



# Оптимизация планов капитального строительства линейных объектов на базе многофакторного анализа с учётом геологических ограничений

Выполнил:  
студент 431 группы  
Степанов Сергей

Научный руководитель

Просолупов Е.В.

Рецензент

Ашихмин И.А.

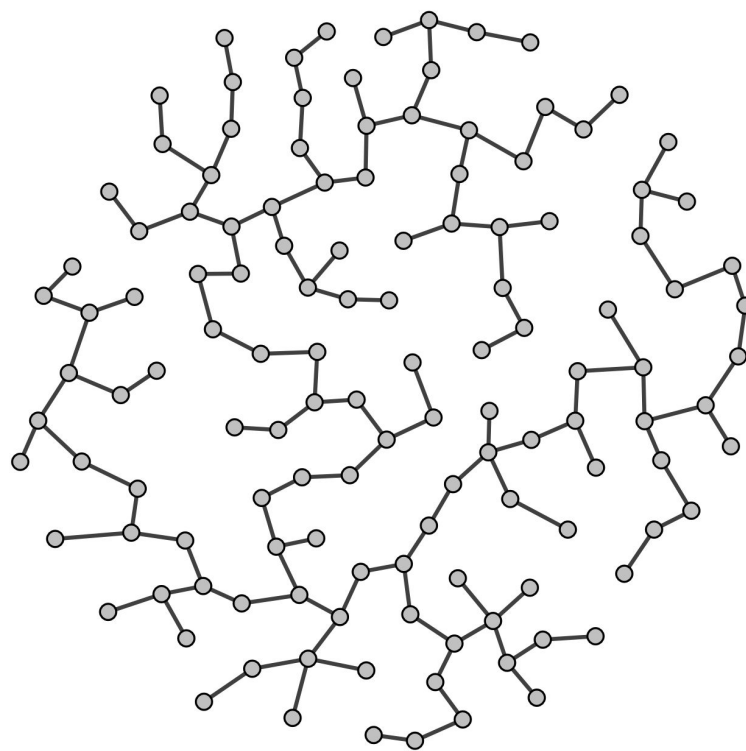




- область расчётов  $Q$  — проекция поверхности  $\hat{S}$  на плоскость  $xOy$ ;
- множество объектов  $P = \{(x_i, y_i) \in Q, i = \overline{1..n}\}$ ;
- множество областей  $A = \{\{x_j, y_j\}_{j=1}^{n_i} \in Q, i = \overline{1..m}\}$ ;
- множество линейных объектов  $L = \{\{x_j, y_j\}_{j=1}^{n_i} \in Q, i = \overline{1..k}\}$ ;
- функция строительных затрат  $c : \{Q \rightarrow \mathbb{R}, \forall (x, y) \in Q : c(x, y) \geq 0\}$ ;
- функция, задающая высоту точки  $h : \{Q \rightarrow \mathbb{R}, \forall (x, y) \in Q\}$ .



Реализация программы в результате работы которой должна быть построена сеть линейных объектов  $N = \{\{x_j, y_j\}_{j=1}^{n_i} \in Q, i = \overline{1..s}\}$  оптимальная по заданным параметрам.





1. Определить способ вычисления стоимости строительства линейного объекта.
2. Проанализировать основные существующие алгоритмы и реализовать оптимальный:
  - для построения пути между двумя объектами;
  - для построения сети линейных объектов.
3. Исследовать различные случаи для тестирования работы программы.



# Вычисление стоимости строительства



Любой линейный объект можно представить в виде ломаной  $L = \{\{A_i, B_i\}_{i=0}^n$ , где  $A_i, B_i \in Q$ . Стоимость строительства каждого прямого отрезка  $AB_i$ , заданного параметрически, можно представить в виде значения функции  $C_{AB_i}$ :

$$AB_i: \begin{cases} x = x(t), \\ h = h(x(t)), \\ c = c(x(t)) \end{cases} \quad t \in [0, 1], \text{ где } [0, 1] - \text{отрезок параметризации.}$$

$$C_{AB_i} = \int_{AB_i} c(x(t)) \sqrt{\left[ g_{\alpha\beta}(x(t)) + \frac{\partial h}{\partial x_\alpha} \cdot \frac{\partial h}{\partial x_\beta} \right] \dot{x}_\alpha \dot{x}_\beta} dt,$$

где  $g$  — метрический тензор расстояния на поверхности Земли без учета рельефа.

