

Дипломная работа

**по специальности «Прикладная математика и
администрирование информационных систем»**

студента Нилова Вадима Валерьевича

**на тему «Разработка САЕ системы для моделирования
процессов обработки металлов давлением в двумерной
постановке»**

**Руководитель работы: ассист. Рассказов Александр
Александрович**

Обработка металлов давлением

Объемная



Штамповка



Листовая



- Получение деталей минимальной массы
- Высокая точность размеров и качество поверхности
- Простота механизации и автоматизации процессов
- Хорошая приспособляемость

Существующие CAE системы

Пакеты общего назначения:

- **ANSYS**
- **Abaqus**

Специализированные пакеты:

- **DeForm**
- **AutoForm**
- **PamStamp**
- **QForm**

Жестко-пластическая модель с изотропным упрочнением

Уравнение (квазистатического) равновесия:

$$\sigma_{ij,j} \equiv \sigma_{ij,j} + \sigma_{m,j} = 0 \quad \text{в } \Omega$$

Уравнение несжимаемости (следствия уравнения неразрывности):

$$u_{i,i} \equiv \dot{\varepsilon}_{ii} = 0 \quad \text{в } \Omega$$

Определяющие соотношения (Сен-Венана—Леви—Мизеса):

$$\sigma'_{ij} = \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}}{\dot{\bar{\varepsilon}}} \dot{\varepsilon}_{ij} \quad \text{в } \Omega$$

Выражение для скорости пластической деформации:

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2} (v_{i,j} + v_{j,i}) \quad \text{в } \Omega$$

Кривая упрочнения:

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\varepsilon}) \quad \text{в } \Omega$$

Кинематические граничные условия:

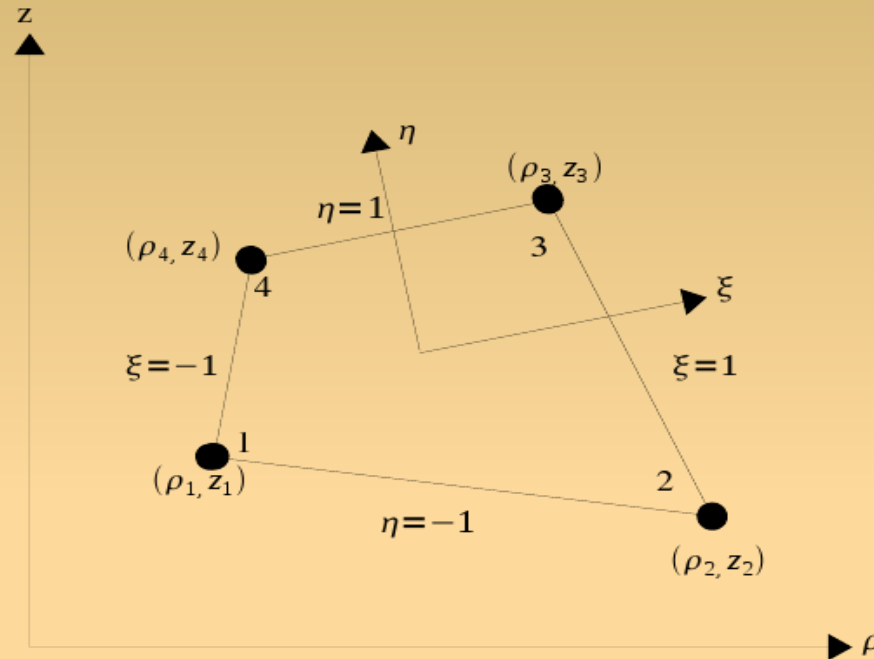
$$v_i = \hat{v}_i \quad \text{на } \Gamma_u$$

Силовые граничные условия:

$$\sigma_{ij} n_j = \hat{t}_i \quad \text{на } \Gamma_t$$

и контактные граничные условия с учётом трения.

