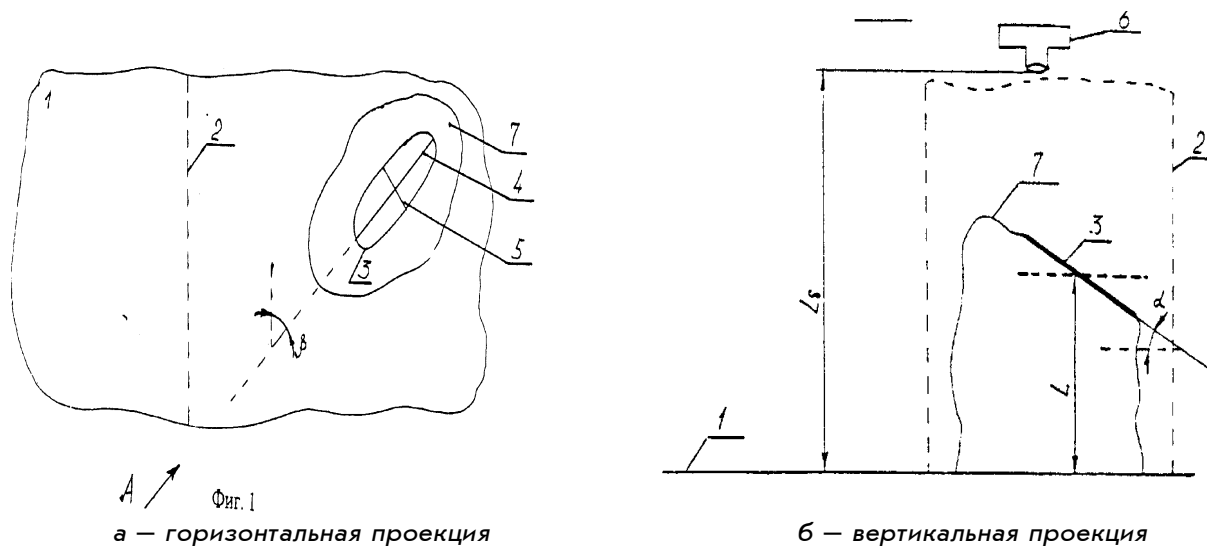


Рис. 1. Схема осуществления способа определения координат точек и ориентации участков поверхности тела сложной формы:

- 1 – горизонтальная базовая поверхность; 2 – вертикальная базовая поверхность; 3 – метка;
- 4 – большая ось эллипса; 5 – малая ось эллипса; 6 – оптический фиксирующий прибор;
- 7 – участок поверхности;  $\alpha$  – угол наклона участка 7 поверхности тела сложной формы к горизонтальной 1 базовой поверхности;  $\beta$  – угол наклона участка 7 поверхности тела сложной формы к вертикальной 2 базовой поверхности;  $L$  – расстояние от участка 7 поверхности тела сложной формы до горизонтальной 1 базовой поверхности;  $L_6$  – расстояние от объектива оптического фиксирующего прибора 6 до горизонтальной 1 базовой поверхности

Способ определения координат точек и ориентации участков поверхности тела сложной формы заключается в следующем.

На исследуемой поверхности размещаются метки, пропорциональные размерам этой поверхности.

Восприятие изображения поверхности тела осуществляют оптическим фиксирующим прибором 6, которым может быть фото-, теле-, кино- или видеокамера. Анализ воспринимаемого изображения производят относительно горизонтальной 1 и перпендикулярной ей вертикальной 2 базовых поверхностей.

Анализ результатов измерений воспринимаемого изображения осуществляется на основе сравнения размеров и формы меток, полученных при восприятии изображения поверхности, с размерами и формой эталонной метки.

