

ГИПЕРСЕТИ В МОДЕЛИРОВАНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ СОВМЕЩЕННОЙ ПРОКЛАДКИ ПОДЗЕМНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Г. Ы. Токтошов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
630090, Новосибирск, Россия

УДК 519.179.1:519.179.2:624.1

В настоящей работе рассматриваются методологические вопросы решения задачи совмещенной прокладки подземных инженерных коммуникаций. На основе модели структурированной S-гиперсети предложена новая методика совмещенной прокладки подземных инженерных коммуникаций в одном коллекторе, учитывающей некоторые строительные нормы и правила безопасности.

Ключевые слова: подземная коммуникация, коллектор, первичная сеть, вторичная сеть, гиперсеть, S-гиперсеть.

In this paper the methodological questions solving tasks combined laying underground utilities are considered. Proposed a new technique combined laying underground utilities in one collector taking into account some construction and safety standards, based on the model S-structured hypernet.

Key words: underground communication, collector, primary network, secondary network hypernetwork, S-hypernetwork.

Введение. Система подземных коммуникаций является составной частью инфраструктуры современного города и определяет уровень его развития и благоустройства. В крупных городах протяженность подземных инженерных коммуникаций в несколько раз превышает суммарную протяженность улиц и составляет десятки тысяч километров. Доля подземных инженерных коммуникаций в градостроительном процессе достигает 25–30 % от стоимости строительства крупных городов и 30–40 % от затрат труда и времени [1]. Поэтому всемерное совершенствование строительства подземных коммуникаций на основе достижений научно-технического прогресса приобретает первостепенное значение.

Известно, что подземное пространство современных городов чрезвычайно насыщено инженерными коммуникациями различного назначения, стоимость которых весьма высока и составляет значительную долю от общей стоимости градостроительного процесса. Поэтому одной из важнейших задач проектирования и строительства городских территорий является снижение протяженности, а следовательно, стоимости построения инженерных коммуникаций за счет их совместной прокладки в одной траншее. Совмещенная прокладка подземных коммуникаций в одной траншее в технико-экономическом отношении, как правило, более рациональна, поскольку приводит к уменьшению объемов земляных работ и снижению стоимости строительства. По данным практики, стоимость строительства подземных коммуникаций при совмещенной их прокладке в одной траншее ниже стоимости их строительства

при отдельной прокладке на 15–30 %, а объем земляных работ меньше на 35–40 % [2]. За последние годы совмещенную прокладку широко применяют в крупных городах мира.

В практике размещения и прокладки подземных коммуникаций применяются подземные проходные галереи, предназначенные для совместного размещения в них трубопроводов и кабелей различного назначения. Такие галереи получили наименование общих коллекторов для подземных коммуникаций. Строительство общих коллекторов является прогрессивным методом в организации подземного хозяйства современного города. Способ прокладки подземных инженерных коммуникаций выбирают с учетом строительных и эксплуатационных затрат, особенностей местных условий и т. п. Исследование показывает, что прокладка инженерных коммуникаций в коллекторах микрорайонов больших и крупных городов экономически целесообразна при повышенной этажности зданий и большой численности их населения.

Коллекторы обладают рядом преимуществ, к основным из которых следует отнести [3]:

- сокращение или полное исключение разрытий улиц при строительстве и реконструкции подземных коммуникаций, а также эксплуатационных работах на сетях;
- возможность размещения группы коммуникаций в коллекторе, занимающем в плане и разрезе улицы сравнительно небольшое место;
- резкое улучшение условий эксплуатации подземных коммуникаций, размещаемых в общем коллекторе, благодаря возможности регулярного надзора и принятия профилактических мер без разрытия улиц;
- не столь резко проявляемые процессы коррозии в общих коллекторах по сравнению с прокладкой трубопроводов и кабелей в грунте.

Однако некоторыми недостатками строительства коллекторов и размещения в них подземных коммуникаций являются:

- единовременные значительные капиталовложения в строительство общих коллекторов;
- затруднения или техническая невозможность размещения в общих коллекторах самонесущих трубопроводов (канализации и водостоков) и газопроводов.

