

# Оптимизация стоимости строительства линейных объектов наземного обустройства с использованием цифровых геоинформационных систем и автоматизированных стоимостных моделей

Optimization of the construction cost of linear surface objects using digital GIS systems and automated cost models

R.N. Akhmetov<sup>1</sup>, I.E. Yunusov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ingenix Group LLC

E-mail: info@ingenix-group.ru

**Keywords:** Modeling of infrastructure facilities, automated selection of routes for linear objects, modeling of pipelines, modeling of motor roads, modeling of electric power transmission lines, map-based modeling, GIS systems, cost models of surface infrastructure facilities, automation of cost calculation of facilities, cost map.

Traditionally, linear surface infrastructure facilities of hydrocarbon fields include roads, power transmission lines, as well as infield and external pipelines with various intended uses. Considering that there are next to none "easy" reserves left in regions with a developed transport infrastructure, finding optimal investment solutions for hydrocarbon transport system facilities and other linear objects already at the conceptual design stage becomes critical. To enable automated determination of optimal location of linear objects connecting the main on-site facilities of a field, a combination of three main components – technical characteristics, cartographic data (GIS) and cost models – is required.

The experience and industry expertise accumulated by Ingenix Group has made it possible to develop cost models for infrastructure facilities (including linear) based on the aggregate per unit cost indicators of process units. This in turn allowed to calculate physical volumes for each type of work with a cost breakdown by construction and installation works, equipment and other costs.

The next step was to connect the cartographic data of the territory of the Russian Federation and integrate it with cost models using geoinformation tools. As a result, more than 30% of the entire set of technical parameters are now determined in an automated mode (directly from the topographic basis). The final stage in the development of the cost optimization tool for the construction cost of linear surface objects was transformation of characteristics of a map surface – soils, obstacles, vegetation, land use type – into criteria and weights. The weights were used as the basis to prepare a cost map and to develop a mechanism to determine the optimal route corridor, where the construction cost would be minimal.

Methodological and software solutions for optimizing the construction cost of linear surface objects developed by Ingenix Group have significantly increased the speed and efficiency of cost engineers' work at the stage of conceptual design of linear infrastructure facilities for the hydrocarbon field development.

## Постановка задачи

Традиционно к линейным объектам наземного обустройства месторождений углеводородов относят автодороги, линии электропередачи, а также внутрипромысловые и внешние трубопроводы различного назначения. Для месторождений, расположенных в отдаленных районах Российской Федерации, стоимость

Р.Н. Ахметов<sup>1</sup>,  
И.Е. Юнусов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ingenix Group

Адреса для связи: info@ingenix-group.ru

**Ключевые слова:** моделирование объектов обустройства, автоматизированный выбор трасс линейных объектов, моделирование трубопроводов, моделирование автодорог, моделирование ЛЭП, моделирование на карте, ГИС-системы, стоимостные модели объектов наземного обустройства, автоматизация расчета стоимости объектов, карта стоимостей

DOI: 10.24887/0028-2448-2022-8-??-??

внешнего трубопровода до системы ПАО «Транснефть» или газотранспортной системы ПАО «Газпром» часто определяет уровень рентабельности разработки этих месторождений. С учетом того, что «легких» запасов в районах с развитой транспортной инфраструктурой практически не осталось, важную роль приобретает поиск оптимальных инвестиционных решений для объектов системы транспорта углеводородов и других линейных объектов уже на этапе концептуального проектирования. Под оптимальным инвестиционным решением понимается достижение минимально возможной стоимости объекта капитального строительства при соблюдении всех заданных технических характеристик.

Для автоматизированного определения оптимального расположения линейных объектов, соединяющих основные площадные объекты месторождения,

необходимо обеспечить взаимосвязь трех основных компонентов (рис. 1):

- модулей для заведения и расчета технических характеристик объектов (например, диаметра и толщины стенки трубопровода, напряжения и типа кабеля линии электропередачи или ширины и типа дорожного покрытия);
- картографических данных для размещения линейных объектов с учетом характеристик местности (болота, леса, водные преграды, автодороги, населенные пункты и др.);
- стоимостных моделей, которые могут рассчитывать стоимость строительства объектов в зависимости от технических характеристик и данных картографии [1].