Алгоритм метода конечных элементов



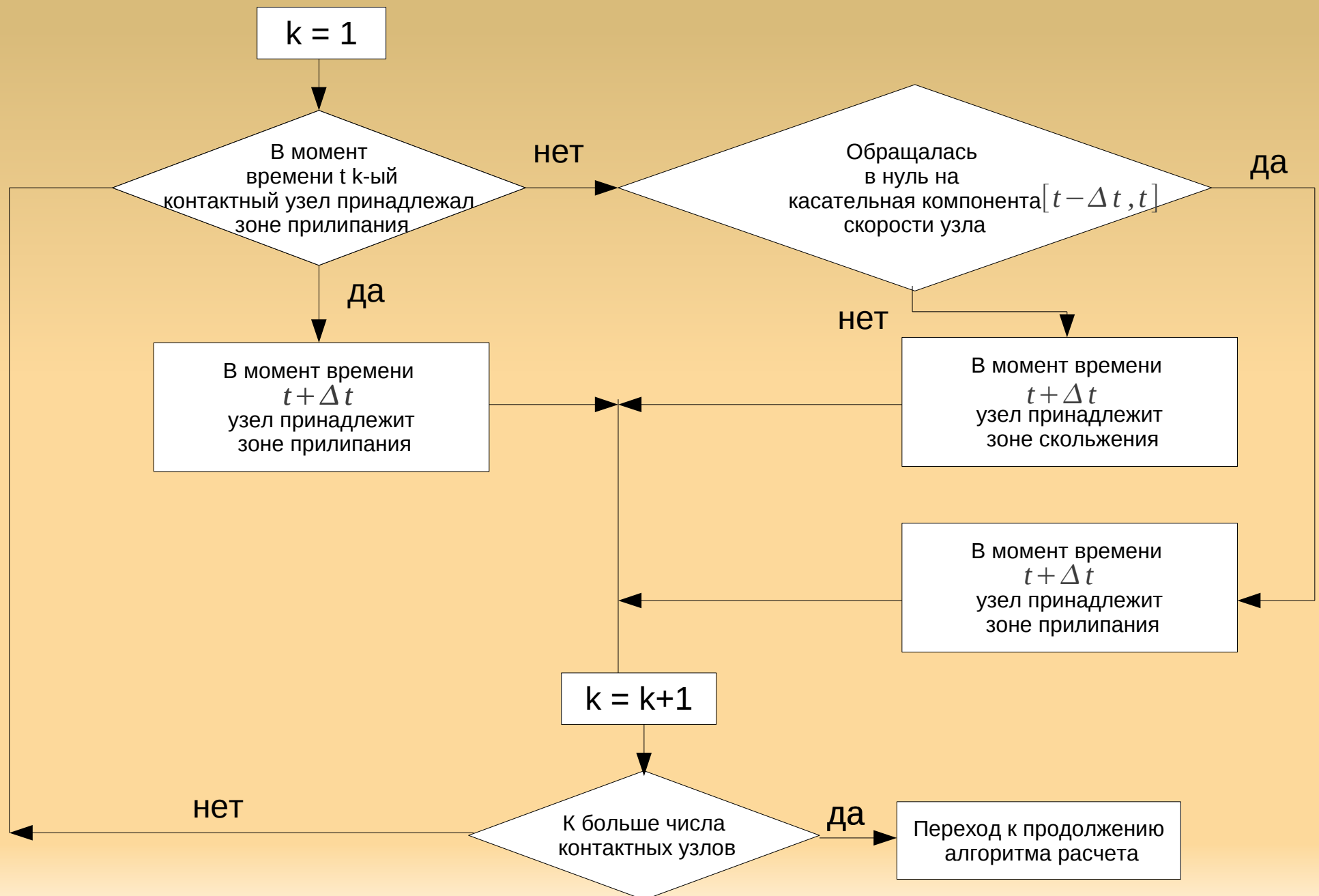
Функционал баланса мощности:

$$\frac{\partial \pi}{\partial U} = \int_{V_j} \frac{\bar{\sigma}}{\dot{\bar{\epsilon}}} B^t D B U dV + \int_{V_j} K B^T C B U dV - \int_{S_{F_j}} N F dS = 0$$

Алгоритм метода конечных элементов

1. Вычисление локальной матрицы жесткости
2. Ассамблирование глобальной матрицы жесткости
3. Введение кинетических граничных условий
4. Нахождение скорости минимизацией функционала баланса мощности при помощи метода Ньютона
5. Обновление конфигурации узлов