Технико-экономические обоснования целесообразности строительства общих коллекторов включают сравнительный анализ строительной стоимости прокладки инженерных коммуникаций в общем коллекторе и просто в грунте. При этом учитывают не только стоимость земляных работ и сооружения самого коллектора, но и стоимость подземных инженерных коммуникаций, так как при прокладке их в грунте или в коллекторе применяют различные конструкции инженерных коммуникаций. В коллекторе стоимость инженерных коммуникаций ниже, так как исчезает необходимость в сооружении ряда смотровых колодцев, отпадает необходимость устройства каналов для трубопроводов тепловых сетей, часть кабельных сетей устраивают с применением освинцованных кабелей вместо бронированных.

В общих коллекторах допускается размещение следующих подземных инженерных коммуникаций [3]:

- кабелей связи всех видов (телеграфа, телефона, радиовещания, сигнализации разного назначения и т. п.);
- кабелей электросети переменного и постоянного тока напряжением не более 1000 В (силовые, бытового потребления тока, уличного освещения, городского электротранспорта и т. п.);
- трубопроводов городской сети водоснабжения, исключая крупные водоводы;
- трубопроводов тепловых сетей;

— трубопроводов-коллекторов канализационной сети при напорном режиме работы (практически это происходит в сравнительно редких случаях, так как обычно канализационные трубы являются самотечными).

К тому же, в общем коллекторе могут быть размещены специальные сети: нефтепроводы, трубы пневматической почты, поливочный водопровод и др.

Следует отметить, что совмещенную прокладку подземных инженерных коммуникаций проектируют строго с соблюдением установленных правил и норм, касающихся взаимного расположения в плане (по горизонтали) и глубины заложения (по вертикали) инженерных коммуникаций различного назначения. При этом должны учитываться минимально допустимые расстояния по горизонтали между соседними инженерными подземными сетями при их параллельном размещении и минимально допустимые расстояния по вертикали при пересечении инженерных коммуникаций между собой в соответствии с [4] и [5]. Таким образом, разработка соответствующего подхода, позволяющего учесть взаимное расположение совмещенно прокладываемых инженерных коммуникаций на этапе их проектирования, является одной из актуальных задач.

1. Прокладка подземных коммуникаций. Содержательная постановка задачи по прокладке подземных инженерных коммуникаций в одном коллекторе может быть сформулирована следующим образом: определить с учетом всех правил безопасности, требований и ограничений такое пространственное расположение различных инженерных коммуникаций в одном коллекторе, при котором затраты на строительство коллекторов и размещение и эксплуатацию сетей были бы минимальными.

В качестве критерия оптимальности выбора оптимального проектного решения обычно принимают приведенные затраты, включающие в себя составляющие капитальных и эксплуатационных затрат [6]. В общем случае приведенные затраты Π_i^j для реализации i -го варианта проекта при построении j -й коммуникации представляют собой сумму текущих затрат (себестоимости) и капитальных вложений:

$$\Pi_i^j = C_i^j + E_{i,H}^j K_i^j \quad \text{или} \quad j = K_i^j + T_{i,H}^j C_i^j, \quad (1)$$

где $i = \{1, 2, \dots, m\} \in I$ — множество допустимых проектов; $j = \{1, 2, \dots, n\} \in J$ — множество инженерных коммуникаций, например, водопровод, теплопровод, газопровод, линии электропередачи, линии электросвязи и т. д.; K_i^j — капитальные вложения для размещения j -й коммуникации по i -му варианту проекта; C_i^j — текущие (эксплуатационные) затраты на обслуживание j -й коммуникации по i -му варианту проекта; $E_{i,H}^j$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $T_{i,H}^j$ — нормативный срок окупаемости капитальных вложений (величина, обратная $E_{i,H}^j$).

К капитальным вложениям K_i^j относятся единовременные затраты для строительства общего коллектора и затраты на приобретение и монтаж коммуникаций. При этом затраты на строительство общего коллектора включают в себя: $K_i^{j,\text{земл.}}$ — стоимость земли (выкуп, аренда, налог и т. д.), отведенная для строительства коллектора для размещения j -й коммуникации по i -му варианту проекта; $K_i^{j,\text{земл. раб.}}$ — стоимость земляных работ (рытье траншеи, отчуждение земли и т. п.) при строительстве коллектора для размещения j -й коммуникации по i -му варианту проекта.