# Вычисление стоимости строительства



Стоимость строительства линейного объекта  $C_L = \sum_{i=0}^n C_{AB_i}$

Стоимость строительства сети линейных объектов  $C_N = \sum_{j=0}^m C_{L_j}$

Общее решение задачи  $N_{res} = \underset{N}{\operatorname{argmin}}(C_N)$ .

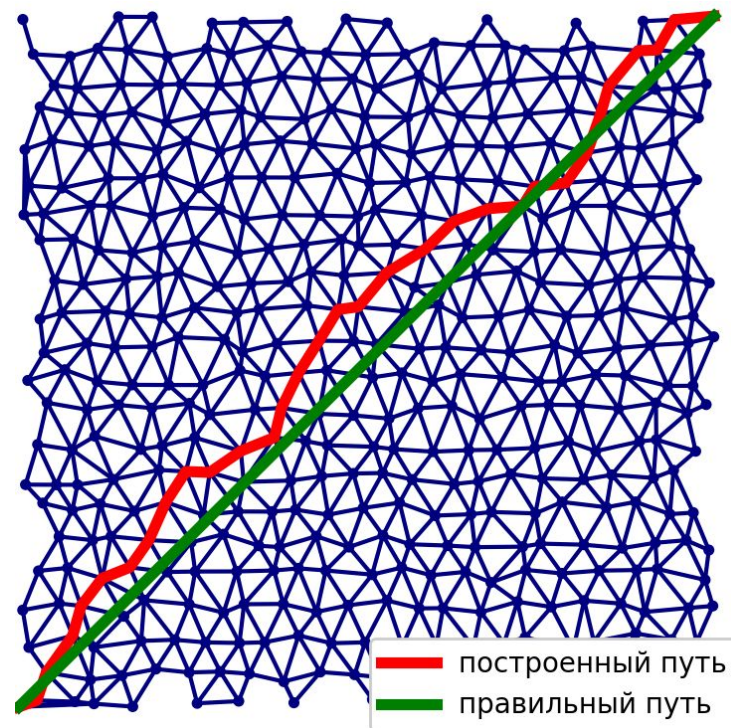
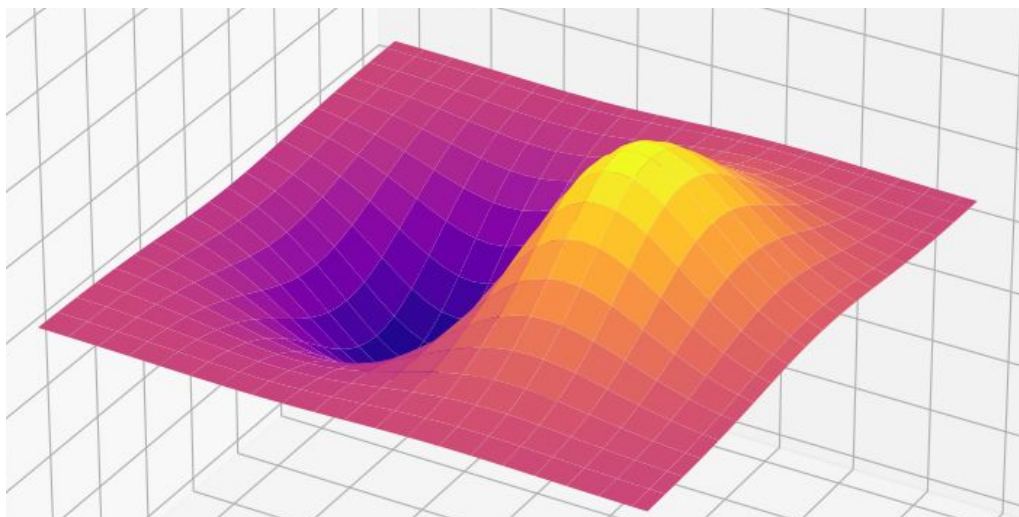
# Поиск оптимального пути