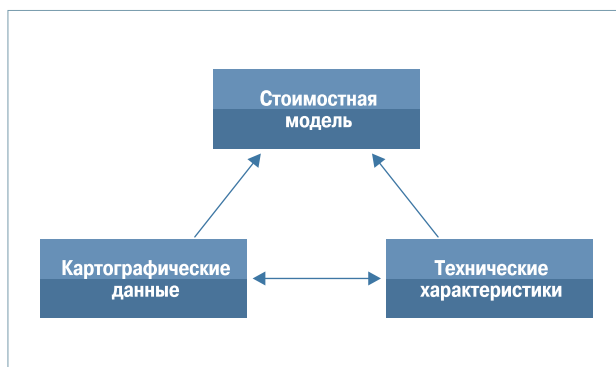


Рис. 1. Элементы системы определения оптимального размещения линейных объектов

При наличии достаточной технической информации по имеющимся объектам инфраструктуры, а также информации о характеристиках местности, где будут размещены новые объекты, основной сложностью определения трассы является отсутствие инструмента многовариантного анализа данных. К последним относятся следующие данные.

- Технологические: диаметр, давление, толщина стенки, класс металла, глубина залегания линейных объектов.
- Географические: протяженность объекта, расчистка от леса, наличие болот, пересечение автомобильных и железных дорог, гидрография.
- Стоимостные: стоимость прокладки линейных объектов в различных условиях, металла, пересечения преград различными способами.

### Опыт Ingenix Group: три шага к цифровизации процесса моделирования стоимости линейных объектов

При оценке стоимости строительства линейных объектов эксперты Ingenix Group почти 5 лет используют автоматизированные модели стоимости собственной разработки, которые позволяют рассчитать стоимость объектов с погрешностью 15–20 % на ранних этапах проработки нефтегазовых проектов.

Процесс формирования существующей на данный момент системы оценки был достаточно сложным и разви-

вался одновременно с развитием компетенций компаний в области комплексной геолого-экономической оценки нефтегазовых проектов.

Условно процесс развития системы оценки стоимости строительства линейных объектов можно разделить на три этапа:

- 1) разработка стоимостной модели;
- 2) подключение картографических данных;
- 3) решение оптимизационных задач.

**Этап 1. Разработка стоимостной модели.** Первая версия инструмента стоимостного моделирования была реализована на базе укрупненных удельных показателей стоимости технологических блоков в зависимости от влияющих технических параметров (например, от объема и стоимости отсыпки). В результате появилась возможность рассчитать физические объемы по каждому виду работ с разбивкой стоимости: строительно-монтажные работы, оборудование и прочие затраты.

Например, для верхнеуровневого расчета стоимости трубопровода достаточно было вручную внести шесть исходных параметров, для более точного расчета – до 32 параметров. Чем больше параметров вносил пользователь, и чем точнее было значение этих параметров, тем точнее получалась оценка стоимости объекта (рис. 2):

Рис. 2. Набор технических параметров трубопровода при работе в стоимостной модели

В процессе моделирования эксперты Ingenix Group выявили следующие области для улучшения работы модели:

- снижение временных затрат пользователей при расчете большого числа сценариев, связанных с необходимостью ручного ввода требуемой информации, в том числе о картографии местности;
- оптимизация работы с геоинформационной системой для исключения определения картографических данных «на глаз» (лес или болото, мелколесье или лес);
- необходимость интерактивного использования картографической информации.

### Этап 2. Подключение картографических данных.

По итогам пересмотра процессной модели оценки стоимости строительства линейных объектов экспертами Ingenix Group была реализована вторая версия моделирования объектов на базе картографических данных. Устранена необходимость ручного ввода географической информации, которая составляла более 30 % всего набора технических параметров. Вся требуемая информация определялась в автоматизированном режиме непосредственно с топографической основы с использованием различных слоев карты, геоанализа и преобразования данных [2].

Доработка модели позволила повысить точность оценки за счет использования как информации из открытых источников, так и корпоративных картографических данных. В автоматизированной системе моделирования стоимости можно вручную подбирать наиболее экономический целесообразный маршрут линейного объекта (рис. 3).

В процессе работы со второй версией модели стоимости линейных объектов были выявлены следующие недостатки:

- влияние человеческого фактора при вводе первичной информации (например, точек начала и завершения строительства линейных объектов);
- множество итераций расчета, необходимых для определения оптимального маршрута строительства линейных объектов.