Алгоритм МКЭ. Реализация контактного алгоритма

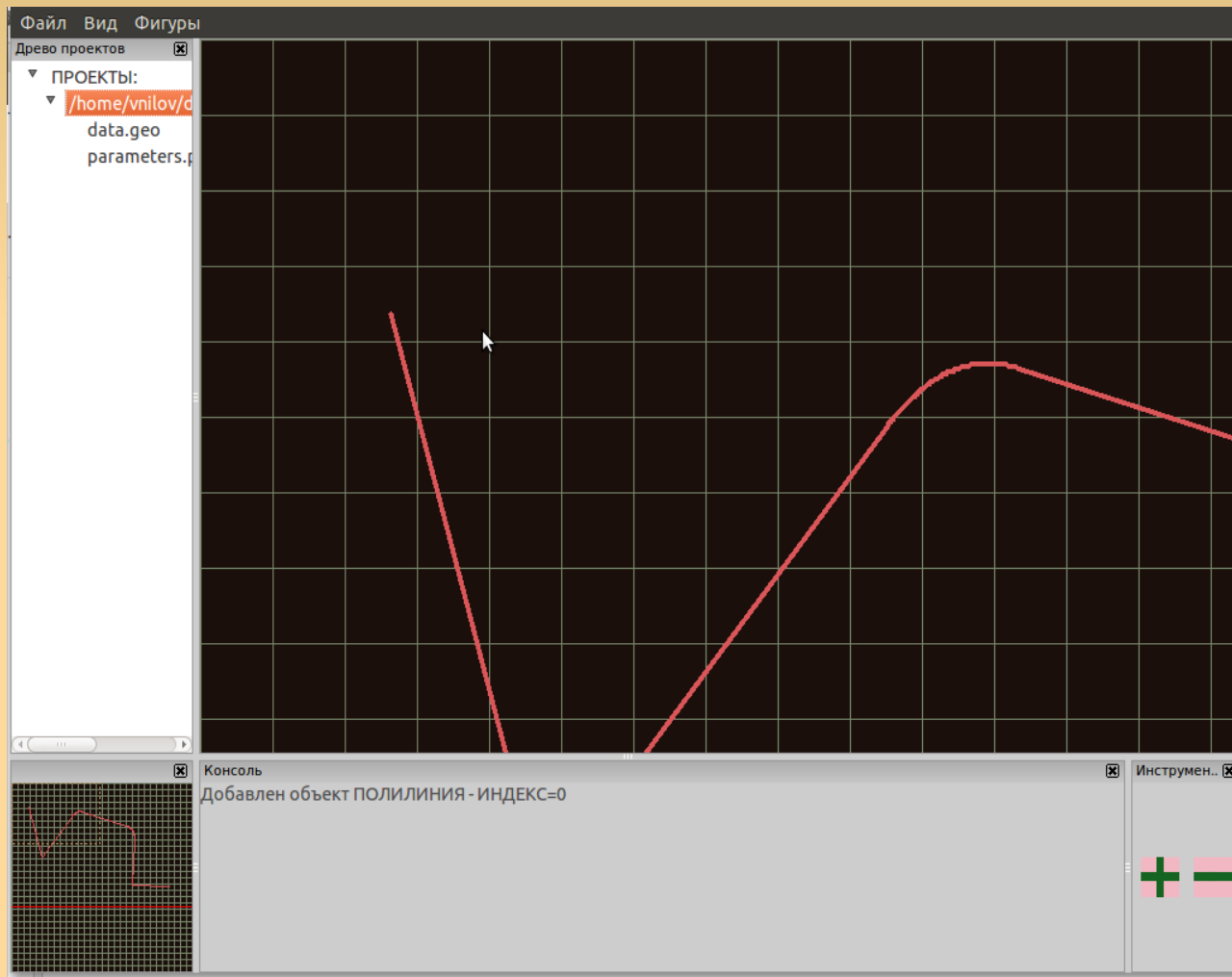


Особенности реализации

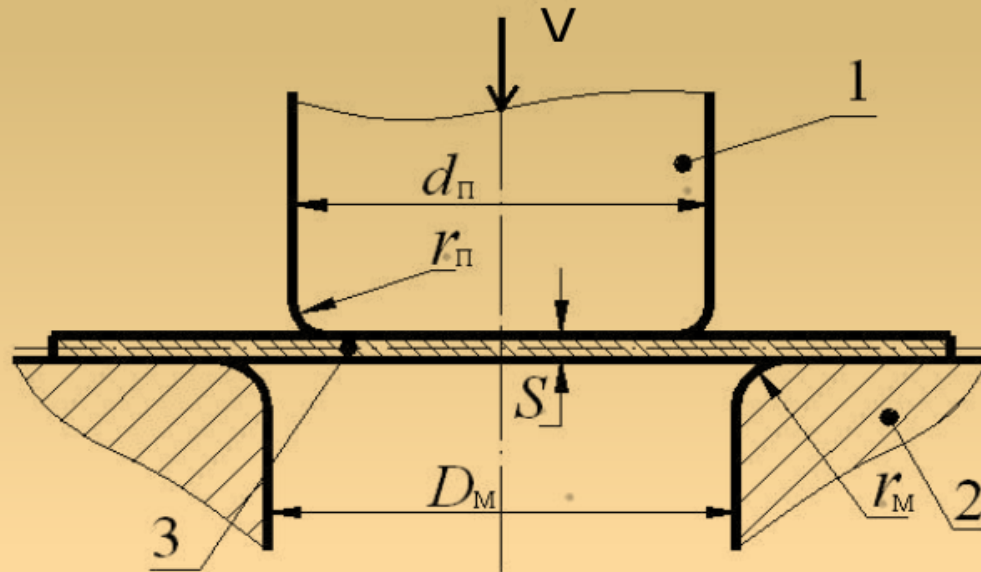
- **wxWidgets**
- **PaStiX (Parallel Sparse matrix package)**
- **HDF5**
- **DXF Library**
- **Алгоритм построения изолиний**
- **boost::ublas**