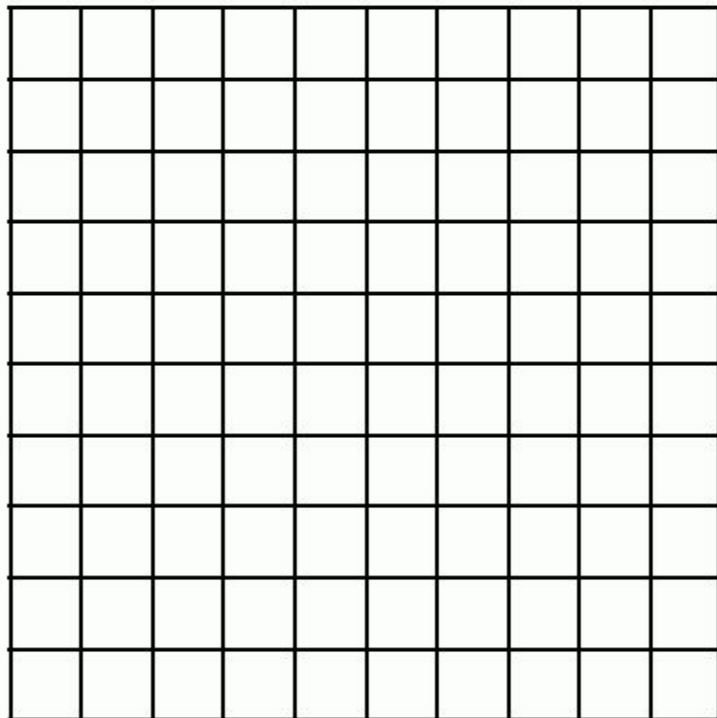


# Поиск оптимального пути

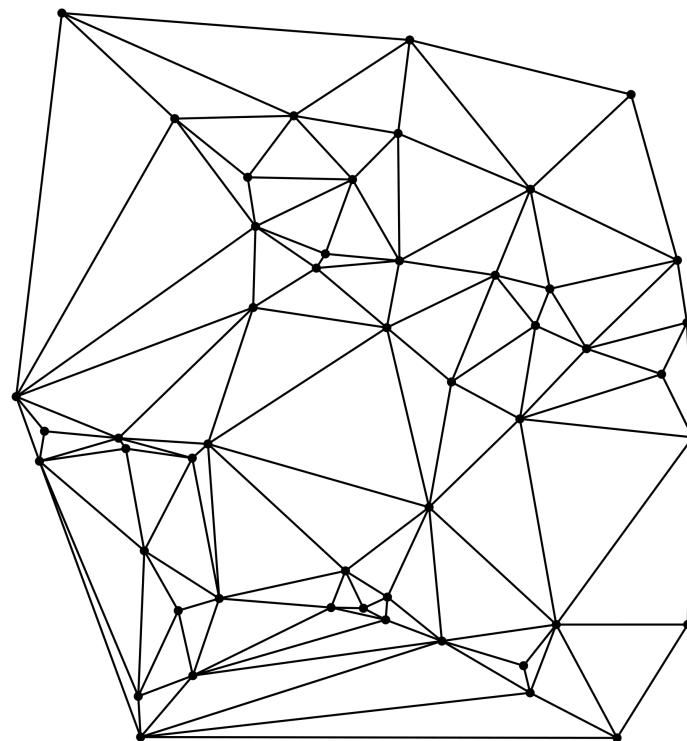
- Генерация вычислительной сетки;
- Построение графа на основе сетки;
- Вычисление кратчайшего пути на графе между двумя вершинами.