Затраты на приобретение и монтаж коммуникаций: $K_i^{j,\text{узл.}}$ — стоимость приобретения и монтажа узловых элементов j -й коммуникации по i -му варианту проекта (коммутационного оборудования, трансформаторов, насосов, компрессорных устройств и т. п.); $K_i^{j,\text{линий}}$ — общая стоимость приобретения, прокладки и монтажа линейных элементов j -й коммуникации

по i -му варианту проекта (кабелей, трубопроводов и т. п.); $K_i^{j, \text{доп.}}$ — стоимость дополнительных работ по сооружению временных и подъездных дорог, мостов, защитных сооружений и других устройств для размещения j -й коммуникации по i -му варианту проекта. Таким образом, капитальные затраты на размещение j -й коммуникации по i -му варианту проекта:

$$K_i^j = K_i^{j, \text{земл.}} + K_i^{j, \text{земл. раб.}} + K_i^{j, \cdot} + K_i^{j, \text{линий}} + K_i^{j, \text{доп.}}. \quad (2)$$

Эксплуатационные затраты для строительства j -й коммуникации по i -му варианту проекта включают в себя следующие виды затрат: $C_i^{j, \text{аморт.}}$ — затраты на амортизацию, состоящие из сумм отчислений на капитальный ремонт и восстановление j -й коммуникации по i -му варианту проекта; $C_i^{j, \text{тек. р.}}$ — расходы на текущий ремонт и поддержание j -й коммуникации по i -му варианту проекта в состоянии, годном для эксплуатации; $C_i^{j, \text{з.п.}}$ — затраты на заработную плату эксплуатационного персонала для обслуживания j -й коммуникации по i -му варианту проекта; $C_i^{j, \text{восст.}}$ — затраты на восстановление отказов (учитываются при расчете показателей надежности) j -й коммуникации по i -му варианту проекта; $C_i^{j, \text{эксп.}}$ — затраты на эксплуатационные материалы для j -й коммуникации по i -му варианту; $C_i^{\text{теп.}}$, $C_i^{\text{хол.}}$, $C_i^{\text{эл.}}$, $C_i^{\text{вод.}}$, $C_i^{\text{инф.}}$ и т. д. — стоимость потребляемых в течение года энергоресурсов — теплоты, холода, электроэнергии, воды, информации и т. д. по i -му варианту проекта. Таким образом, эксплуатационные затраты на обслуживание j -й коммуникации по i -му варианту проекта:

$$C_i^j = C_i^{j, \text{аморт.}} + C_i^{j, \text{тек. р.}} + C_i^{j, \text{з. п.}} + C_i^{j, \text{восст.}} + C_i^{j, \text{эксп.}} + C_i^{\text{теп.}} + C_i^{\text{хол.}} + C_i^{\text{эл.}} + C_i^{\text{вод.}} + C_i^{\text{инф.}}. \quad (3)$$

Тогда задача заключается в поиске оптимального варианта проекта $I_{\text{opt.}}$, удовлетворяющего условию $\Pi_{I_{\text{opt.}}}^J \rightarrow \min$ при ограничениях и требованиях, налагаемых на проектируемые виды коммуникаций.

Анализ параметров приведенных затрат показывает, что для решения задачи совмещенного размещения инженерных коммуникаций в общем коллекторе по меньшей мере должны решаться в системном виде две задачи:

— задача выбора наиболее целесообразного варианта трассы, минимизирующего единовременные капиталовложения в строительство общих коллекторов;

— задача минимизации различных строительных и эксплуатационных затрат для совмещенного размещения различных инженерных коммуникаций по построенному коллектору.

Однако единого подхода к решению поставленной задачи, одновременно удовлетворяющего условия (2) и (3), в настоящее время не существует. Традиционно эти задачи решаются следующим образом: сначала решается задача строительства общих коллекторов по критерию минимума единовременных капиталовложений, дальше задача совмещенного размещения различных инженерных коммуникаций в одном коллекторе с учетом всех правил безопасности, требований и ограничений, при которых затраты на строительство коллекторов и размещение и эксплуатацию коммуникаций были бы минимальными. В дискретной постановке эти две задачи решаются классическими методами теории графов, такими как алгоритм Дейкстры, алгоритм Флойда и т. д., независимо друг от друга. На практике они должны решаться с учетом зависимости показателей элементов коллектора и инженерных коммуникаций, поскольку параметры элементов коллектора, такие как высота, длина, ширина зависят от вида и назначения совмещенно прокладываемых инженерных коммуникаций или наоборот.

