

УДК 004.896:004.942

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-160-165-168

И. М. ЗУГА¹
В. Г. ХОМЧЕНКО²
А. Н. КУЖЕЛЬ¹
А. О. СТРОЕВ¹

¹ПАО «ОНХП»,
г. Омск

²Омский государственный
технический университет,
г. Омск

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ СХЕМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ

Получена математическая модель учета расположения производственных объектов на территории с пересеченным рельефом. Предлагаются два критерия для поиска оптимального взаиморасположения объектов-источников и объектов-приемников технологических продуктов с учетом перепада высот. Введен признак объекта-источника. Приведены примеры заполнения таблиц уровней коммуникационных затрат в вертикальном направлении и таблицы признака объекта-источника.

Ключевые слова: пересеченный рельеф территории, производственные объекты, схемы расположения, оптимизационный синтез.

Проблема оптимального по тем или иным критериям размещения объектов является общедисциплинарной и решается теми или иными способами в различных областях науки и техники. Такие задачи возникают при проектировании радиоэлектронных устройств [1], при проектировании плоского и объемного расположения технологического оборудования в производственных помещениях [2–9], а также при синтезе схем размещения технологических установок, зданий и сооружений в процессе разработки генеральных планов промышленных предприятий [10–13]. В последнем случае при оптимизации схем расположения объектов предполагалось, что все объекты производственного комплекса расположены на одном уровне, на строго горизонтальной поверхности, а в качестве критери-

ев оптимизации использовались затраты на реализацию (создание и эксплуатацию) коммуникационных связей между объектами [10] этих комплексов, площадь, периметр и размеры территории, занимаемой производственным комплексом [11–13].

В настоящей работе предлагается математическая модель и метод оптимизации схем расположения производственных объектов (технологических установок, зданий и сооружений) на пересеченной местности.

Актуальность создания методов решения названной задачи связана с тем, что во многих случаях для проектируемого производственного комплекса целесообразно использовать территории, расположенные как можно ближе, например, к источникам сырья, к терминалам сбыта продук-

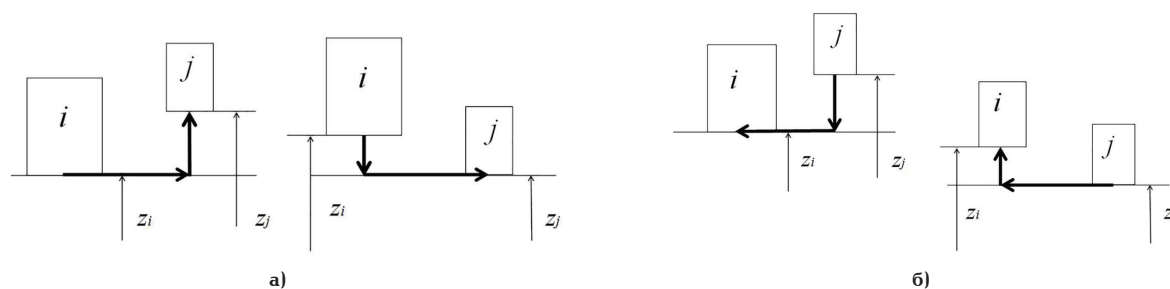


Рис. 1. Возможные взаиморасположения объектов по вертикали относительно друг друга и направления технологических потоков для случаев, когда источником является: а — i -й объект; б — j -й объект

ции и т. д. в условиях отсутствия в ближайших окрестностях одноуровневой естественной площадки достаточных размеров. Искусственное же создание таких площадей связано с необходимостью перемещения больших объемов грунтов и, как следствие, со значительными финансовыми затратами. В связи с этим целесообразно в каждом конкретном случае рассмотреть возможность оптимального размещения производственных объектов на имеющемся естественном пересеченном рельефе, сводя к минимуму перемещение грунта.

Как отмечалось, в работах [10–13] была решена задача синтеза схем размещения объектов на плоской территории из условия минимизации четырех критериев, а именно минимизации: затрат на реализацию коммуникационных связей между объектами; площади территории, необходимой для производственного комплекса; длины ее периметра и размеров.

Учет перепада высот в расположении производственных объектов существенным образом меняет и постановку, и методы решения задачи о размещении объектов, заметно усложняя поиск оптимального варианта их взаиморасположения.