# Генерация сетки



Равномерная  
сетка



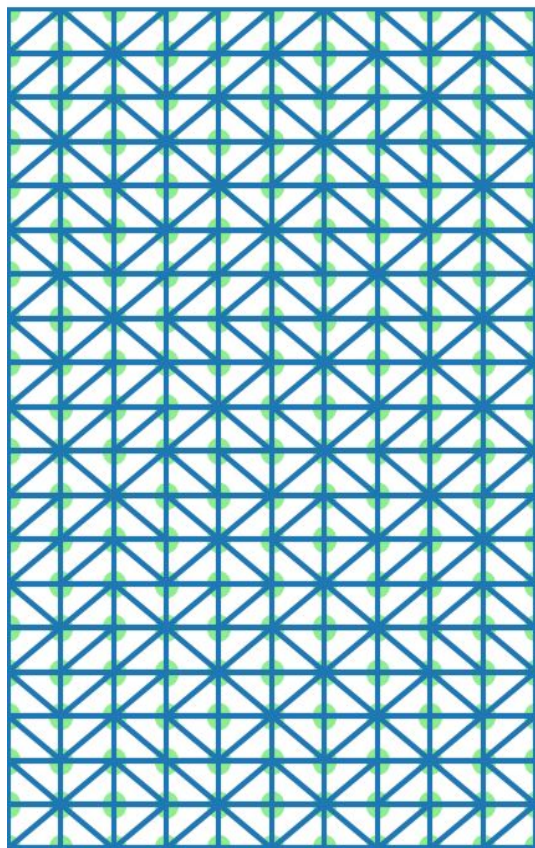
Неравномерная сетка



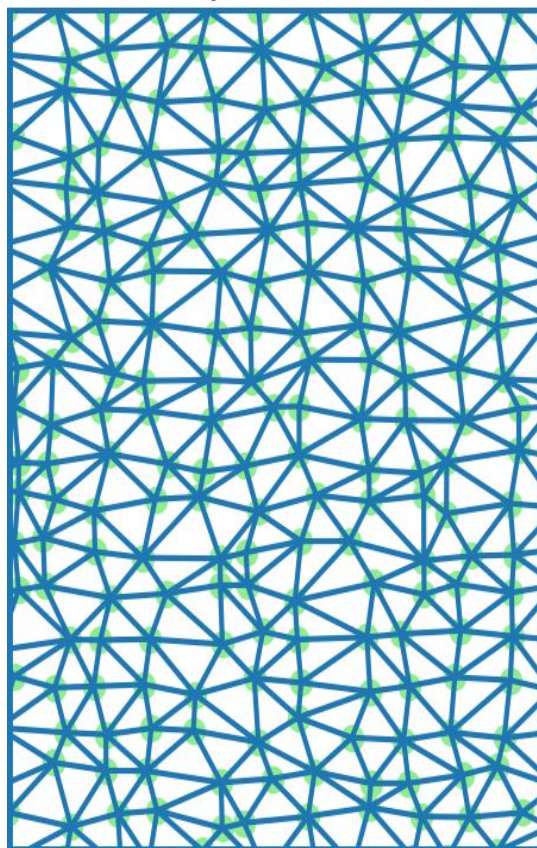
# Выбор сетки



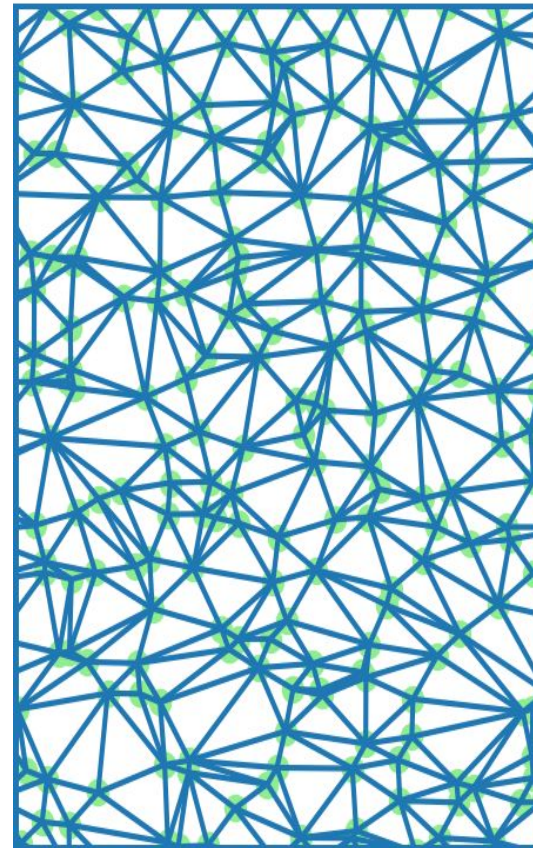
$\gamma: 0.0$



$\gamma: 0.6$



