

# Гиперсетевая модель и методы оптимизации проектных решений для прокладки нефтепроводов в сложных условиях

**Ключевые слова:** сети нефтепроводов, гиперсетевая модель.

**Жумагулов Б.Т.,**  
Министр образования и науки  
Республики Казахстан

**Калимолдаев М.Н.,**  
д.ф.-м.н., директор Института  
проблем информатики и управления  
Министерства образования и науки  
Республики Казахстан

**Попков В.К., Токтошов Г.Ы.,**  
ФГБОУ ВПО "СибГУТИ"

## Введение

При выборе маршрутов прокладки специалисты из разных областей решают целый ряд типовых задач, связанных с детальной оценкой физико-географических, ландшафтных, инженерно-геологических и прочих условий исследуемой территории [1], которые предопределяют экономическую целесообразность и техническую возможность прокладки нефтепровода на соответствующем месте.

Выбор маршрута – это первый существенный шаг в процессе проектирования и строительства нефтепроводов, этот шаг может оказать значительное влияние на строительство и функционирование сети нефтепроводов в целом, поэтому оптимизация этого процесса может существенно повлиять на финансовые и материальные ресурсы, необходимые для их строительства и эксплуатации.

Стоимость прокладки сети нефтепроводов, которая складывается из затрат на приобретение (аренда или покупка) земельного участка и земляных работ (освобождение места под траншею и разрушение улиц, разрытие траншей, выемка грунта, подготовка русла траншеи и т.д.) и приобретение оборудования и их монтажа (прокладка, наполнение и уплотнение нефтепроводов и т.д.), по сравнению с общей ее стоимостью составляет до 60-70%. Отсюда следует, что снижение затрат на строительство и проектирование нефтепроводов хотя бы на один процент

Сети нефтепроводов являются неотъемлемой частью инфраструктуры и комфортной среды обитания современного общества: без наличия смазочно-горючего топлива сейчас трудно представить комфортную жизнь. В связи с этим важной становится проблема передачи нефти с одного пункта на другой. Однако существующая на данный момент инфраструктура сети нефтепроводов недостаточно развита, даже они не удовлетворяют потребителей ни по качеству, ни по объему передачи нефти, в связи с чем возникает задача проектирования новых и модернизации существующих сетей. Сети нефтепроводов, могут быть проложены (размещены) на открытой местности в полевых условиях, надземным, наземным или подземным способом. В любом случае возникает необходимость выбора наиболее целесообразного маршрута прокладки нефтепроводов из множества возможного, т.е. выбор маршрута прокладки нефтепроводов многовариантная, поскольку он связан с определенными трудностями, обусловленными большим многообразием условий прокладки нефтепроводов, которые определяются рядом параметров, свойственных самой коммуникации, и территории, на которой нефтепровод размещаются.

даст экономический эффект в миллионы рублей. Поэтому прежде чем проложить нефтепроводов, необходимо выбрать маршруты их прокладки, обеспечивающие минимизации экономических потерь. Таким образом, создания методики выбора маршрута прокладки нефтепроводов, позволяющей на основании множества исходных данных определить наиболее эффективного варианта реализации инженерных решений по критерию минимума приведенных затрат, является важной задачей.

## Постановка задачи

Введем следующие обозначения:  $D$  – земельный участок, на котором предполагается вести строительство;  $Y = Y_{source} \cup Y_{consumer} \cup Y_{some}$  – множество точек, между соответствующими парами которых необходимо построить нефтепроводы ( $Y_{source}$  – источник(и),  $Y_{consumer}$  – потребитель(и),  $Y_{some}$  – другие точечные объекты, представляющие собой распределительные пункты, подстанции, станции и т. п.);  $\Pi$  – приведенные затраты на построение инженерной коммуникации.

Тогда задача заключается в построении сети нефтепроводов, соответствующей конфигурации на множестве точек  $Y = Y_{source} \cup Y_{consumer} \cup Y_{some}$ , которое обеспечивает  $\Pi \rightarrow \min$ , т. е. в прокладке нефтепроводов между соответствующими элементами  $Y \in D$  таким образом, что приведенная стоимость их построения принимает минимальное значение.

