

# НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

М. В. Конин

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

---

---

УДК 004.021

Рассмотрена задача о нахождении минимальных размеров и оптимального форм-фактора коллектора для инженерных сетей. Решение поставленной задачи необходимо для оценки стоимости решений при проектировании инженерной инфраструктуры мегаполиса. Рассмотрены все типы коммуникаций, допускающие возможность прокладки в подземных коллекторах. Составлена классификация коллекторов. Предложен точный алгоритм нахождения оптимального решения.

**Ключевые слова:** упаковка в контейнеры, оптимизация, инженерная инфраструктура, коллекторные системы.

The problem of the minimum size and the optimal form factor for collectors of engineering networks is considered in this article. The solution of this problem it is necessary to estimate the cost solutions for design engineering infrastructure metropolis. All types of communications are available for lying underground is considered. The classification of collectors is presented. The exact algorithm to finding the optimal solution is created.

**Key words:** bin packing problem, optimization, engineering infrastructure, collector system.

## Типы коллекторов и ограничения.

Рассматриваются коллекторы 3 основных видов:

- магистральные. Коллекторы между районами;
- локальные районные коллекторы;
- подводка коммуникаций к дому.

На основе ГОСТ-ов и СНиП-ов выделены следующие ограничения на проектирование коллекторов:

1) Общие правила размещения: а) инженерные коммуникации в поперечном сечении могут размещаться с двух сторон или с одной стороны; б) требования, определяющие габариты коллектора: ширина прохода должна быть на 0,1 м больше диаметра трубопровода, размещаемого в коллекторе, но не менее 0,8 м; при двухстороннем размещении электропроводов ширина прохода должна быть не менее 1 м; высота должна быть не менее 1,8 м.

2) Теплопроводы: а) в коллекторе расположение теплопровода следует предусматривать в 2 яруса. На нижнем — подающий теплопровод, на верхнем — обратный; б) расстояние между изолированными теплопроводами, а также между теплопроводами и кабелями связи и электропроводами по вертикали не должно быть меньше 0,2 м; в) в коллекторе компенсацию тепловых удлинений следует предусматривать в соответствии с требованиями СП 124.13330. Для этого по трассе теплопровода необходимо предусмотреть повороты трассы, П-образные компенсаторы, а на прямых участках — установку сильфоновых

компенсаторов. Участки компенсации следует разделять неподвижными опорами с креплением на них теплопроводов.

3) Водопроводы: а) прокладку водопровода следует предусматривать на бетонных, железобетонных или металлических опорах, которые при необходимости имеют конструктивную связь с отделкой коллектора. Между опорой и трубой, а также между хомутом и трубой необходимо предусмотреть диэлектрическую прокладку; б) расстояние от водопроводных труб до отделки коллектора или других коммуникаций следует принимать не менее 200 мм; в) следует предусмотреть теплоизоляцию и антикоррозийную защиту труб.

4) Кабели: а) прокладку электрических кабелей необходимо предусмотреть по потолкам или в лотках, которые опираются на консоли, кабели связи — непосредственно по консолям; б) кабели инженерного оборудования необходимо размещать на полках или лотках в верхней части коллектора, при этом расстояние от консоли до конструкции коллектора по вертикали должно быть не менее 0,15 м, а длина консоли — не более 0,6 м; в) расстояние между консолями кабелей связи по вертикали не менее 0,15 м, длина — не более 0,63 м; г) расстояние от верха консоли кабеля связи до полки электрических кабелей — не менее 0,2 м; д) для электрокабелей с напряжением до 35 кВ расстояние между консолями по вертикали — не менее 0,25 м, длина консоли — не более 0,5 м, а расстояние до верха конструкции коллектора — не менее 0,2 м; е) размещение электрокабелей более высокого напряжения следует предусматривать на отдельных полках ниже кабелей более низкого напряжения; ж) при размещении на одной полке кабелей разных сечений и марок расстояние между ними не должно быть меньше одного диаметра кабеля.

**Задача о нахождении минимального размера коллектора.** В задаче о нахождении минимального размера коллектора для заданных инженерных сетей входящими данными является массив инженерных сетей 4 типов: теплопроводы, водопроводы, электрокабели, кабели связи.

В работе предлагается каждой сети сопоставлять прямоугольник, так, чтобы расположенные в нем коммуникации не противоречили требованиям ГОСТ-ов и СНиП-ов. В результате задача сводится к задаче двумерной упаковки заданного количества фигур.

Приведем формальную постановку задачи.