Таким образом, задача совмещенной прокладки подземных инженерных коммуникаций должна решаться с учетом:

— взаимозависимости показателей элементов коллектора и подземных инженерных коммуникаций. Другими словами, структура подземных инженерных коммуникаций должна рассматриваться как двухуровневая система коллектор — инженерные сети, поскольку в основе решения данной задачи лежит проблема взаимодействия коллектора и инженерных коммуникаций различного назначения.

— проблем взаимодействия подземных инженерных коммуникаций между собой, характеризующих минимально допустимыми расстояниями по горизонтали между соседними инженерными подземными сетями при их параллельном размещении и минимально допустимыми расстояниями по вертикали при пересечении инженерных коммуникаций между собой. Кроме того, должны учитываться другие правила безопасности прокладки коммуникаций различного назначения в одном коллекторе.

2. Гиперсетевой подход к прокладке подземных коммуникаций.

Гиперсетевая модель. Взаимодействие коллектора и подземной коммуникации моделируется обычной гиперсетью [4], позволяющей рассматривать их взаимодействие как единый объект исследования. При этом в качестве первичной сети принимается структура коллектора, а в качестве вторичной — конфигурация инженерной сети.

Определение. 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 линейных сооружений; $P : V \rightarrow 2^X$ — отображение, сопоставляющее каждому элементу $v \in V$ множество $P(v) \subseteq X$, тем самым отображение P определяет граф первичной сети $PS = (X, V; P)$; $F : R \rightarrow 2^V_{PS}$ — отображение, сопоставляющее каждому элементу $r \in R$ множество трасс $F(r)$, образующих простой маршрут в графе $PS = (X, V; P)$, причем семейство 2^V_{PS} 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 .

$\forall r \in RW : r \rightarrow 2^{P(F(r))}$ — 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 $WS = (Y, R; W)$. Таким образом, гиперграф PS — первичная сеть, а гиперграф WS — вторичная сеть.

Из определения гиперсети следует, что математическая модель коллектора соответствует первичной сети $PS = (X, V; P)$ (рис. 1а) гиперсети S , а конфигурация линейных сооружений — вторичной сети $WS = (Y, R; W)$ (рис. 1б). Взаимодействие этих сетей определяется гиперсетью S (рис. 1в), т.е. ветвь $v \in V$ инцидентна ребру $r \in R$ тогда и только тогда, когда соответствующее ребро r вторичной сети реализовано по ветви v соответствующей трассы $F(r)$.

Под трассой в настоящей работе понимаются возможные коллекторы, через которые будут проложены инженерные коммуникации. Пусть теперь для графа $PS = (X, V)$ известны $\rho(v)$ — длина коллектора $v \in V$; $a(v)$ — удельная стоимость земли (выкуп, аренда, налог и т. д.) на участке $v \in V$ для строительства коллектора; $b_{r_j}(v)$ — удельная стоимость строительных (земляных) работ на участках $v \in V$ для j -й коммуникации $r_j \in R_j$; γ_1 — коэффициент дисконтирования по строительным затратам (это коэффициент для приведения экономических показателей разных лет к сопоставимым по времени величинам). Для графов $WS_j = (Y_j, R_j)$ известны $\rho(r_j) = \sum_{v \in F(r_j)} \rho(v)$ — длина j -й коммуникации $r_j \in R_j$; $c(r_j)$ — стоимость j -й коммуникации $r_j \in R_j$ и ее монтажа для прокладки между соответству-