**Этап 3. Решение оптимизационных задач.** По итогам длительного тестирования ИТ-решения по стоимостному моделированию на втором этапе основная задача для улучшения системы была сформулирована следующим образом: система должна автоматически определять трассы прокладки линейных объектов с точки зрения минимизации стоимости их строительства, а также сокращения эксплуатационных затрат при прокладке в существующем коридоре коммуникаций.

Определение наилучшего расположения наземного обустройства для строительства линейных объектов основано на характеристиках поверхности карты [3] на каждом участке / точке данных, например:

- тип грунтов: болото, суходол, многолетнемерзлые грунты;
- естественные преграды: ручьи, реки;
- искусственные преграды: автомобильные и железные дороги;
- тип растительности: лес и мелколесье;

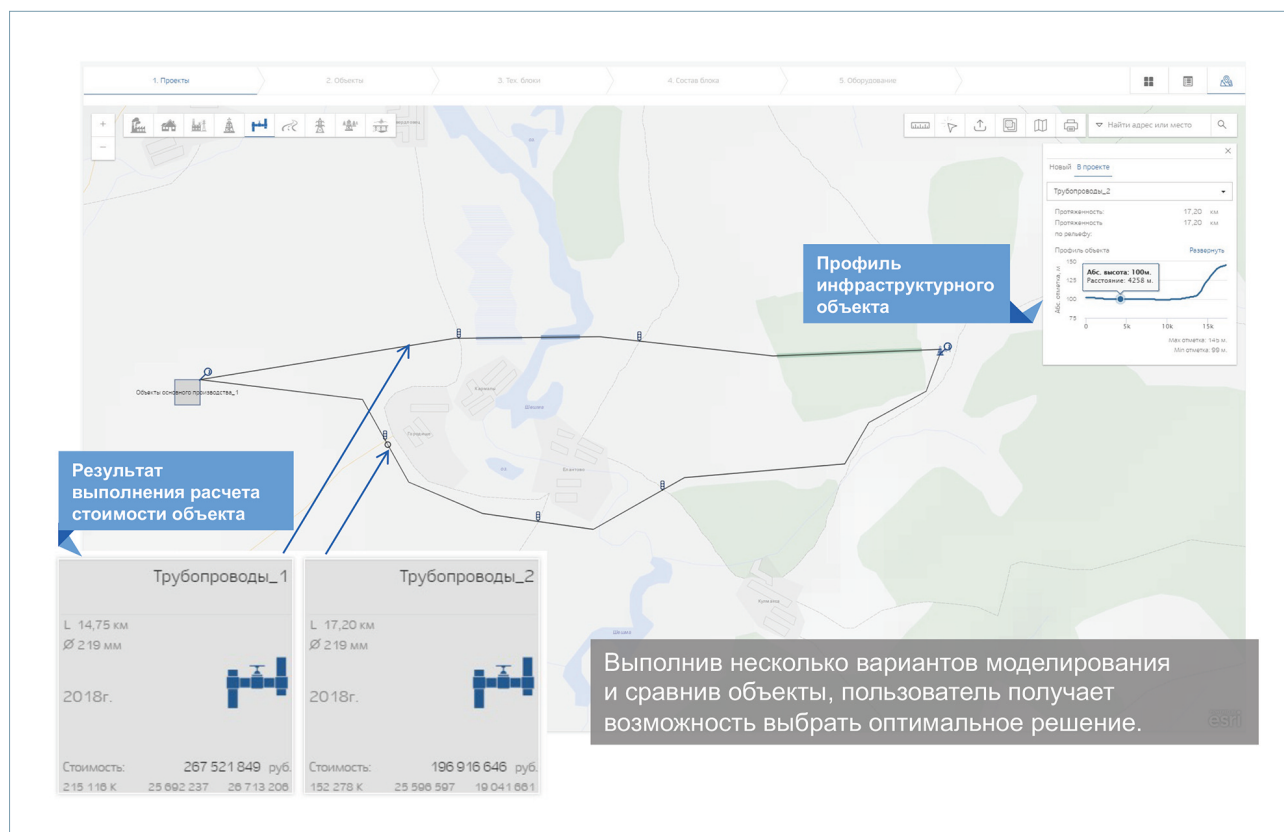


Рис. 3. Использование картографических данных для подбора наиболее рациональной опции при строительстве трубопровода

– тип землепользования: земли сельскохозяйственно-го назначения, зоны жилой застройки, особые природоохранные зоны;

– прочие условия.