При синтезе схем размещения объектов на пересеченной местности доминирующим условием являются затраты на реализацию коммуникационных связей. Учет остальных трех из упомянутых критериев при переходе к синтезу схем на пересеченной местности требуют незначительных уточнений и потому здесь не рассматриваются.

Следует обратить внимание на то, что разработка критериальных функций ведется в предположении, что критерии оптимизации не должны быть в точности равны минимизируемой физической величине, они должны быть согласными с ней. Это утверждение сводится в основном к требованиям, чтобы с уменьшением (увеличением) критерия оптимизации уменьшалась (увеличивалась) представляемая им физическая величина и, главное, чтобы их экстремумы совпадали.

Критерии, отражающие затраты на коммуникационные связи между объектами при разновысотном взаиморасположении объектов, в отличие от их расположения на горизонтальной плоскости, должны быть дополнены составляющими, учитывающими реализацию вертикальных участков коммуникационной связи. Затраты на реализацию вертикальных составляющих коммуникационных связей являются весьма существенными и должны быть отражены в математической модели. Большое значение в данной постановке задачи имеет учет взаиморасположения по высотным отметкам объектов-источников и объектов-приемников технологических продуктов. Возможно несколько способов

учета названных составляющих коммуникационных затрат.

В целях определенности условимся в первом приближении считать, что коммуникации подводятся к основаниям объектов — точнее, к центрам геометрических образов оснований [10–13], в качестве которых примем прямоугольники либо окружности, описывающие контуры оснований объектов в плане. Эти условия не являются строгими и при необходимости могут быть сняты без ущерба с точки зрения общности предлагаемого метода проектирования схем расположения объектов на пересеченном рельефе. Для этого достаточно назначить соответствующую точку подвода коммуникаций к объекту. Однако, имея в виду, что в данной постановке задача сводится к определению расположения именно основания объекта на местности, целесообразно принять предлагаемое допущение.

Учитывая, что при транспортировании технологического продукта на стоимость его вертикального перемещения влияет именно перепад высот, положим, что коммуникационные связи состоят из двух участков (рис. 1): горизонтального и вертикального. Протяженность последнего примем равной разности высот расположения оснований i -го и j -го объектов относительно нулевой отметки предприятия.

Введем два критерия, связанные с затратами на реализацию коммуникационных связей в условиях разновысотного расположения объектов.

В первом критерии K_1 будем считать, что горизонтальные участки коммуникационных связей проложены по кратчайшему расстоянию между объектами, а во втором K_2 — по «ломаным» катетам [10]. Оба критерия являются на значительной части допустимой области пространства параметров синтеза согласными. Однако при уточненном синтезе схем упомянутые критерии имеют минимумы при различных значениях параметров. Использование кратчайших расстояний между объектами позволяет обеспечивать более гладкую поверхность отклика целевой функции и, следовательно, лучшую сходимость вычислительного процесса в ходе оптимизации.

После решения задачи по первому критерию можно уточнить решения по второму критерию, учитывая тот факт, что инженерные коммуникации прокладываются параллельно или перпендикулярно контуру объектов (вдоль зданий).

В качестве критериальных функций для расчета первого K_1 и второго K_2 критериев примем следующие формулы:

$$K_1(V) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n k_{ij}^1(V);$$

$$K_2(V) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n k_{ij}^2(V),$$

Таблица 1

где V — вектор координат x_i, y_i и x_j, y_j центров геометрических образов оснований i -го и j -го объектов соответственно:

$$V = (x_i, y_i, x_j, y_j); (i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n);$$

$$k_{ij}^1 = c_{ij} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} + c_i^v |h_{ij}(x_i, y_i; x_j, y_j)|;$$

$$k_{ij}^2 = c_{ij} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) + c_i^v |h_{ij}(x_i, y_i; x_j, y_j)|;$$

$$h_{ij} = z_i(x_i, y_i) - z_j(x_j, y_j),$$

где c_{ij} и c_{ij}^V — удельные затраты на реализацию соответственно горизонтального и вертикального участков коммуникационных связей между i -м и j -м объектами; h_{ij} — соответственно перепад высот между основаниями i -го и j -го объектов; z_i и z_j — соответственно высоты оснований i -го и j -го объектов относительно нулевой отметки предприятия либо другой принятой высотной геодезической отметки.