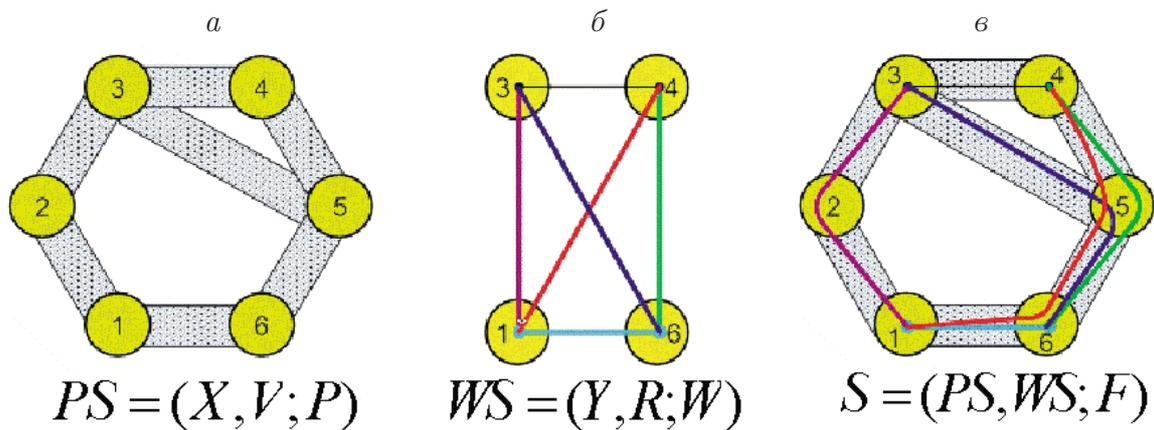


Рис. 1. Пример простой гиперсети:
a — коллектор; *b* — инженерная сеть; *в* — гиперсеть

ющими элементами Y_j ; γ_2 — коэффициент дисконтирования по стоимости оборудования; $d_v(r_j)$ — стоимость эксплуатации j -й коммуникации на участках $v \in V$ выбранного коллектора $F(r_i)$.

Тогда задача заключается в поиске гиперсети S (вложение WS_j в PS), такой что функционал

$$Q(S) = \left(\sum_{v \in V} a(v) + \sum_{v \in V} b_{r_j}(v) \cdot \gamma_1 \right) \cdot \rho(v) + \left(\sum_{r_j \in R_j} \gamma_2 \cdot c(r_j) + \sum_{r_j \in R_j} d_v(r_j) \right) \cdot \rho(r_j) \quad (4)$$

принимает минимальное значение, при этом должны выполняться все условия и требования, накладываемые на совмещенно прокладываемые виды инженерных коммуникаций. Следует отметить, что в отличие от (1), функционал (4) учитывает взаимозависимость параметров элементов первичных и всех вторичных сетей.

Однако следует отметить, что у обычной гиперсети есть один недостаток, связанный с ее изобразительной возможностью. Она не может характеризовать взаимное расположение различных вторичных сетей $WS_j = (Y_j, R_j)$ в одном коллекторе (трассе). Поскольку выполнение проекта прокладки подземных инженерных коммуникаций связано определением пространственного расположения всех элементов различных инженерных коммуникаций, то поиск оптимального варианта их размещения в одном коллекторе связан с анализом множества этих вариантов, каждый из которых должен быть проверен на соответствие ограничениям математической модели, среди которых есть условия непересечения несовместимых инженерных коммуникаций, их взаимного расположения и ряд других, связанных с видом и назначением проектируемых коммуникаций. В таком случае удобно использовать S-гиперсеть, позволяющую легко формулировать разнообразные задачи, связанные со структурами и взаимными расположениями инженерных коммуникаций различного назначения [7].

Структурированная гиперсеть. Для решения некоторых практических задач возникает необходимость преобразовывать гиперсети $S = (Y, V, R)$ по следующему правилу: в гиперсети вида S узел $y \subset Y$ заменяется на граф вида $y = \{x_j^i, E_j\}$ — граф узла y структурированной гиперсети, где x_j^i — j -я вершина вторичной сети WS_i , отображенная в узел y структурированной гиперсети $SA = (Y, V, G(X_i, R_i))$. Таким образом, в отличие от гиперсетей, вершины

вторичных сетей помещаются в узлы первичной сети независимо друг от друга, без ограничения на характер отображения, т. е. возможны варианты отображения нескольких вершин одной вторичной сети в один узел первичной сети.

