

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕЗЦА С ГРУНТОМ НА ЧЕРТЕЖЕ РАДИЩЕВА

*Кузнецов И.С.*

*Омский государственный технический университет, Омск*

**Ключевые слова:** гиперплоскость, гиперповерхность, чертеж Радищева, многомерная геометрия.  
**Аннотация.** В статье рассматриваются способы построения моделей четырехмерного пространства, их сравнение и возможность построения и исследования зависимости силы резания грунта резцом фрезерного рабочего оборудования экскаватора. Для решения поставленной задачи выполнено построение зависимостей параметров с использованием чертежа Радищева. Сделан вывод о влиянии параметров на силу резания грунта резцом.

## VISUALIZATION OF THE DEPENDENCIES OF THE PARAMETERS CHARACTERIZING THE INTERACTION OF THE CUTTER WITH THE SOIL IN THE RADISHCHEV DRAWING

*Kuznetsov I.S.*

*Omsk State Technical University, Omsk*

**Keywords:** hyperplane, hypersurface, Radishchev's drawing, multidimensional geometry.

**Abstract.** The article discusses methods for constructing models of four-dimensional space, their comparison and the possibility of constructing and studying the dependence of the cutting force of the soil by the cutter of the milling working equipment of the excavator. To solve the problem, the dependences of the parameters were constructed using Radishchev's drawing. The conclusion is made about the influence of parameters on the force of cutting the soil with a cutter.

### **Введение**

Начертательная геометрия позволяет наглядно представлять зависимости, полученные математическим путем, в виде графических моделей, с помощью которых можно анализировать характеристики исследуемых процессов. Ранее были выполнены теоретические исследования процесса резания грунта резцом фрезерного рабочего оборудования экскаватора [1, 2]. Рассмотрим пример использования построения кривых в многомерном пространстве для графического представления силы резания наконечника резца от скорости и угла резания.

### **Теоретические исследования**

Проведенный обзор литературы показал, что существует множество способов графического представления объектов многомерного пространства. Простейшим способом является проецирование геометрических объектов четырехмерного пространства с использованием гиперэпюр Наумовича [3]. Модель четырехмерного пространства задана при помощи проекций точек  $A(x_a, y_a, z_a, t_a) - A_1(x_a, y_a, z_a, t_a), A_2(x_a, y_a, z_a, t_a)$  (рис. 1а).

Еще одна разновидность модели четырехмерного пространства рассмотрена в работе [4]. Ее система координат представлена шестью взаимно перпендикулярными плоскостями  $xu, xv, xt, yz, yt, zt$  и четырьмя взаимно перпендикулярными гиперплоскостями  $xuz, xvt, xzt, yzt$  (рис. 1б).

Способ построения многомерного пространства при помощи разнесенных аксонометрических и ортогональных чертежей был предложен В.П. Болотовым, который продолжил исследования П.В. Филиппова [5]. Данный способ предполагает увеличение количества аксонометрических и ортогональных чертежей при увеличении размерности. Автор исследования предлагает параллельно разнести гиперплоскости  $xuz$  и  $xut$  на отдельные чертежи. При этом возникает необходимость дублировать ось  $x$  на указанных чертежах (рис. 1в).

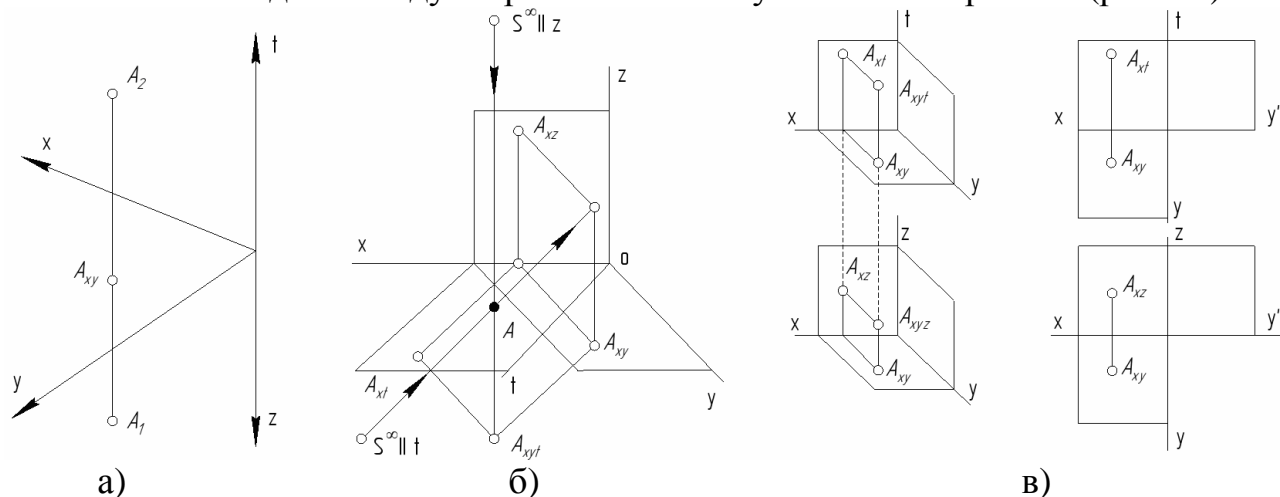


Рис. 1. Способы графического представления объектов многомерного пространства: а) модель четырехмерного пространства гиперэпюр Наумовича; б) модель четырехмерного пространства; в) модель четырехмерного пространства Болотова

Основным недостатком выше указанных способов моделирования многомерного пространства является увеличение их размера по мере возрастания размерности. Кроме того, при построении возникают сложности с выбором удобной ориентации чертежа в связи с наложением координатных плоскостей.