Заметим, что удельные коммуникационные затраты могут быть выражены различным образом, как в денежных единицах, так и в условных, относительных единицах в некоторой балльной системе. В данной работе будем оценивать коммуникационные затраты в баллах [10], что особенно целесообразно на начальных стадиях проектирования, когда трудно или даже невозможно оценить уровень затрат в тех или иных физических или денежных единицах, а можно с определенной долей достоверности установить соотношение этих затрат.

Удельные затраты c_{ij}^V на реализацию вертикальных участков коммуникационных связей зависят, кроме прочего, от того, какой из объектов (i -й или j -й) в рассматриваемой паре является источником технологических материалов, а какой — приемником. Это, в свою очередь, определяет направление движения технологических материалов по вертикали (подача вверх или вниз) и, соответственно, уровень затрат на их перемещение.

В связи с этим исходные данные для проектирования схем размещения объектов на пересеченной местности должны содержать сведения об удельных коммуникационных затратах для каждой пары объектов при подаче технологических материалов как вверх, так и вниз, а также сведения о том, какой объект (i -й или j -й) в каждой паре является источником технологических материалов, а какой — приемником. Такие данные должны быть представлены в форме наддиагональных элементов матрицы размером $(n-1)n$.

В качестве признака определяющего является i -й объект источником или приемником технологических материалов, введем параметр t_{ij} , принимающий в наддиагональной части матрицы значение $+1$, если i -й объект по отношению к j -му является источником, и значение -1 , если — приемником. Понятно, что если i -й объект является источником, то j -й будет приемником, и наоборот.

На основании изложенного и в соответствии с рис. 1 можно записать следующее выражение для расчета параметра c_{ij}^V :

$$c_{ij}^v = \begin{cases} cn_{ij}, & \text{если } t_{ij} \cdot h_{ij} \geq 0; \\ cv_{ij}, & \text{если } t_{ij} \cdot h_{ij} < 0; \end{cases}$$

Пример задания матрицы значений параметра cn_{ij}

$i \setminus j$	1	2	3	4	5	6
1	×	5	4	0	4	7
2	—	×	0	8	1	2
3	—	—	×	3	0	11
4	—	—	—	×	1	3
5	—	—	—	—	×	9

Таблица 2

Пример задания матрицы значений параметра cv_{ij}

$i \setminus j$	1	2	3	4	5	6
1	×	14	9	0	16	20
2	—	×	0	15	20	9
3	—	—	×	7	0	17
4	—	—	—	×	12	14
5	—	—	—	—	×	19

Таблица 3

Пример задания матрицы значений параметра t_{ij}

$i \setminus j$	1	2	3	4	5	6
1	×	1	-1	0	-1	1
2	—	×	0	1	1	-1
3	—	—	×	-1	0	1
4	—	—	—	×	1	-1
5	—	—	—	—	×	-1

где cn_{ij} и cv_{ij} — удельные коммуникационные затраты при подаче технологических материалов по направлению соответственно вниз и вверх.

Удельные затраты c_{ij}^V могут быть выражены, в частности, в долях затрат на транспортировку технологических материалов по горизонтальным участкам коммуникаций. В этом случае их значения можно рассчитать по зависимостям:

$$cn_{ij} = k_{ij}^N \cdot c_{ij} \quad \text{и} \quad cv_{ij} = k_{ij}^V \cdot c_{ij},$$

где k_{ij}^N и k_{ij}^V — доли от удельных горизонтальных коммуникационных затрат на транспортировку технологического продукта соответственно вниз и вверх (заметим, что значения коэффициентов k_{ij}^N и k_{ij}^V могут быть как больше, так и меньше единицы).

Если между рассматриваемой парой объектов отсутствует коммуникационная связь, то соответствующим элементам матриц cn_{ij} , cv_{ij} и t_{ij} должны

быть присвоены нулевые значения (пример оформления соответствующих матриц для шести объектов приведен в табл. 1–3; значения в табл. 1 и 2 указаны в баллах по 20-балльной шкале).

В данной статье основное внимание уделено разработке именно критериальной функции как базовой для создания соответствующей целевой функции и алгоритма поиска оптимального расположения производственных объектов на пересеченном рельефе с учетом в последующем необходимых ограничивающих условий.