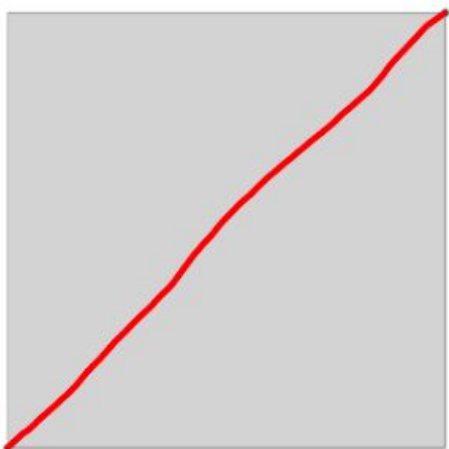
$\gamma: 1.6$





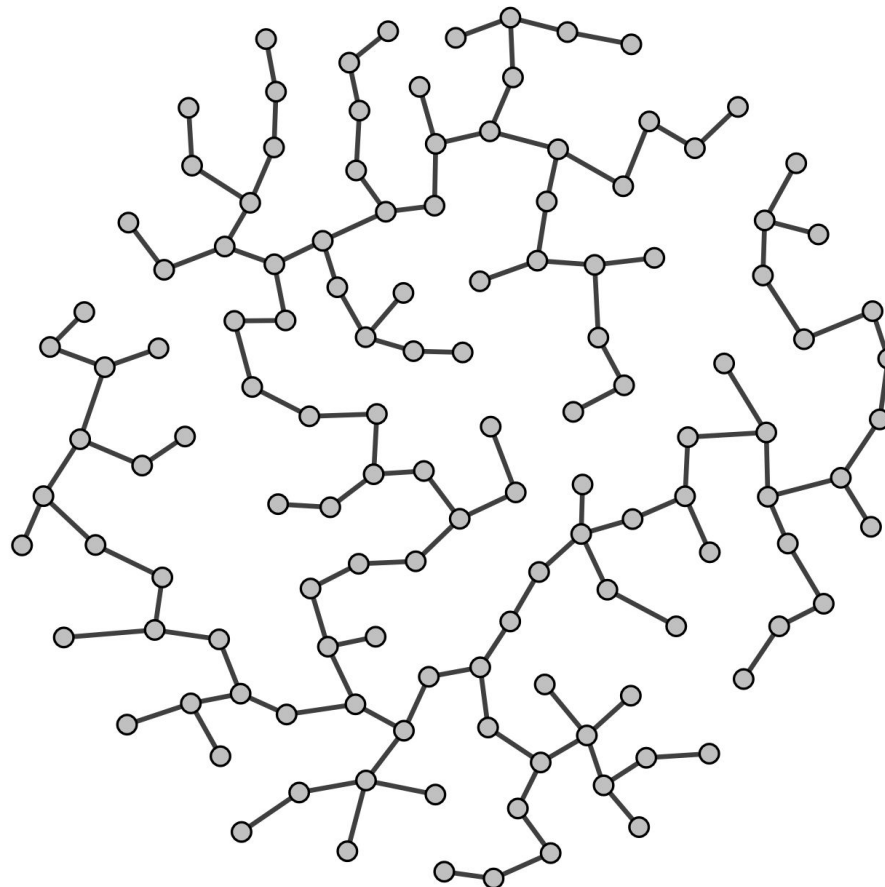
Карта	Ошибка, %	$d$ , м	$\gamma$
1	3.973	500 м	2.0
2	2.029	500 м	1.4
3	3.731	300 м	1.2
4	1.734	100 м	2.0
5	1.600	300 м	1.8