В настоящее время существует множество подходов к решению подобной задачи, таких как методы вариационного исчисления [2], теория графов [3], исследование операций и дискретной оптимизации [4, 5], сеточная аппроксимация [6, 7], сплайны и триангуляция [8, 9] и т. д. Достоинствами этих методов является их простота и универсальность, позволяющие решить поставленную задачу в большей степени эмпирическими способами.

Однако как показал опыт, в ходе исследования выявлены и недостатки, главным из которых связан с тем, что эти методы практически не учитывают взаимодействие природно-технической системы «земельный участок + нефтепровод». Такой недостаток не позволяет, с одной стороны, обосновать стоимость земельного участка для выбранного типа конструкций, устройств и сооружений, а с другой – провести качественную оценку параметров проектируемой коммуникации для заданного типа земли.

Таким образом, для комплексной оценки стоимости сети нефтепроводов необходим другой подход, который, в отличие от существующих подходов оптимизации, позволяет рассматривать природно-техническую систему «земельный участок + нефтепровод» как одно целое.

### Гиперсетевой подход к проектированию нефтепроводов

Как стало ясно, структура сети нефтепроводов должна рассматриваться как взаимодействия подсистем «земельный участок – нефтепровод», поскольку в основе решения любой задачи оптимизации лежит проблема взаимодействия нефтепроводов и окружающей среды. Поэтому в настоящей работе заложена идея разделения структуры сети нефтепроводов на первичную и вторичную сети. Для этой цели удобно использовать гиперсеть [10], описывающей взаимодействие подсистем «земельный участок – нефтепровод» как единый объект исследования. Причем в качестве первичной сети понимается математическая или цифровая модель местности, построенная на основе точной технологии, а в качестве вторичной – конфигурация сети нефтепроводов.

#### Первичная сеть.

#### Математическая модель местности

Для цифрового моделирования земной поверхности необходимо иметь дискретное представление области, на которой предполагается вести строительство сети нефтепроводов [6, 7].

Удобным инструментом дискретизации заданной территории является сеточная аппроксимация. Сущность предлагаемого метода заключается в моделировании заданной территории сеткой с конечным множеством элементов.

Согласно [12] метод сеточного моделирования элементов рельефа местности состоит из следующих этапов:

- подготовка исходных данных (изучения природных и ситуационных особенностей заданной территории);
- выбор типа сетки, применяемой для моделирования местности (цифровой, математической, стохастической, географической и т. п.);
- присвоение соответствующим элементам сетки числовых значений природных и ситуационных характеристик заданной территории на основе исходных данных;
- применение полученной расчетной сетки к решению поставленной задачи и анализу полученных результатов.

Таким образом, в методах сеточной аппроксимации чаще всего создается не сама поверхность, а только ее дискретное представление на плоскости: интересующая проектировщика территория разбивается некоторой сеткой  $\Omega$  на элементарные ячейки, каждому элементу (узлам и ветвям) которой на основе исходных данных присваиваются числовые значения природных и ситуационных характеристик заданной территории (рис. 1). В результате получается дискретное представление заданной территории, которое в дальнейшем может быть использовано для поиска оптимальной трассы для прокладки нефтепроводов.

Построение нефтепроводов на заданной территории определяется на основании минимизации приведенных затрат. Это связано с тем, что в качестве критерия оптимальности обычно принимаются приведенные затраты,

учитывающие одновременно капитальные вложения и эксплуатационные расходы на строительство нефтепроводов [6, 7]. Этот критерий зависит от параметров, характеризующих свойства нефтепровода и территории, на которой размещается нефтепровод. Территория характеризуется удельными строительными затратами – это стоимость земляных работ и дополнительных сооружений на единицу длины некоторого участка заданной территории. Значения удельных строительных затрат являются результатом пересчета природных и ситуационных характеристик заданной территории в стоимость, которые затем используются для поиска трассы нефтепроводов [12]. Территория, на которой предполагается вести строительство нефтепроводов, может быть либо однородной относительно удельных строительных затрат, либо неоднородной. Территория считается *однородной* по условиям строительства, если удельные строительные затраты имеют одно и то же значение на всех участках территории. Если значение удельных строительных затрат меняется от точки к точке, то территория считается *неоднородной*.