Библиографический список

1. Курейчик В. М., Глушань В. М., Щербаков Л. И. Комбинаторные аппаратные модели и алгоритмы в САПР. М.: Радио и связь, 1990. 216 с. ISBN 5-256-00748-3.
2. Козловский В. А. Организационные и экономические вопросы построения производственных систем. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. 216 с.
3. Koopmans T. C., Beckman M. J. Assignment problems and the location of economic activities // *Econometrica*. 1957. Vol. 25, № 1. P. 53–76. DOI: 10.2307/1907742.
4. Забудский Г. Г., Лагздин А. Ю. Алгоритм решения квадратичной задачи о назначениях с минимальными критериями на дереве // *Динамика систем, механизмов и машин: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. (10–12 ноября 2009 г.)*. Омск, 2009. Кн. 3. С. 23–27.
5. Кафаров В. В., Мешалкин В. П., Богомолов Б. Б. Алгоритм оптимального размещения в объеме цеха с использованием метода ветвей и границ // *Теоретические основы химической технологии*. 1982. Т. 16, № 1. С. 83–89.
6. Егоров С. Я., Шаронин К. А., Немтинов К. В. Автоматизированная информационная система поддержки принятия проектных решений по компоновке промышленных объектов. Ч. 4. Применение экспертных систем для проверки правил компоновки // *Информационные технологии в проектировании и производстве*. 2013. № 4. С. 36–43.
7. Малыгин Е. Н., Егоров С. Я., Громов М. С. Методика решения задачи компоновки в цехах ангарного типа // *Химическая промышленность сегодня*. 2006. № 6. С. 46–55.
8. Егоров С. Я. Методология автоматизированного поиска объемно-планировочных решений химических производств // *Химическая промышленность сегодня*. 2006. № 10. С. 35–54.
9. Егоров С. Я., Немтинов В. А., Громов М. С. Автоматизация компоновки оборудования в цехах ангарного типа. Ч. 1. Размещение технологического оборудования // *Химическая промышленность*. 2003. № 8. С. 21–28.

10. Зуга И. М., Хомченко В. Г. Автоматизированное проектирование схем размещения объектов предприятий из условия минимизации коммуникационных затрат // *Омский научный вестник*. 2009. № 3 (83). С. 96–99.

11. Зуга И. М., Хомченко В. Г. Автоматизированное проектирование схем размещения объектов предприятий из условия минимизации занимаемой ими площади // *Омский научный вестник*. 2011. № 2 (100). С. 163–167.

12. Зуга И. М., Хомченко В. Г. Проектирование схем размещения объектов из условия минимизации периметра занимаемой ими территории / ОмГТУ. Омск, 2009. 8 с. Деп. в ВИНТИ 13.05.2009, № 348-B2009.

13. Зуга И. М., Хомченко В. Г. Разработка системы автоматизированного проектирования схем расположения объектов промышленных предприятий / ОмГТУ. Омск, 2011. 17 с. Деп. в ВИНТИ 06.03.2011, № 110-B2011.

ЗУГА Игорь Михайлович, кандидат технических наук, генеральный директор ПАО «ОНХП», г. Омск.
ХОМЧЕНКО Василий Герасимович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Автоматизация и робототехника» Омского государственного технического университета.

SPIN-код: 8385-2139

AuthorID (РИНЦ): 175651

AuthorID (SCOPUS): 55941500600

AuthorID (SCOPUS): 6603880234

ResearcherID: P-8539-2015

КУЖЕЛЬ Алексей Николаевич, главный специалист по разработке программного обеспечения ПАО «ОНХП», г. Омск.

Адрес для переписки: library@onhp.ru

СТРОЕВ Артем Олегович, инженер отдела информационных технологий ПАО «ОНХП», г. Омск.

Для цитирования

Зуга И. М., Хомченко В. Г., Кужель А. Н., Строев А. О. Математическая модель проектирования оптимизированных схем расположения производственных объектов на пересеченной местности // *Омский научный вестник*. 2018. № 4 (160). С. 165–168. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-160-165-168.

Статья поступила в редакцию 04.06.2018 г.

© И. М. Зуга, В. Г. Хомченко, А. Н. Кужель, А. О. Строев