Пусть

$h_t, w_t, n_t$  — размеры и количество прямоугольников типа „Теплопровод“;

$h_w, w_w, n_w$  — размеры и количество прямоугольников типа „Водопровод“;

$h_e, w_e, n_e$  — размеры и количество прямоугольников типа „Электрокабель“;

$h_l, w_l, n_l$  — размеры и количество прямоугольников типа „Кабель связи“;

$r_1, r_2, \dots, r_M$  — множество всех прямоугольников, где  $M = n_t + n_w + n_e + n_l$ ;

$x_i$  и  $y_i$  — координаты левого нижнего угла  $r_i$ .

Тогда исследуемая задача может быть представлена следующим образом:  $W \times H \rightarrow \min$ , где  $W$  и  $H$  — ширина и высота окаймляющего прямоугольника соответственно.

Как известно, задача двумерной упаковки является NP-сложной, но в силу небольшого количества входных данных рассматривается возможность нахождения решения точными алгоритмами.

Для построения точного алгоритма решения задач применяется кодирование допустимых решений при помощи корневых ориентированных деревьев.

**Определение 1.** Решение называется  $L$ -компактным, если ни один предмет нельзя сместить влево при условии, что остальные предметы остаются неподвижными.

Аналогично определяются  $B$ -,  $V$ - и  $R$ -компактные решения для смещения вниз, вверх и вправо соответственно.

**Определение 2.** Решение называется  $LB$ -компактным, если оно является  $L$ -компактным и  $B$ -компактным одновременно.

**Представление  $LB$ -компактных решений.** Корень дерева — левая граница упаковки. Ориентация дуг — от корня к листьям. Предмет  $B_i$  связан дугой с  $B_j$ , если левая сторона  $B_j$  касается правой стороны  $B_i$ . Если для  $B_j$  имеется несколько таких предметов ( $B_i, B_k$ ), то дуга идет только от нижнего предмета.

**Определение 3.** Ортогональное решение: корень дерева — нижняя граница упаковки. Ориентация дуг — от корня к листьям. Предмет  $B_i$  связан дугой с  $B_j$ , если верхняя сторона  $B_j$  касается нижней стороны  $B_i$ . Если для  $B_j$  имеется несколько таких предметов ( $B_i, B_k$ ), то дуга идет только от самого левого предмета.

**Лемма 1.** Количество  $LB$ -компактных решений равно  $n! \times C_2^n n + 1/(2n + 1)$ .

**Лемма 2.** Существует оптимальное решение задачи двумерной упаковки, которое является  $LB$ -компактным.

**Декодирование ориентированных корневых деревьев.** Задача: по ориентированному корневому дереву, каждой вершине которого, кроме корня, приписан предмет, найти площадь окаймляющего прямоугольника.

**Теорема 1.** Пусть  $S$  — все пути от корня к листьям в дереве решения. Тогда ширина  $W$  окаймляющего прямоугольника равна:

$$W = \max_{s \in S} \left( \sum_{v \in s} w_v \right),$$

где  $w_v$  — ширина вершины  $v$ .

**Теорема 2.** Пусть  $S$  — все пути от корня к листьям в ортогональном дереве решения. Тогда высота окаймляющего прямоугольника равна:

$$H = \max_{s \in S} \left( \sum_{v \in s} w_v \right),$$

где  $w_v$  — высота вершины  $v$ .

**Нахождение координат предметов.** Идея алгоритма нахождения координат вершин:

1. Построим для решения ортогональное дерево.
2. Обходим дерево алгоритмом поиска в глубину.
3. Пусть  $v$  — текущая вершина,  $v_p$  — родительская вершина  $v$  в дереве решения,  $v_p^o$  — родительская вершина в ортогональном дереве.
4. Для каждой вершины устанавливаем  $x = x_p + w_p$ , где  $x_p$  — абсцисса  $v_p$ ,  $w_h$  — ширина  $v_p$ .
5. Для каждой вершины устанавливаем  $y = y_p + w_p$ , где  $y_p$  — ордината  $v_p^o$ ,  $w_h$  — ширина  $v_p^o$ . Заметим, что так как обход графа идет в глубину, то можно гарантировать, что  $y_p$  будет вычислен для любой вершины.

## Список литературы

1. Институт по изысканиям и проектированию инженерных сооружений: коллекторы для инженерных коммуникаций. Москва, 2012.

2. СН 322-74: Указания по производству и приемке работ по строительству в городах и на промышленных предприятиях коллекторных тоннелей, сооружаемых способом щитовой проходки.
3. ПУЭ: Правила устройства электроустановок.
4. LODI A.: Algorithms for Two-Dimensional Bin Packing and Assignment Problem PhD in Systems Engineering.
5. LODI A., MARTELLO S., MONACI M.: Two-dimensional packing problems: A survey // European Journal of Operational Research 2002. P. 241–252.

*Конин Максим Васильевич —  
аспирант Института вычислительной математики  
и математической геофизики СО РАН,  
e-mail: maxim21214@gmail.com.*

*Дата поступления — 13.11.2014*