Для решения задачи визуализации зависимостей параметров, характеризующих взаимодействие резца с грунтом, заключающейся в графическом определении степени влияния переменных в полученной ранее аналитической зависимости силы резания наконечника резца от скорости и угла резания, наиболее рационально использовать модель четырехмерного пространства чертежа Радищева [6-8].

Построим чертеж Радищева для исследования зависимости силы резания наконечника резца от скорости и угла резания. Эта зависимость включает в себя три переменные: категорию грунта, скорость и угол резания. Каждая из этих переменных может изменяться в исследуемом диапазоне, отражающем реальные условия работы резца, установленного на фрезерное рабочее оборудование экскаватора [1, 2]. Сила резания вычисляется по зависимости

$$F = C_y \cdot 44,21 \cdot v^{0,3078} \cdot \alpha_p^{0,2106}, \quad (1)$$

где  $C_y$  – число ударов ударника ДорНИИ;  $v$  – скорость резания, м/с;  $\alpha_p$  – угол резания, рад.

### Практические результаты

Зададим следующие диапазоны изменения переменных, входящих в исследуемую зависимость: число ударов ударника ДорНИИ (6-14), скорость

резания (0,2-1,8 м/с), угол резания (0,6-1,6 рад.). Представим зависимость (1) в графическом виде при  $C_y=5$  (рис. 2). Заметим, что зависимость, представленная на рисунке 2 не отражает влияние параметра  $C_y$  на силу резания  $F$ .

Влияние параметра  $C_y$  может быть исследовано с использованием чертежа Радищева. Для построения чертежа Радищева принимаем по три постоянных значения числа ударов ударника ДорНИИ и скорости резания (крайние и среднее значения диапазона). Изменяемая переменная – угол резания, во всех значениях диапазона. В верхней части чертежа Радищева получим линии, отражающие характер изменения силы резания от изменения переменных, входящих в зависимость (рис. 3).