Эти характеристики преобразовываются в критерии, далее выполняется процедура определения их весов. На основе весов строится карта стоимостей (рис. 4). Темные участки на карте характеризуются как наиболее предпочтительные для использования (минимальная стоимость строительства), когда светлые – соответствуют высокой стоимости строительства, присутствуют факторы, усложняющие выполнение строительно-монтажных работ, а следовательно, увеличивающие объем капитальных вложений.

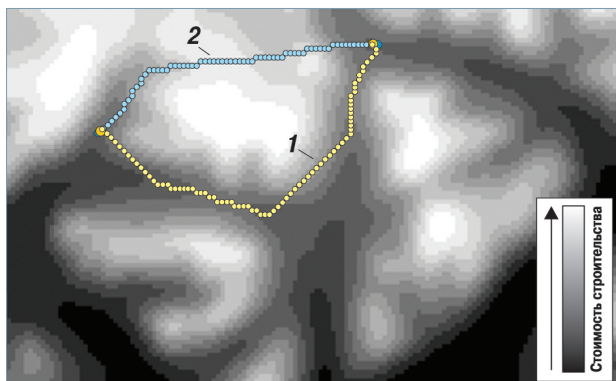


Рис. 4. Определение оптимальной (1) и альтернативной (2) трассы трубопровода на карте стоимостей

При таком подходе использование карты стоимостей позволяет учитывать существующую инфраструктуру месторождения путем уменьшения веса точки на карте. Природоохранные зоны, наоборот, увеличивают вес точки до максимального значения, таким образом, алгоритм выбора трассы не рассматривает их, так как они идентифицируются как «самые дорогие».

Результатом работы модели является область карты (так называемый оптимальный коридор), где стоимость строительства будет минимальной. При выборе этой трассы модель выполняет фоновую проверку и сравнение с альтернативной трассой (см. таблицу). У пользователя инструмента также есть возможность в ручном режиме указать альтернативную трассу для сравнения (рис. 4).

Трасса (см. рис. 4)	Суммарный вес, ед	Время обработки, мс	Протяженность, м
Оптимальная	33 373	4.4	16789
Альтернативная	42 970	3.7	12990

### Выводы

1. Экспертами Ingenix Group разработаны методологические и программные решения, в том числе:
  - 1) визуализация объектов инфраструктуры с использованием геоинформационных систем как существующих, так и проектируемых;
  - 2) реализация автоматического ввода топографической информации в инструмент моделирования линейных объектов;
  - 3) анализ трасс коммуникаций, указанных пользователем или предложенных системой;
  - 4) достижение высокой скорости машинного вычисления за счет использования нового вида аналитической информации (карты стоимостей);
2. Разработанные решения значительно повысили скорость и эффективность работы стоимостных инженеров на этапе концептуального проектирования линейных объектов обустройства месторождений углеводородов.
3. Система продолжает совершенствоваться в заданном направлении, способствуя развитию собственной школы современного стоимостного инжиниринга в России.

### Список литературы

1. Чижиков С.В., Дубовицкая Е.А., Ткаченко М.А. Стоимостное моделирование: инструмент учета изменений // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 10. – С. 64–68.
2. Юнусов И.Е. Применение ГИС-коннектора для концептуального инжиниринга и стоимостного моделирования обустройства нефтегазовых месторождений // Нефть.Газ. Новации. – 2019. – № 8. – С. 12–14.
3. Рудаченко А.В., Чухарева Н.В., Жилин А.В. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 238 с.

### References

1. Chizhikov S.V., Dubovitskaya E.A., Tkachenko M.A., *Costs modeling: Support point in a changing world* (In Russ.), Neftyanoe khozyaistvo = Oil Industry, 2017, no. 10, pp. 64–68, DOI: <http://dx.doi.org/10.24887/0028-2448-2017-10-64-68>.
2. Yunusov I.E., *Application of well log data connector for conceptual engineering and value engineering for oil and gas field construction* (In Russ.), Neft'.Gaz. Novatsii, 2019, no. 8, pp. 12–14.
3. Rudachenko A.V., Chukhareva N.V., Zhilin A.V., *Proektirovanie i ekspluatatsiya gazonefteprovodov* (Design and operation of gas and oil pipelines), Tomsk: Publ. of TPU, 2008, 238 p.