Дадим формальное определение структурированной гиперсети. Пусть заданы множество графов $G_0 = (X^0, V)$, $G_1 = (X^1, U^1), \dots, G_k = (X^k, U^k)$, соответствующее инженерным коммуникациям различного назначения, и корневое дерево $T_0 = (Z, R)$, где $Z = z_0, z_1, \dots, z_k$, $R = r_1, \dots, r_k$ — определяющее вложение графов G_j в G_i ($i < j$) — аналогично вложениям, определяемым в гиперсетях, за тем исключением, что вершины x_k^i и x_l^i графов G_i и G_j не тождественны, а инцидентны. Очевидно, что одной и той же вершине x_k^i могут быть инцидентны несколько вершин $X_k^j = \{x_{k_1}^{j_1}, x_{k_2}^{j_2}, \dots, x_{k_l}^{j_l}\}$ из l графов $\{G_{j_s}\}$, $s = 1, \dots, l$. На множестве вершин X_k^j определяется $L^j = \{X_k^j, E\}$. Вершины $x_{k_i}^{j_i}$ и $x_{k_s}^{j_s}$ смежны в L^j , если соответствующие графы G_{j_i} и G_{j_s} в вершине x_k^i имеют некоторую системообразующую связь $l(x^{j_i}, x^{j_s})$. В противном случае эти вершины не связны. Так же, как и в гиперсетях, ребру $u_l^j \in G_j$ в графе G_i сопоставляется цепь или некоторая связная часть между соответствующими вершинами из G_i . Необходимо отметить, что системообразующие связи типа $\{l(x, y)\}$ могут иметь различную природу и, как правило, существенно зависят от вида ограничений, налагаемых на совмещенно прокладываемые коммуникации. В некоторых случаях, например, в системе транспортных сетей разного типа (метро, автобус, трамвай), такими связями в транспортных мультиузлах будут тротуарные линии (пешеходные переходы). В этом случае имеет смысл рассматривать объединение всех вторичных сетей. Для некоторых задач имеет смысл рассматривать сумму всех графов гиперсети, включая первичную сеть PS , т. е. $\underline{G} = G_0 + G_1 + \dots + G_k + \{L^j\}$. Более подробно с основными понятиями и определениями, связанными со структурированной гиперсетью, можно ознакомиться в работе [7]. В настоящей работе системообразующие связи типа $\{l(x, y)\}$ учитываются в виде ограничений различного характера, которые будут введены ниже.

Введем следующие понятия и ограничения [8]. Рассматривается прямоугольная система координат $XYZO$ с метрикой пространств ρ , выбор которой обусловлен требованием прокладки инженерных коммуникаций по координатным осям:

$$\rho(M, N) = |X_M - X_N| + |Y_M - Y_N| + |Z_M - Z_N|,$$

где $\rho(M, N)$ — расстояние между двумя точками M и N пространства $XYZO$.

При решении задачи прокладки инженерных коммуникаций различного назначения пространственное положение j -й коммуникации зададим вектором $T_j = (X_{J_0}, Y_{J_0}, Z_{J_0}, X_{J_1}, Y_{J_1}, Z_{J_1}, \dots, X_{JK_j}, Y_{JK_j}, Z_{JK_j}, Q_j)$, где $X_{J_0}, Y_{J_0}, Z_{J_0}$ — координаты начала коллектора; $X_{JK_j}, Y_{JK_j}, Z_{JK_j}$ — координаты конца коллектора; $X_{J_M}, Y_{J_M}, Z_{J_M}$, $M = \overline{1, K_j - 1}$ — координаты точек изломов коллектора; K_j — число прямоугольных фрагментов в j -м коллекторе; Q_j — угол поворота j -й коммуникации относительно ее первоначального положения.

Задача совмещенной прокладки инженерных коммуникаций различного назначения в одной траншее предполагает следующие ограничения:

— ограничение на предельно допустимый размер коллектора:

$$X_M^{\min} \leq X_M \leq X_M^{\max}; Y_M^{\min} \leq Y_M \leq Y_M^{\max}; Z_M^{\min} \leq Z_M \leq Z_M^{\max}; \quad (5)$$

— размещение j -й инженерной коммуникации в коллекторе:

$$K(J) \in K(X_M, Y_M, Z_M); \quad (6)$$

— размещение однотипных коммуникаций в один ряд:

$$z_{i1} = z_{i2}, (y_{i1} = y_{i2}) \vee (x_{i1} = x_{i2}); \quad (7)$$

— обеспечение требуемого расстояния между коммуникациями различного назначения:

$$\rho(J_i, J_k) \geq [\rho 1]_{ik}, \quad i \neq k, \quad (8)$$

где $[\rho 1]_{ik}, \forall i \neq k$ — нормативное расстояние между коммуникациями различного назначения, определяемое в соответствии с [4] и [5];