Таблица 1. Наилучшие результаты для начального пути



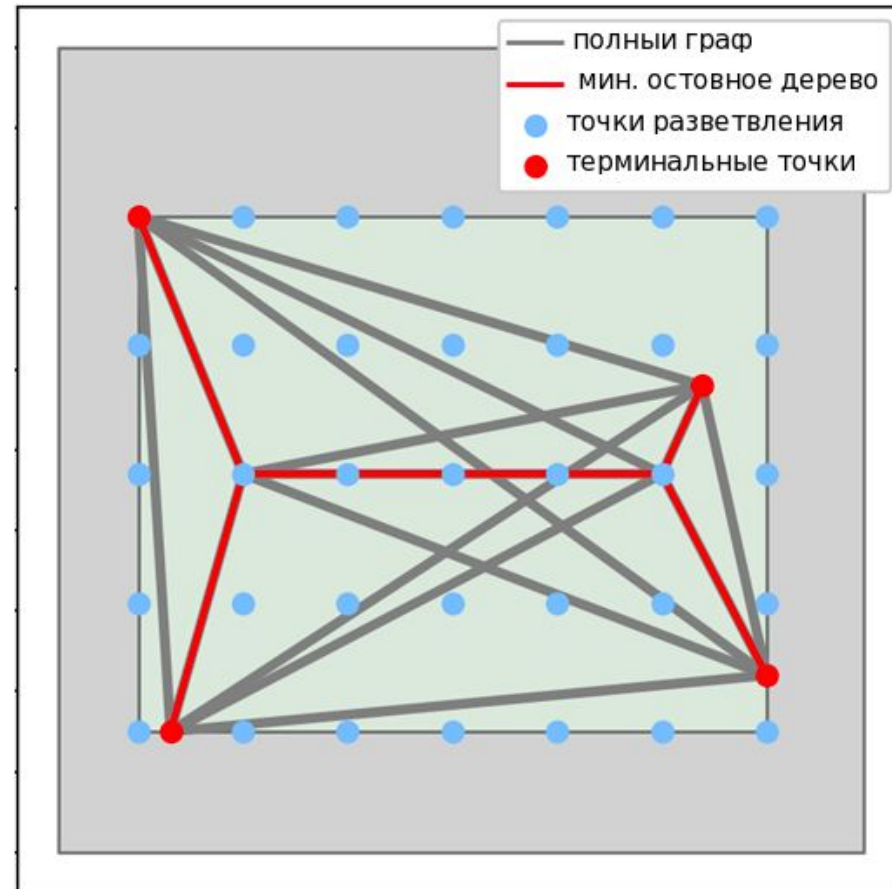
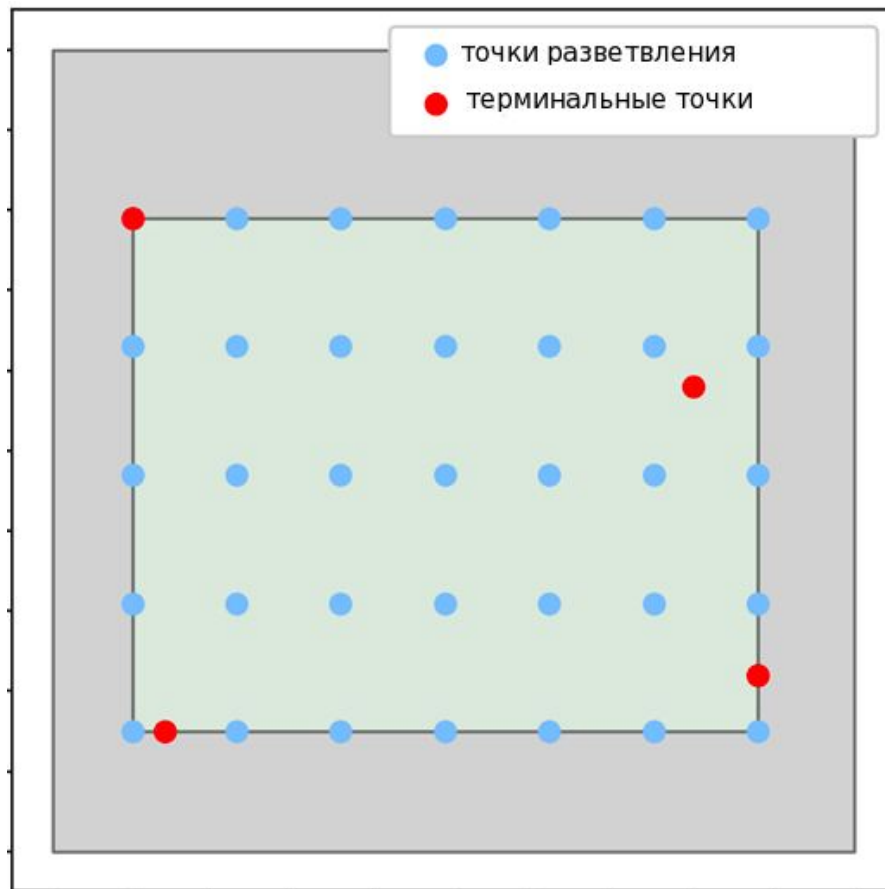
Карта	Ошибка, %	$d$ , м	$\gamma$	$w$
1	0.018	150 м	0.8	322
2	0.055	100 м	0.2	370
3	0.011	500 м	0.8	29
4	0.099	100 м	0.6	530
5	0.025	150 м	0.6	283