Так, по соотношению размеров метки, полученных при восприятии изображения указанной поверхности, и размеров эталонной метки определяют удаление от поверхности тела сложной формы, то есть вертикальную координату точки поверхности тела относительно горизонтальной 1 базовой поверхности. А по соотношению формы метки, полученной при восприятии изображения, и формы эталонной метки определяют угол и направление наклона участка этой поверхности относительно вертикальной 2 базовой поверхности.

Для определения остальных координат контролируемых точек поверхности тела сложной формы полученные данные по вертикальным координатам контролируемых точек и направлению наклона участков этой поверхности относительно вертикальной базовой поверхности подвергают обработке на ЭВМ, в процессе которой вводят координатные оси.

При построении поверхности с помощью ЭВМ на основе полученных данных возможны два варианта построения. Первый вариант основан на соединении двух рядом лежащих центров меток по кратчайшему расстоянию. Другим способом является способ соединения двух рядом лежащих точек по некоторому радиусу.

Определим величину радиуса кривизны моделируемой поверхности.

Предположим, что две рядом лежащие точки расположены на поверхности с кривизной радиуса  $R$ . Поверхность между точками может иметь как выпуклость, так и вогнутость. Это будет определяться по

расположению точки пересечения малых осей эллипсов двух рядом лежащих точек. Для уменьшения погрешности  $\Delta$  предлагается определить радиус кривизны  $R$  и соединить точки по найденному радиусу. Для определения радиуса построим окружность в треугольнике, как показано на рисунке 2. Третья сторона треугольника должна быть параллельна горизонтальной базовой поверхности. Углы, образованные касательными  $CD$  и  $CE$ , составляют с этой стороной известные углы  $\alpha$  и  $\beta$ . Угол при вершине  $C$  равен  $180 - (\alpha + \beta)$ . Рассматривая четырехугольник  $ACBO$ , определим угол  $\gamma$  при вершине  $O$ :

$$\gamma = \alpha + \beta.$$

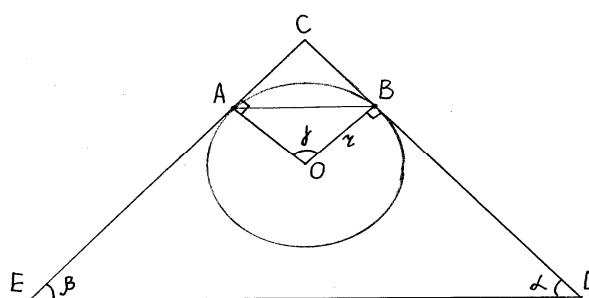


Рис. 2. Определение радиуса кривизны моделируемой поверхности

Обозначив для упрощения расчета расстояние  $AB$  через  $a$ , получим:

$$a = 2R \sin \frac{\gamma}{2}.$$

Выразив из представленного уравнения  $R$ , получим:

$$R = \frac{a}{2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2}}.$$

При построении поверхности на ЭВМ может быть использован любой из двух вышеперечисленных способов.

### Экспериментальная часть

Образцами исследования выбраны лемешно-отвальная поверхность плуга и поверхность крыла автомобиля, показанные на рисунках 3 и 4.

В качестве меток были выбраны круги, вырезанные из бумаги. Диаметр круга метки составляет 17,5 мм. Метки были размещены в контролируемых точках поверхности крыла и плуга. На поверхности плуга разместились 381 метка, а на поверхности крыла – 82.

Затем сделали фотоснимки этих поверхностей. Фотоаппарат для упрощения анализа фотоснимков был расположен

параллельно базовой горизонтальной плоскости.

Далее для контроля результатов анализа фотоснимков необходимо определить реальные координаты центра каждой метки. Эти координаты определялись с помощью лазерного луча, который наводили на центр метки и проецировали его на координатную ось.

Фотографическое изображение поверхностей было сосканировано и распечатано на формат А1 для дальнейшей его обработки.