— ортогональность фрагментов совместимых коммуникаций:

$$(x_{jn+1} - x_{jn})(y_{jn+1} - y_{jn}) = 0 \vee (x_{jn+1} - x_{jn})(z_{jn+1} - z_{jn}) = 0 \vee (y_{jn+1} - y_{jn})(z_{jn+1} - z_{jn}) = 0; \quad (9)$$

— непересечение несовместимых коммуникаций друг с другом:

$$K(J_i) \cap K(J_k) = \phi, \quad i \neq k; \quad (10)$$

— непересечение трассы несовместимых коммуникаций друг с другом:

$$K(T_i) \cap K(T_k) = \phi, \quad i \neq k; \quad (11)$$

— коллекторы не должны проходить в зонах обслуживания коммуникаций:

$$K(T_j) \cap K(C_c^{\text{обсл.}_k}) = \phi, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad c = 1, 2, \dots, C_{\text{обсл.}} \quad (12)$$

С учетом введенных понятий и ограничений задача совмещенной прокладки инженерных коммуникаций в одном коллекторе формулируется следующим образом. Построить S-гиперсеть $SA = (Y, V, G(X_i, R_i))$, такую, для которой функционал (4) принимает минимальное значение при ограничениях (5–12). Следует отметить, что варьируя ограничения модели (5–12), задачи прокладки инженерных коммуникаций различного назначения и видоизменяя целевую функцию (4), можно из исходной постановки получить практически любую частную постановку задачи, встречающуюся на этапе принятия оптимального проектного решения.

Заключение. В настоящей работе предлагается новая методика решения проблемы совмещенного размещения инженерных коммуникаций в одном коллекторе на основе модели структурированной S-гиперсети. Однако задача поиска оптимальных сочетаний совмещенно прокладываемых инженерных коммуникаций — это сложная, многоуровневая, итерационная процедура принятия проектных решений, нельзя рассчитывать на ее легкое и однозначное решение. Нетрудно доказать, что подобные задачи относятся к классу NP-полных задач. Затраты машинного времени в таких задачах растут экспоненциально, что приводит при сравнительно небольшом увеличении размерности задачи к резкому возрастанию машинного времени, превышающему предел возможностей даже самого современного компьютера. Обычно для поставленных задач поиск точного решения возможен лишь для ограниченного числа размещаемых коммуникаций. Поэтому наиболее целесообразным путем решения задачи совмещенной прокладки инженерных коммуникаций в одном коллекторе является ее

разбиение на ряд взаимосвязанных частных задач меньшей размерности, имеющих самостоятельное значение в проектной практике, с последующим итерационным решением каждой из них.

Список литературы

1. ЗАБОРЩИКОВ О. В. Инженерные сети микрорайона: Методические указания по выполнению курсового проекта для студентов специальности 270105 — “Городское строительство и хозяйство” // О. В. Заборщиков, Н., П. Заборщикова. СПб., 2008.
2. [Электрон. ресурс]. http://www.laurel-realty.ru/gorodskie_seti/podzemnye_seti/razdelnaya_prokladka_setey1/.
3. [Электрон. ресурс]. <http://www.stroyplex.ru/obshchie-kollektory-dlya-podzemnykh-setei.html>.
4. СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.
5. СНиП II-89-90. Генеральные планы промышленных предприятий.
6. ВЫБОР алгоритма определения экономичных трасс прокладки кабелей / Отчет “Гипросвязь-4” по изысканию и проектированию сооружений связи МСС. Новосибирск, сентябрь 1977.
7. ПОПКОВ В. К. Применение теории S-гиперсетей для моделирования систем сетевой структуры // Пробл. информ. 2010. № 4. С. 17–40.
8. ПОПКОВ В. К., ТОКТОШОВ Г. Ы. Об одном подходе к оптимизации совмещенных инженерных коммуникаций // Труды IX Междунар. Азиат. шк.-семина. “Проблемы оптимизации сложных систем”. Алма-Ата. 2013. С. 254–261.

*Токтошов Гулжигит Ысакович — канд. техн. наук,
мл. науч. сотр. Института вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН; e-mail: tgi_tok@rambler.ru*

Дата поступления — 7.11.2013