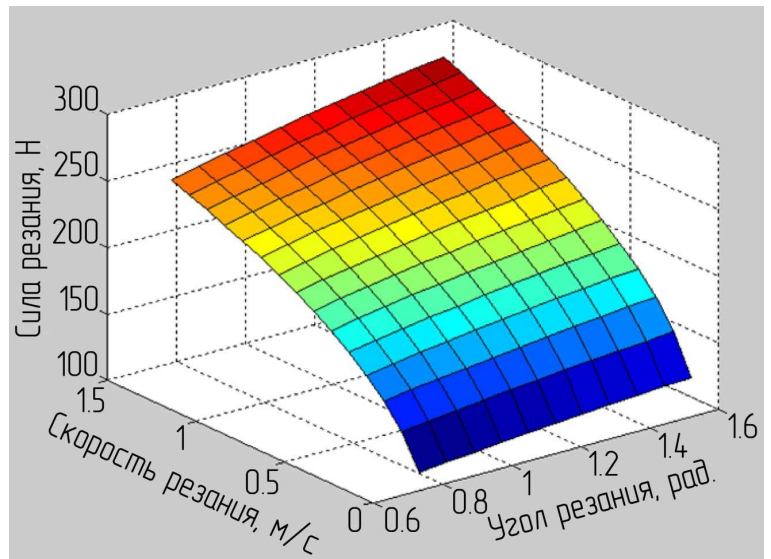


Рис. 2. Зависимость силы резания наконечника от скорости и угла резания

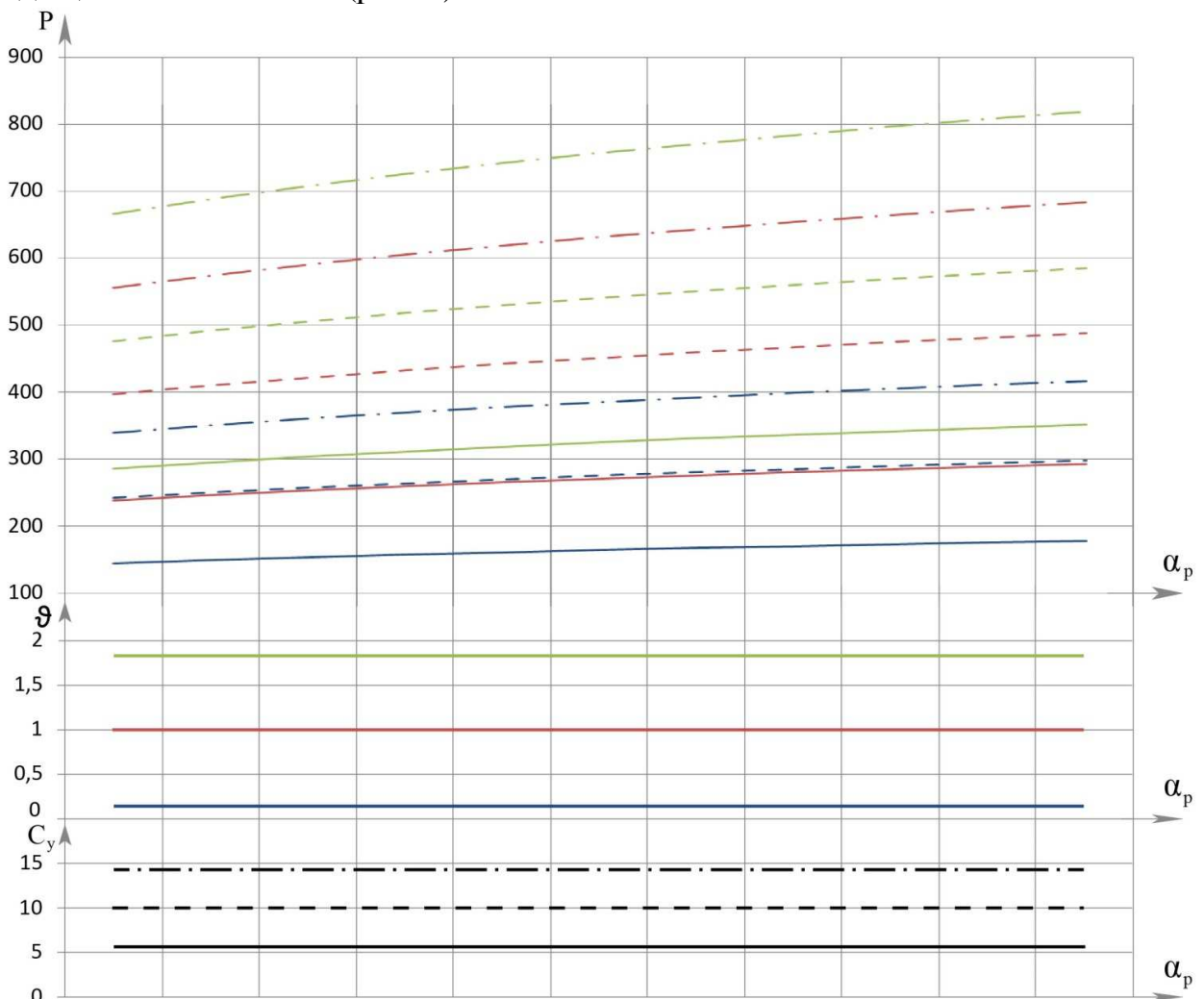


Рис. 3. Представление зависимостей параметров (1) с использованием чертежа Радищева

## Заключение

Исходя из построения кривых двойного уровня гиперповерхности, отражающей зависимость (1) на чертеже Радищева видно, что наибольшее влияние на параметр  $F$  оказывает число ударов ударника ДорНИИ. При этом возникает линейное возрастание результатов силы резания. Коэффициенты  $\nu$  и  $\alpha_p$  оказывают меньшее влияние, так как показатель степени меньше 1.

## Список литературы

1. Кузнецов И.С. Теоретические исследования процесса взаимодействия резца фрезерного рабочего оборудования экскаватора с грунтом // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18, №1(77). – С. 42-50. – DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-1-42-50.
2. Кузнецов И.С. Расчет сил сопротивления резанию фрезерным рабочим оборудованием экскаватора // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных: Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2020. – С. 11-14.
3. Юрков В.Ю. Геометрическая модель принятия решения в условиях оптимального состояния динамической системы // Динамика систем, механизмов и машин: тез. докл. III Междунар. науч.-техн. конф. – Омск: Омск. гос. техн. ун-т, 1999. – С. 118-119.
4. Болотов В.П. Начертательная геометрия многомерного пространства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://vm.msun.ru/Autor/Dis\\_dokt/Ngeo\\_mng.htm](http://vm.msun.ru/Autor/Dis_dokt/Ngeo_mng.htm).
5. Филиппов П.В. Начертательная геометрия многомерного пространства и ее приложения: монография. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1976. – 280 с.
6. Радищев В.П. О применении геометрии четырех измерений к построению равновесных физико-химических диаграмм // Изв. Сектора физ.- хим. анализа. – 1947. – Т. 15. – С. 129-134.
7. Притыкин Ф.Н., Небритов В.И. Графическая оптимизационная модель процесса сварки изделий роботом на чертеже Радищева // Программные системы и вычислительные методы. – 2021. – № 2. – С. 63-73. – DOI: 10.7256/2454-0714.2021.2.35507.
8. Притыкин Ф.Н. Моделирование гиперповерхностей, отражающих взаимосвязь кинематических параметров механизма андроидного робота // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2022. – Т. 19, №7(217). – С. 21-29. – DOI 10.14489/vkit.2022.07.pp.021-029.

## Сведения об авторе:

*Кузнецов Илья Сергеевич* – аспирант.