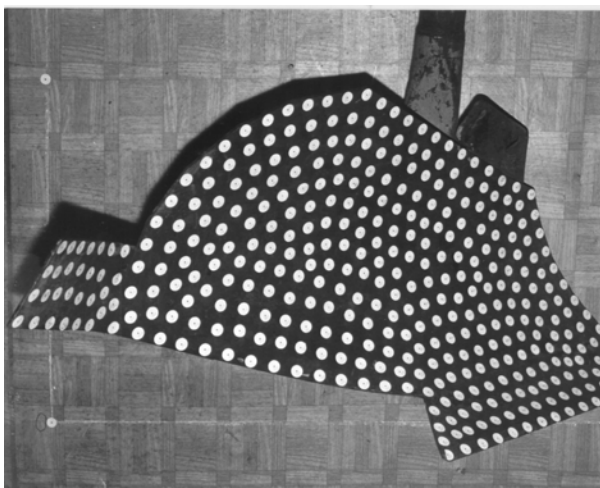


Рис.3. Лемешно-отвальная поверхность плуга

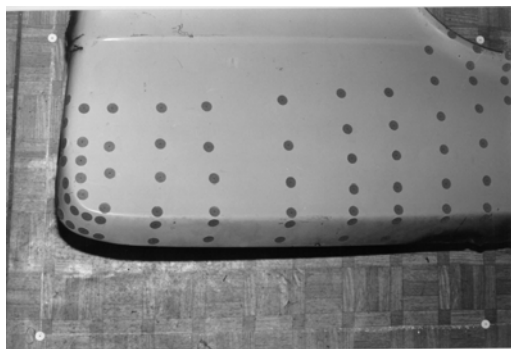


Рис. 4. Поверхность переднего крыла автомобиля

Для обработки полученного изображения необходимо учесть построение изображения с помощью объектива. При съемке объективом изображение получается действительным, уменьшенным и перевернутым. Расстояние до предмета, как правило, превышает удвоенное фокусное расстояние [4].

Для соотношения точки на изображении с точкой на исследуемой поверхности необходимо выполнение следующих условий.

Во-первых, поскольку метки имеют форму круга, любая точка, принадлежащая кругу, должна удовлетворять уравнению сферы:

$$(x - a_x)^2 + (y - a_y)^2 + (z - a_z)^2 = R^2,$$

где  $a_x, a_y, a_z$  – координаты центра окружности;

$x, y, z$  – координаты произвольной точки окружности.

Во-вторых, всякая точка на исследуемой поверхности, принадлежащая одной метке, должна находиться в одной плоскости, следовательно, должна удовлетворять уравнению этой плоскости:

$$\operatorname{tg}\theta(x - a_x) + \operatorname{tg}\beta(y - a_y) + \operatorname{tg}\gamma(z - a_z) = 0,$$

где  $\theta, \beta, \gamma$  – углы наклона прямой к плоскостям  $XOY, YOZ$  и  $XOZ$ .

При соблюдении этих условий необходимо воспользоваться рисунком 5 построения изображения, откуда видим, что координата  $Z$  центра метки относительно горизонтальной базовой плоскости 1  $a_z$  равна:

$$a_z = L_{об} - l_m,$$

где  $l_m$  – расстояние от объектива 3 до центра метки.

Из рисунка 5 получим соотношение:

$$\frac{l_\phi}{l_n} = \frac{l_{об}}{l},$$

где  $l_\phi$  – величина изображения на пленке;

$l_n$  – величина проекции на горизонтальную плоскость размера метки на исследуемой поверхности;

$l_{об}$  – расстояние от объектива до изображения;

$l$  – расстояние от объектива до проекции выбранной точки на вертикальную базовую плоскость.

$$l_m = l_p \sin \theta + l,$$

следовательно,

$$l_m = l_p \sin \theta + \frac{l_{об} l_n}{l_\phi},$$

где  $l_p$  – величина объекта 2 на исследуемой поверхности;

$\theta$  – угол наклона участка поверхности к плоскости  $XOY$ .