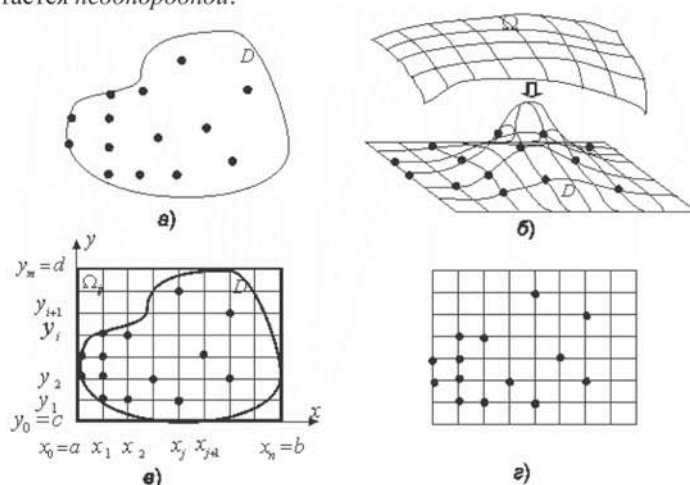


Рис. 1. Процесс построения расчетной сетки: а – область размещения с заданными объектами; б – процесс построения и нанесения сетки на область размещения; в – переход из физической области в расчетную; г – расчетная сетка (информационная модель)

Построение цифровой или математической модели местности осуществляется путем дискретизации заданной территории с использованием сеток различной конфигурации. Для этого традиционно успешно применяются регулярные [6, 7] и нерегулярные триангуляционные [8, 9] сетки, служащие индустриальным стандартом дискретизации заданной территории. На практике для построения модели заданной территории в равной степени используются как регулярные, так и нерегулярные типы сеток. В настоящей работе для дискретизации заданной территории будет использована регулярная сетка.

Пусть  $\Omega$  сетка, накладываемая на область размещения. Обозначим через  $x_{ji} = (x_j, y_i)$ ,  $x_{j+k,i+r} = (x_{j+k}, y_{i+r})$  ( $\forall j \neq k, i \neq r: k, r = \{-1; 0; 1\}$ ) узлы этой сетки. Каждая пара узлов  $x_{ji} \in X$  и  $x_{j+k,i+r} \in \Gamma(x_{ji})$  представляет собой ветви  $v = (x_{ji}, x_{j+k,i+r})$  построенной сетки.

Всякая ветвь  $v = (x_{ji}, x_{j+k,i+r})$ , соединяющая пары точек  $x_{ji}$  и  $x_{j+k,i+r}$  сетки  $\Omega$ , характеризуется длиной  $\rho(x_{ji}, x_{j+k,i+r})$  и весом  $\psi$ .

В зависимости от рассматриваемой ситуации вес  $\rho$  может интерпретироваться по-разному, это может быть продолжи-

тельность строительства ветви, ее надежность или безопасность и т. п.

Для комплексной оценки стоимости строительных работ вдоль некоторого участка выбранной трассы каждой ветви  $v = (x_{ji}, x_{j+k,i+r})$  ( $\forall j \neq r, i \neq k: r, k = \{-1; 0; 1\}$ ) применяемой сетки  $\Omega$  присвоим вес, равный

$$Q(x_{ji}, x_{j+k,i+r}) = a(x_{ji}, x_{j+k,i+r}) \cdot p(x_{ji}, x_{j+k,i+r})$$

где  $x_{ji} = (x_j, y_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ) – координаты точек пересечения сетки  $\Omega$ ;  $a(v)$  – удельная стоимость строительных работ, зависящая от природных и ситуационных особенностей участка соответствующей ветви  $v = (x_{ji}, x_{j+k,i+r})$ .