Особенности реализации

Окно программы подразделяется на пять независимых друг от друга модулей:



Апробация



1. Пуансон

2. Матрица

3. Заготовка

$d_{\text{п}} = 15,00$ мм - диаметр пуансона

$D_{\text{м}} = 17,74$ мм - диаметр матрицы

$S = 1,00$ мм - толщина заготовки

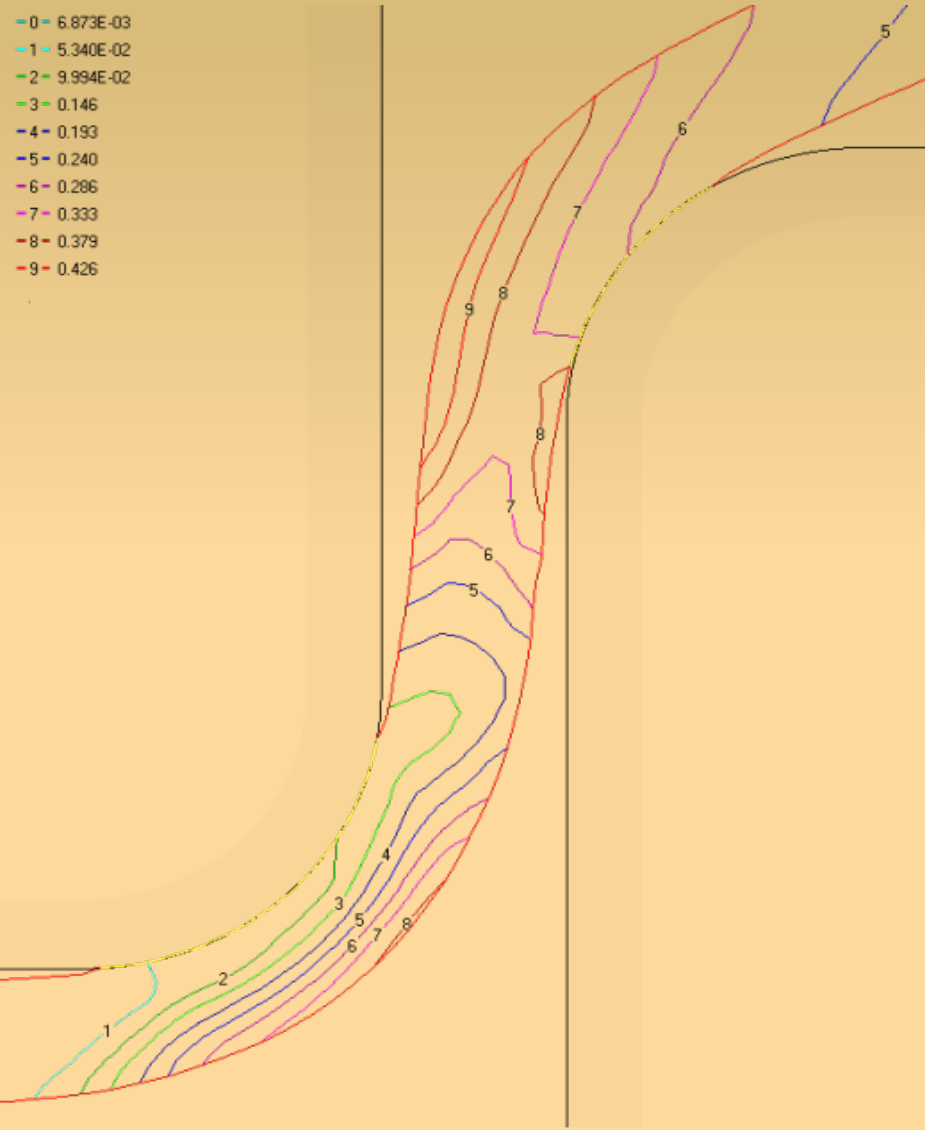
$r_{\text{п}} = 2,2$ мм - радиус скругления пуансона