$$l_n = l_p \cos \theta.$$

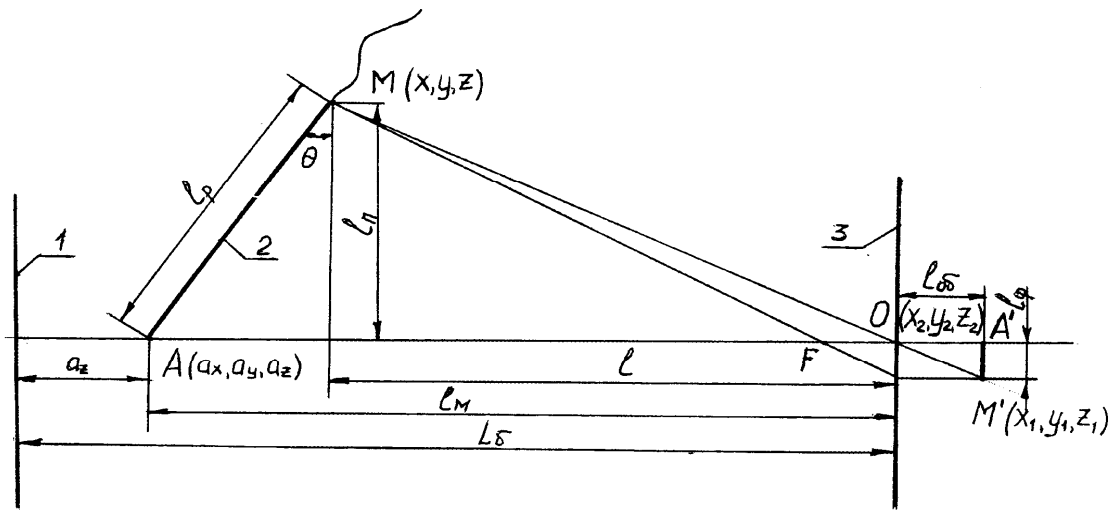


Рис. 5. Построение изображения с помощью фотоаппарата

В итоге, выражение для расчета координаты Z центра метки примет вид:

$$a_z = L_0 - l_p \sin \theta - \frac{l_{00} l_p \cos \theta}{l_\phi}$$

Для расчета углов наклона  $\beta$  и  $\gamma$  участка выбранной поверхности к плоскостям XOZ и YOZ запишем, соответственно, соотношения:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{y}{x}, \operatorname{tg} \gamma = \frac{x}{y}$$

Для нахождения угла  $\theta$  воспользуемся отношением координаты Z произвольно выбранной точки к проекции расстояния до этой точки от начала координат:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

Последним уравнением системы является уравнение прямой, проходящей через две известные точки. Первая точка отображена на фотоснимке, второй точкой является центр фотообъектива, через который проходит заданная прямая. Искомая точка должна лежать на данной прямой:

$$\frac{x - x_1}{x_0 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_0 - y_1},$$

где  $x_1, y_1$  – координаты точки, лежащей на фотоснимке;

$x_0, y_0$  – координаты точки съемки.

Таким образом, система уравнений, позволяющая рассчитать шесть неизвестных величин  $(a_x, a_y, a_z, \theta, \beta, \gamma)$ , имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - a_x)^2 + (y - a_y)^2 + (z - a_z)^2 = R^2; \\ \operatorname{tg} \theta (x - a_x) + \operatorname{tg} \beta (y - a_y) + \operatorname{tg} \gamma (z - a_z) = 0; \\ a_z = L_0 - l_p \sin \theta - \frac{l_{00} l_p \cos \theta}{l_\phi}; \\ \operatorname{tg} \beta = \frac{y}{x}; \operatorname{tg} \gamma = \frac{x}{y}; \operatorname{tg} \theta = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}; \\ \frac{x - x_1}{x_0 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_0 - y_1}. \end{array} \right.$$

Для повышения качества и быстроты обработки экспериментальных данных была разработана программа на языке Delphi, входными величинами которой являются координаты центров меток, полученные в результате съемки, а выходными – координаты реальной поверхности.