Обычно удельные строительные затраты различны в различных точках области  $D$ , т. е. значение функции  $Q(x_{ji}, x_{j+k,i+r})$  зависит от координат точек  $x_{ji}, x_{j+k,i+r} \in D$ . В этом смысле участок  $D \in \Omega$  местности, на котором предполагается строительство автомобильной дороги, можно считать неоднородным. Для учета этой неоднородности строится более подробная расчетная сетка, учитывающая сложность рельефа и природные и ситуационные условия заданной территории в локальных участках.

Таким образом, сетка  $\Omega$ , ветви которых взвешены выражением (1), определяет математическую модель местности со сложным рельефом и высокой степенью неоднородности, в которой отображена совокупность точек местности с известными координатами и различными весами ветвей и вершин, предназначенная для аппроксимации местности с характерными для нее различными природными условиями и ситуационными особенностями.

В целом сеточное описание сложности рельефа определяет некоторое метрическое пространство  $\Omega$  с заданной размерностью. Расчетные сетки могут служить математическими моделями местности для вычисления стоимости строительных работ при прокладке нефтепроводов, в которых отображены численные характеристики природных и ситуационных условий области размещения и рельефа местности. Такие модели предназначены, во-первых, для аппроксимации местности с различными природными условиями и ситуационными особенностями, во-вторых, являются математической основой для вычисления показателей проектируемой сети нефтепроводов. В общем случае задача поиска оптимальных трасс для прокладки нефтепроводов формализуется следующим образом: найти маршруты на сетке  $\Omega$ , для которых  $\sum Q(x_{ji}, x_{j+k,i+r}) \rightarrow \min$ , и при этом должны выполняться все условия и требования, накладываемые на проектируемую сеть.

Задача в такой постановке легко решается с помощью классического алгоритма Флойда. Однако этот алгоритм в чистом виде не учитывает зависимость трассы от выбранных типов конструкций устройств и сооружений, которые образуют инфраструктуру сети нефтепроводов. Таким образом, решение задачи поиска оптимальных трасс для прокладки линейных сооружений не представляется возможным без учета параметров элементов вторичной сети, которая описывает конфигурацию сети нефтепроводов.

## Вторичная сеть

Под вторичной сетью в настоящей работе понимается конфигурация, описывающая взаимное расположение трубопроводов и узловых элементов (источники и потребители сырья, станции, подстанции, распределительные пункты и т. д.) на плоскости, которая в дальнейшем отображается в первичную сеть. Пусть структура вторичной сети описывается графом  $WS = (Y, R)$ , в котором  $Y$  – множество узлов, определяемое как  $Y = Y_{source} \cup Y_{consumer} \cup Y_{some}$ , а  $R$  – множество трубопроводов, соединяющее соответствующие пары узлов из множества  $Y$ . Тем самым в нашем случае вторичная сеть характеризует структуры сети нефтепроводов. Стоимостные показатели вторичной сети в значительной степени зависят от характеристики первичной сети или, наоборот, для выбранного типа элементов вторичной сети, первичная сеть имеет разные стоимостные характеристики. Таким образом, становится ясным, что эти объекты (первичная и вторичная сети) должны быть формализованы одним математическим объектом, в котором учитывается факт реализация одной структуры в другой.

Для этого, как сказано выше, удобно использовать гиперсеть [10], которая позволяет осуществить реализацию вторичной сети в первичную сеть с учетом взаимозависимости параметров элементов этих сетей и объединяет их в виде одного объекта.