$r_{\text{м}} = 2,2$ мм - радиус скругления матрицы

$V = 3$ мм/с - скорость пуансона

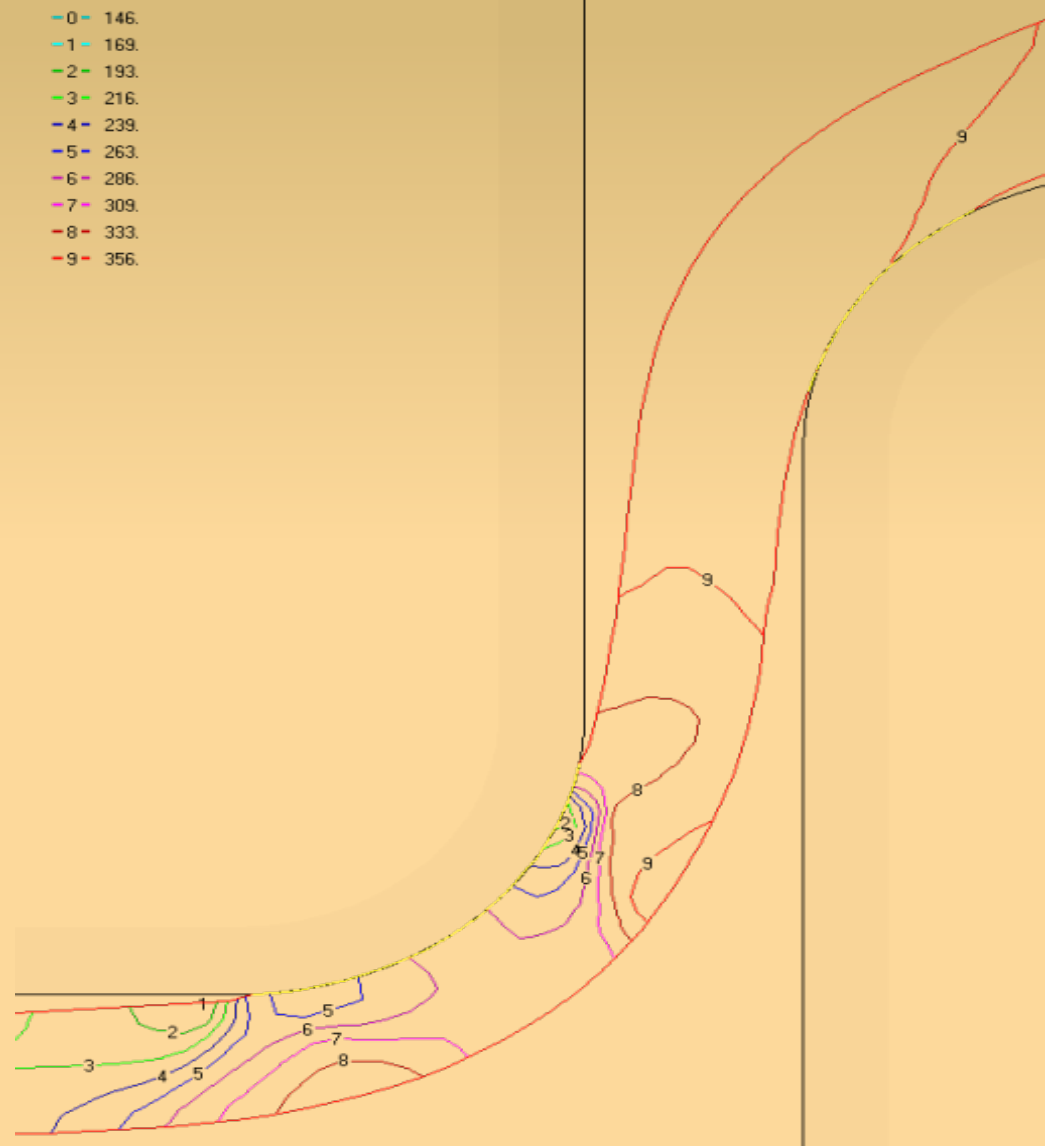
Результаты апробации

0 - 6.873E-03
1 - 5.340E-02
2 - 9.994E-02
3 - 0.146
4 - 0.193
5 - 0.240
6 - 0.286
7 - 0.333
8 - 0.379
9 - 0.426



ϵ_i

0 - 146.
1 - 169.
2 - 193.
3 - 216.
4 - 239.
5 - 263.
6 - 286.
7 - 309.
8 - 333.
9 - 356.



S_i

Заключение

- Разработан расчетный модуль для решения осесимметричной задачи без учета трения на поверхности заготовка-штамп.
- Создан графический интерфейс для создания и редактирования геометрий штампов и заготовок, а также визуализации результатов расчетов.