Предлагаемый способ определения координат может быть использован для достаточно широкого круга исследований.

### Результаты эксперимента

При проведении исследований необходимо учитывать следующее:

- 1) нумерацию меток, расположенных на исследуемой поверхности, необходимо соотносить с нумерацией, выполняемой ЭВМ; в противном случае необходимо инициализировать каждую метку;
- 2) расчет с помощью ЭВМ предполагает нумерацию, начиная с левого верхнего угла экрана, система координат при этом левосторонняя;
- 3) для упрощения анализа экспериментальных данных желательно нанести координатную сетку на саму исследуемую поверхность;
- 4) для машинной обработки результатов эксперимента желательно использо-



вать метки прямоугольной или квадратной формы с известными длинами сторон; это приведет к повышению точности расчета координат центров меток.

При расчете координат центров эллипса измерительно-расчетным методом относительная погрешность измерения координат этих точек составила по координате  $x$  4,25%, по координате  $y$  – 6,57 и по координате  $z$  – 6,29%.

При расчете координат этих точек с помощью разработанной программы погрешности составляют: по координате  $x$  – 1,04%, по координате  $y$  – 2,1% и по координате  $z$  – 5,4%.

Лемешно-отвальная поверхность корпуса плуга, построенная на ЭВМ, изображена на рисунке 6.

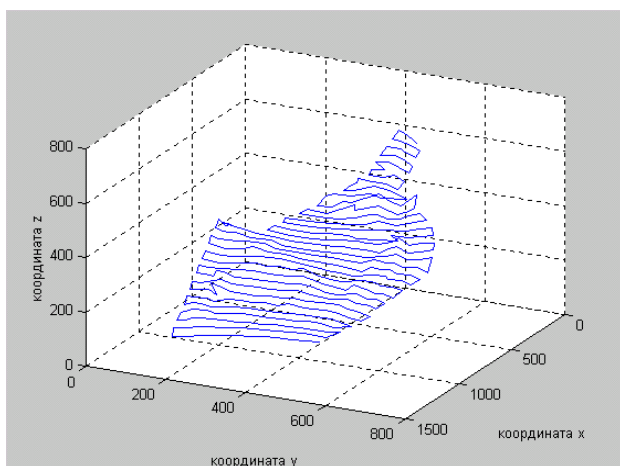


Рис. 6. Лемешно-отвальная поверхность корпуса плуга, построенная на ЭВМ



### Вывод

Разработанный способ позволяет достаточно точно описывать исследуемую поверхность и при необходимости моделировать ее на ЭВМ без применения дорогостоящего оборудования.

### Библиографический список

1. Пат. 1245875 Россия, М. кл. G 01B 11/16. Способ измерения деформаций изделий / А.А. Новиков, А.С. Сыпалов. Оpubл. 23.07.86, Бюл. № 27. Приоритет 12.04.84, № 3724006/25-28.
2. Пат. 1254292 Россия, М. кл. G 01B 11/24. Способ контроля профиля криволинейных поверхностей / Е.С. Шаньгин. Оpubл. 30.08.86, Бюл. № 32. Приоритет 04.06.84, № 3764268/24-28.
3. Пат. 2162591 Россия, М. пл<sup>5</sup>, G 01B 11/24, 11/16. Способ определения координат точек и ориентации участков поверхности тела сложной формы / А.С. Павлюк, С.Н. Бизяев, А.С. Баранов, С.А. Павлюк. Оpubл. 27.01.2001, Бюл. № 3 (ч. II). Приоритет 09.11.99, № 99123687/28.
4. Свердлов М.Ю. Физика. Часть III. Оптика. Атомная и ядерная физика: учебное пособие / М.Ю. Свердлов. – Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – 156 с.