## Гиперсеть

**Определение 1.** Гиперсеть  $S = (X, V, R; P, F, W)$  включает следующие объекты:

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – множество узлов первичной сети;

$V = (v_1, v_2, \dots, v_g)$  – множество ветвей первичной сети;

$R = (r_1, r_2, \dots, r_m)$  – множество трубопроводов;

$P: V \rightarrow 2^X$  – отображение, сопоставляющее каждому элементу  $v \in V$  множество  $P(v) \subseteq X$ , тем самым, отображение  $P$  определяет граф первичной сети  $PS = (X, V; P)$ ;

$F: R \rightarrow 2_{PS}^V$  – отображение, сопоставляющее каждому элементу  $r \in R$  множество трасс  $F(r)$ , образующих простой маршрут в графе  $PS = (X, V; P)$ , причем семейство  $2_{PS}^V$  содержит такие подмножества, трассы которых составляют связную часть графа  $PS$ . Отображение  $F$  определяет гиперграф  $FS = (V, R; F)$ . Множество всех маршрутов  $F(r)$ , сопоставляющее каждому ребру  $r \in R$  графа  $WS$  единственный маршрут в графе  $PS$ , назовем вложением графа  $WS$  в  $PS$ ;

$\forall r \in R \ W: r \rightarrow 2^{P(F(r))}$  – отображение, сопоставляющее каждому элементу  $r \in R$  подмножество  $W(r) \subseteq P(F(r))$ , где  $P(F(r)) = Y$  – множество вершин в  $PS$ , инцидентных трассам  $F(r) \subseteq V$ . Отображение  $W$  определяет граф вторичной сети  $WS = (Y, R; W)$ .

Более подробно с понятиями теории гиперсетей можно ознакомиться в работе [10].

## Гиперсетевая технология: описания и разработка

Суть гиперсетевой технологии построения сетей на заданной территории заключается в том, что в основу послойного описания сети нефтепроводов закладывается некоторое сеточное метрическое пространство  $\Omega$  заданной размерности, в котором последо-

вательно размещаются структуры соответствующих подсистем, составляющих проектное решение [11].

Проектные изыскания ведутся в полевых условиях, поэтому, в отличие от стандартного подхода, изыскатель может на месте находить локальные оптимальные решения, применяя гиперсетевой технологии и используя математическое обеспечение персонального компьютера с выходом в сеть Интернет. Кроме того, предлагаемая технология позволяет сводить сложную постановку задачи к более простой, но возможно большей размерности, путем последовательного построения сети на очередном слое.

Например, для решения задачи описания сети нефтепроводов необходимо построить три последовательно вложенных друг в друга уровней разнотипных сетей: сеть координат (сетка); сеть ситуационных (возможных) трасс прокладки нефтепроводов; сеть нефтепроводов. Таким образом, гиперсетевая технология позволяет описать взаимосвязанную совокупность сетей с учетом всех структурных параметров и экономических характеристик.

Остановимся непосредственно на разработке гиперсетевой технологии [11, 12], применяемой в проектной деятельности инженера, основанной на методе сеток и модели гиперсети  $S$ , учитывающей рельеф местности и природные и ситуационные особенности территории, на которой предполагается вести строительство нефтепроводов.

Для этого на множестве узлов сетки  $\Omega$ , наложенной на область  $D$ , построим граф  $PG = (X, G; F)$ , в котором множество вершин  $X$  соответствует множеству узлов сетки  $\Omega$ , а ребрам  $G$  соответствуют ветви, соединяющие соответствующие пары узлов. Полученный граф назовем графом сетки.

Далее на множестве узловых элементов проектируемой сети (узловой основы данного участка) построим граф  $PO = (X_1 \subseteq X, U; F_1)$ , в котором  $X_1$  – множество узлов, а  $U$  – всевозможные трассы между заданных пар узлов. Полученный граф назовем графом ситуационных трасс.

Построим граф вида  $PS = (X_2 \subseteq X_1, V; F_2)$ , в котором множество вершин  $X_2$  соответствует множеству точек непосредственного размещения узловых элементов, а  $V$  – трубопроводы. Полученный граф назовем графом сети нефтепроводов.

И, наконец, построим граф вида  $WS = (X_3 \subseteq X_2, R; F_3)$ , в котором  $X_3$  – множество узловых элементов, а  $R$  – потоки, между соответствующих пар узлов. Полученный граф назовем графом потоков или вторичной сети.