Таблица 2. Наилучшие результаты для сглаженного пути

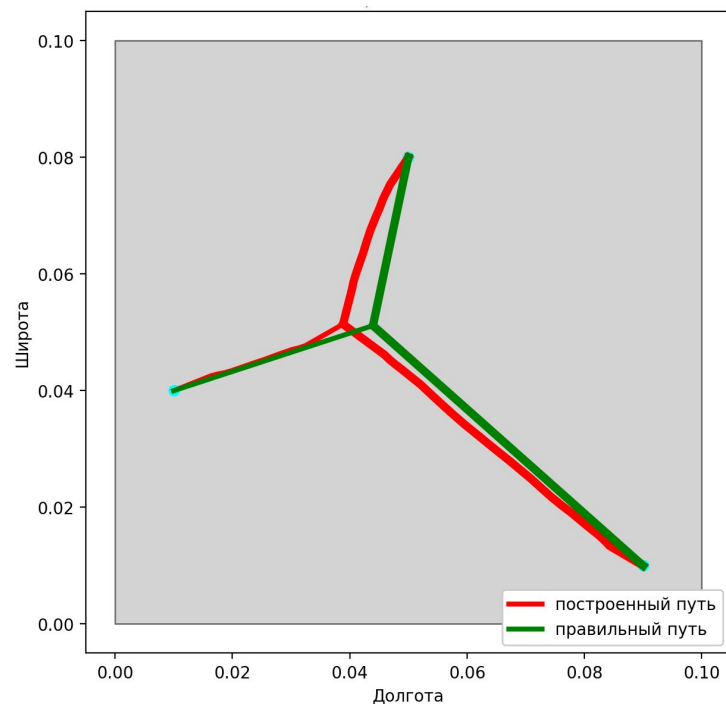




# Построение оптимальной сети



# Построение оптимальной сети

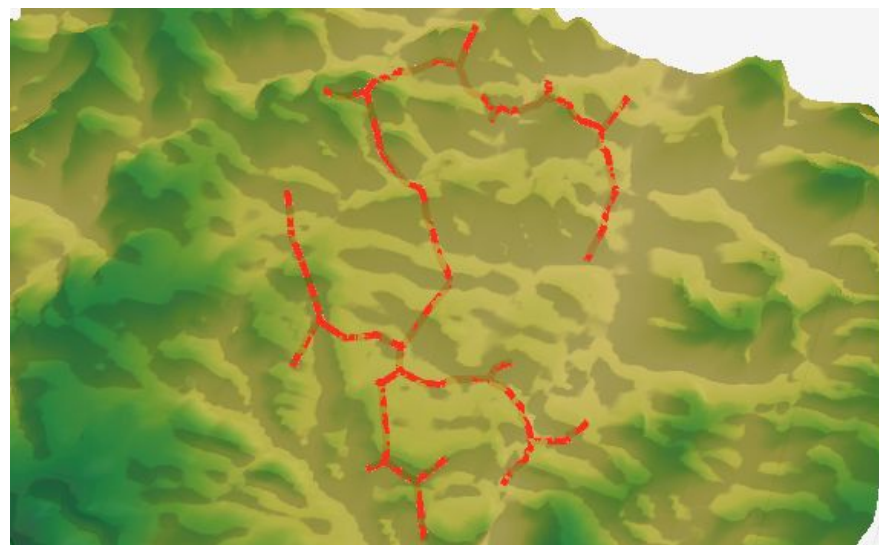


Ошибка, %	Время, сек	Точки разветвления
4.8	3	9
1.2	69	143
0.9	125	480
1.0	236	980
1.0	372	1702
1.0	531	2565
1.0	665	3618
0.9	886	4836
0.9	1079	6319
0.9	1272	7900
0.9	1415	9768

Таблица 3: Результаты работы алгоритма



- Уменьшена общая протяженность дорог на 18%;
- Сокращение капитальных и эксплуатационных затрат на 5-10%.





- Составлена математическая модель задачи.
- Решена задача поиска оптимального маршрута между двумя объектами. Наименьшее значение ошибки относительно аналитического решения составило менее 0.1% за время расчёта менее 85 секунд.
- Реализован алгоритм построения оптимальных сетей с величиной ошибки относительно аналитического решения около 1% за время расчёта менее 130 секунд.
- Создан прототип системы, применимой для решения реальных задач.



Спасибо за внимание!