Слайд 2
Каждая компания в современном мире стремится снизить затраты на осуществление своей деятельности. Это не обошло и сферу строительства. В данной области существует задача, связанная с оптимизацией затрат на проектирование инфраструктуры для группы объектов капитального строительства.

В данной работе объектами капитального строительства называются площадные объекты, такие как здания, строения, сооружения, и линейные объекты, такие как линии электропередачи, трубопроводы, автомобильные дороги, железнодорожные линии и другие подобные сооружения.

Задача построения оптимальных трасс линейных объектов выглядит следующим образом. Пусть задан участок поверхности Земли вместе с соответствующим ему рельефом. Также на этом участке присутствуют области различных типов местности, такие как леса, болота, реки. Помимо этого присутствуют уже существующие линейные объекты, такие как дороги, трубопроводы, ЛЭП. Для каждой области и линейного объекта задана стоимость строительства на них. И также задан набор объектов, представляющих собой точки земной поверхности, которые нужно связать коммуникационной сетью.

Слайд 3
В математическом виде задачу можно представить следующим образом. Пусть в трехмерном пространстве задана поверхность S. При проектированиии её на плоскость xOy, получена область расчетов Q. Помимо поверхности задан набор объектов P в виде точек. Набор областей A в виде многоугольников. Набор линейных объектов L в виде ломаных линий. А также функции строительных затрат и высоты рельефа.

Слайд 4
Целью данной работы является реализация программы в результате работы которой должна быть построена сеть линейных объектов N, оптимальная по заданным параметрам.

Слайд 5
Исходя из поставленной цели можно выделить следующие задачи:
Определить способ вычисления стоимости строительства линейного объекта.
Проанализировать основные существующие алгоритмы и реализовать оптимальный:
- для построения пути между двумя объектами
- для построения сети линейных объектов

Исследовать различные случаи для тестирования работы программы.

Слайд 6
Любой линейный объект можно представить в виде ломаной, состоящей из отрезков. Стоимость строительства каждого отрезка можно получить путем вычисления этого интеграла, где c - удельная стоимость строительства в точке, h - высота рельефа в точке, а g - метрический тензор расстояния на поверхности земли без учета рельефа.

Слайд 7
Стоимость строительства линейного объекта является сумма стоимостей всех отрезков входящих в него.
Стоимость сети это сумма стоимостей всех линейных объектов.
А общим решением будет являться наименьшая сеть среди всех сетей вообще.

Слайд 8
Существуют различные подходы для поиска оптимального пути между двумя объектами. Одним из способов решения данной задачи является её сведение к поиску кратчайшего пути на графе.

Слайд 9
Но для применения этого способа требуется сгенерировать вычислительную сетку. Потом построить граф на её основе, и уже после искать кратчайшие пути на графе. Каждое ребро получившегося графа является прямым отрезком, соответственно, его вес можно вычислять, как значение интеграла, определение которого дано ранее.

Слайд 10
Вычислительные сетки можно разбить на 2 класса.
Модель равномерной сетки описывает координаты отдельных точек поверхности, что расстояние между узлами сетки одинаковое.
Неравномерной сетка представляется в виде множества отдельных точек, принадлежащих поверхности.
Использование равномерной сетки не всегда будет давать качественный результат для поиска кратчайшего пути, поэтому необходимо опробовать данный подход на неравномерной сетке. Наиболее универсальной является треугольная сетка. Для её построения воспользуемся триангуляцией Делоне.

Слайд 11
В работе было испробованы различные способы генерации сетки. Сетка генерировалась путем внесения шума с определенным коэффициентом в равномерную прямоугольную сетку, а далее применения для этого набора точек триангуляции Делоне. Эффективность построенных сеток проверялась на пяти различных модельных картах местности, в которых учитывались различные стоимости областей и рельеф местности, а дальше проводилось сравнение с решением, полученным аналитически.

Слайд 12
В итоге были получены две таблицы. Первая описывает результаты без сглаживания, вторая с применением сглаживания. Для всех модельных карт результат со сглаживанием был лучше. Исходя из таблицы видно, что наилучшие результаты получаются при внесении шума в прямоугольную сетку с коэффициентом смещения в отрезке от 0.6 до 0.8 и дальнейшем применении сглаживания.

Слайд 13

После того как мы научились находить оптимальные пути между двумя точками, стоит задача построения оптимальной сети линейных объектов. Встречаемые в литературе алгоритмы построения деревьев Штейнера на графах ориентированы на более общую задачи, поэтому будут недостаточно эффективны в нашем случае. Граф в нашем случае является сильно разреженным, с малым числом терминальных вершин, относительно общего количества вершин в графе, а также наша задача является прикладной. Поэтому было решено разработать собственный алгоритм, использующий определенную эвристику для эффективного построения оптимальной сети.

Слайд 14
Суть алгоритма заключается в генерации n точек разветвления для ограничивающего прямоугольника терминальных точек. После генерации, строим набор полных графов для всех терминальных точек и каждой из точек разветвления. Потом для каждого полного графа находим минимальное остовное дерево и взвешиваем его. Пользуясь утверждением, что количество точек разветвления не превышает количество терминальных точек минус два, то делаем эти же операции в цикле и находим минимальное остовное дерево среди всех минимальных остовных деревьев, что и будет являться результатом.

Слайд 15
Рассмотрен пример работы алгоритма для случая 3 точек. Задача данного исследования была найти зависимость между временем работы программы, точностью получаемого решения и количеством точек разветвления. В качестве эталонного решения, возьмем решение, вычисленное аналитически.
Исходя из данных в таблице видно, что на плоскости качественные результаты можно получать при количестве точек разветвления в размере около 0.5-1% от общего числа точек в ограничивающем прямоугольнике.

Слайд 16
Теперь перейдем к реальной задаче.
Применение предложенного алгоритма позволило уменьшить протяженность дорог на 18%. В данном примере оптимизирована сеть дорог с учетом топографического размещения объектов. Данный подход к решению задачи позволит сократить время проектирования, минимизировать возможные ошибки, а также сократить капитальные и эксплуатационные затраты при разработке месторождений на 5-10%.

Слайд 17
- 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.