Структура проектируемой сети в этом случае задается иерархической 3-гиперсетью, определяемой следующим образом: пусть даны графы  $PG = (X, G; F_0) \equiv WS_0 = (X_0, R_0; F_0)$ ,  $PO = (X_1, U; F_1) \equiv WS_1 = (X_1 \subseteq X_0, R_1; F_1)$ ,  $PS = (X_2, V; F_2) \equiv WS_2 = (X_2 \subseteq X_1, R_2; F_2)$  и  $WS = (X_3, R; F_3) \equiv WS_3 = (X_3 \subseteq X_2, R_3; F_3)$ .

Исходя из определения графов  $WS_0$ ,  $WS_1$ ,  $WS_2$  и  $WS_3$ , выполняются условия  $X_3 \subseteq X_2 \subseteq X_1 \subseteq X$  и  $\forall r^i \in R_i, \exists \{r^{i-1}\} \subseteq R_{i-1}, W_{i-1}(\{r^i\}) \& \{r^{i-1}\}$  определяет связную часть в графе  $WS_{i-1}$ . Тогда последовательности отображений  $\{F_i\}: WS \xrightarrow{F_3} PS \xrightarrow{F_2} PO \xrightarrow{F_1} PG$  определяют иерархическую 3-гиперсеть  $S_3 = (X, G, U, V, R; F_1, F_2, F_3)$  (более

подробное определение иерархической  $k$ -гиперсети приведено в работе [10]).

3-гиперсеть будет полностью заданной, если заданы отображения  $F_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ), которые каждому ребру  $i$ -го уровня ставят в соответствие простую цепь, состоящую из ребер  $(i-1)$ -го уровня. Таким образом, достаточно определить три гиперсети, в которых реализованы эти отображения:

$S_0 = (X, G, U; F_0)$  – гиперсеть реализации ребер графа ситуационной трассы на графе сетки;  $S_1 = (X_1, U, V; F_1)$  – гиперсеть реализации ребер графа сети нефтепроводов на графе ситуационной трассы;  $S_2 = (X_2, V, R; F_2)$  – гиперсеть реализации ребер графа потоков на графе сети нефтепроводов.

Таким образом, процесс создания сети нефтепроводов является итеративной процедурой, в которой сначала на множестве узлов сетки  $\Omega$ , наложенной на область  $D$ , строится граф сетки  $PG$ , являющийся цифровой или математической моделью местности, далее, исходя из природных, социально-экономических и ситуационных условий данного участка, на множестве возможных мест размещения узловых элементов сети нефтепроводов строится граф ситуационных трасс  $PO$ . На следующем этапе итеративного процесса происходит построение графа сети нефтепроводов  $PS$ . Наконец, на окончательно выбранную структуру графа сети нефтепроводов реализуются ребра графа вторичной сети  $WS$  (рис. 2).

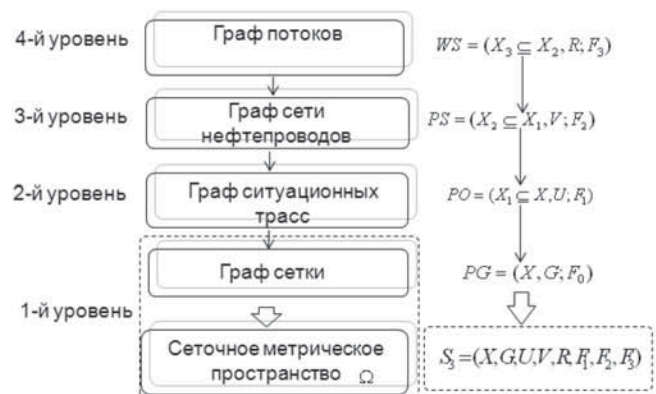


Рис. 2. Построение многослойной сети

На рис. 2 видно, что в основе предложенной технологии лежит многоуровневый принцип оптимизации проектных решений при строительстве сети нефтепроводов на заданной территории. С помощью предложенной технологии рассматриваемые задачи сводятся к соответствующим задачам теории графов или теории гиперсетей. Особенность подхода состоит в появлении возможности сведения сложной постановки задачи к более простой гиперсетевой задаче путем последовательного построения многослойной сети на очередном слое. Такой подход позволяет инженеру-проектировщику находить локальные оптимальные решения на месте, используя математическое и программное обеспечение персонального компьютера (модель иерархической гиперсети и ГИС) и выход в сеть Интернет.

#### Гиперсетевая постановка

В настоящей работе для наглядности было решено использовать гиперсеть  $S = (PS, WS; F)$ . Такой выбор основывается на том, что такие гиперсети в настоящее время являются наиболее изученными. Кроме того, всегда есть возможность любой  $k$ -гиперсети  $S_k$  сопоставить гиперсеть с меньшим числом

уровней, что обеспечивает более приемлемые результаты при синтезе оптимальных структур сети нефтепроводов.

Пусть известны: графы  $PS = (X, V)$  и  $WS = (Y, R)$  и параметры их элементов:  $\rho(v)$  – длина ветви  $v \in V$  графа  $PS$ ;  $\rho(r)$  – длина ребра  $r \in R$  графа  $WS$ , равная  $\rho(r) = \sum_{v \in F(r)} \rho(v)$ ;  $a(v)$  – удельная стоимость строительных (земляных) работ на ветвях  $v \in V$ ;  $b_r(v)$  – удельная стоимость аренды ресурсов для ветви  $v \in V$ ;  $c(r)$  – стоимость строительства нефтепровода  $r \in R$  между парой заданных точек;  $d_v(r)$  – стоимость эксплуатационных работ.

Задача заключается в реализации ребра графа  $WS$  (прокладке нефтепровода) по соответствующим маршрутам (трассам) в графе  $PS$  таким образом, чтобы функционал

$$Q(S) = \left( \sum_{v \in V} \gamma_1 \cdot a(v) + \sum_{v \in V} b_r(v) \right) \cdot \rho(v) + \left( \sum_{r \in R} \gamma_2 \cdot c(r) + \sum_{r \in R} d_v(r) \right) \cdot \rho(r) \quad (2)$$

принимал минимальное значение, где:  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  – коэффициенты дисконтирования для стоимостей строительных работ и оборудования соответственно. Коэффициент дисконтирования – это коэффициент для приведения экономических показателей разных лет к сопоставимым по времени величинам. Первое слагаемое в выражении  $Q(S)$  представляет собой стоимость строительных работ и аренды ресурсов для ветвей, по которым проходят ребра  $r \in R$  графа  $WS$ , а второе – стоимость строительства и монтажа нефтепровода и его эксплуатации. Таким образом, предлагаемый подход, в отличие от известных ранее, в одной модели учитывает параметры элементов проектируемой сети и области размещения.

Тогда задача заключается в построении на множестве точек  $Y$  некоторого графа  $WS = (Y \subseteq X, R)$ , имеющего конфигурацию, соответствующую проектируемой сети нефтепроводов, и такого отображения  $F^*(r) \subseteq F(r)$  ребер графа по соответствующим маршрутам в графе  $PS$ , при которых функционал (2) принимает минимальное значение.

т.е. необходимо реализовать ребра (проложить нефтепровода) графа  $WS$  по соответствующим маршрутам (трассам) в графе  $PS$  таким образом, чтобы  $Q(S) \rightarrow \min$ .

Задачу в такой постановке можно решить с использованием двухэтапного алгоритма размещения линейных сооружений (в т.ч. трубопроводов) на заданной территории, предложенного в [12].

Таким образом, с помощью предложенной технологии на основе которого лежит послойный принцип, задача оптимизации сети нефтепроводов на земной поверхности с неоднородной территорией полностью формализована и свелась к решению соответствующих задач на гиперсетях.

## Литература

1. Райфельд В.Ф. Инженерно-геодезические работы при изыскании линейных сооружений. – М.: Недра, 1983. – 143 с.
2. Гельфанд И.М., Фомин С.В. Вариационное вычисление. – М.: Издательство физмат литературы, 1961. – 227 с.
3. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
4. Т. Ху. Целочисленное программирование и потоки в сетях. – М.: Издательство "Мир", 1974. – 520 с.
5. Таха Хемди А. Введение в исследование операций: 7-е издание // Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 912 с.
6. Бородавкин П.П. Выбор оптимальных трасс магистральных трубопроводов / П.П. Бородавкин, В.Л. Березин, С.Ю. Рудерман. – М.: Недра, 1974. – 240 с.
7. Тищенко А.С. Оптимальное технологическое проектирование нефтепроводов. – М.: Недра, 1982. – 263 с.
8. Бойков В.Н., Шумилов Б.М. Сплайны в трассировании автомобильных дорог. Томск: ЦНТИ, 2001. – 164 с.
9. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2002. – 128 с.
10. Попков В.К. Математические модели связности / Отв.ред. А.С. Алексеев. – 2-е изд. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2006. – 490 с.
11. Попков В.К. Гиперсетевая технология оптимизации инженерных сетей в горной или пересеченной местности / В.К. Попков, Г.Ы. Токтошов // Вестн. Бурят. гос. ун-та. – Сер. Матем. и информатика. – июнь 2010. – Вып. 9. – С. 276-282.
12. Токтошов Г.Ы. Исследование и разработка моделей и методов оптимизации систем сетевой структуры в условиях высокогорья: Автореф. дис. ... канд. техн. наук – Новосибирск, 2011. – 16 с. [http://www.sssc.ru/Diss\\_sov/Toktoshov.pdf](http://www.sssc.ru/Diss_sov/Toktoshov.pdf).

## Gipersetevaya model and methods of optimization of design solutions for laying pipelines in difficult conditions

Zhumagulov B.T., Kalimoldaev M.N., Popkov V.K., Toktoshov G.Y.

### Abstract

Pipeline network is an integral part of the infrastructure and a comfortable environment of modern society: without a cutting fuel consumption is now difficult to imagine a comfortable life. In this regard, an important problem is the transfer of oil from one point to another. However, the existing infrastructure at the moment pipeline network is underdeveloped, even they do not satisfy the consumers either in quality or in terms of the transmission of oil, which raises the challenge of designing new and upgrading existing networks.

### References

1. Raifeld V.F. Engineering and Surveying at finding linear structures. Moscow, Nedra, 1983. 143 p.
2. Gelfand I.M. and Fomin S.V. Variational calculation. Moscow Physics and Mathematics Literature Publishing, 1961. 227 p.
3. Christofides N. Graph Theory. An algorithmic approach. Academic Press, 1978. 432 p.
4. T. Hu Integer programming and network flows. M.: Publishing house "Mir", 1974. 520 p.
5. Hemdi Taha, Introduction to Operations Research: 7th Edition. Moscow, Publishing House "Williams", 2005. 912 p.
6. Borodavkin P.P. The choice of optimal routes of pipelines / P.P. Borodavkin, V.L. Berezin, S.Yu. Ruderman. Moscow, Nedra, 1974. 240.
7. Alexander Tishchenko. Optimal process design of pipelines. Moscow, Nedra, 1982. 263.
8. Boikov V.N., Shumilov B.M. Splines in tracing the roads. Tomsk CSTI, 2001. 164 p.
9. Skvortsov A.V. The Delaunay triangulation and its application Tomsk: Publishing House of Tomsk. University Press, 2002. 128 p.
10. Popkov V.K. Mathematical models of connectivity / 2nd ed. Novosibirsk, ICMMG, 2006. 490 p.
11. Popkov V.K. Giper networks technology optimization utilities in the mountain or cross country / V.K. Popkov, G.Y. Toktoshov // Bulletin. Buryats. State. University. Ser. Mat. and informatics. - June 2010. Issue. 9. P. 276-282.
12. Toktoshov G.Y. Research and development of models and methods of optimization of the network structure at high altitude: Author. dis. ... Candidate. tech. Sciences - Novosibirsk, 2011. - 16. [http://www.sssc.ru/Diss\\_sov/Toktoshov.pdf](http://www.sssc.ru/Diss_sov/Toktoshov.pdf)