

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПЕРЕСЕЧЕННОМ РЕЛЬЕФЕ ПРИ ОДНОУРОВНЕВОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ КОММУНИКАЦИЙ

Предложены критериальная и целевая функции для минимизации затрат на реализацию коммуникационных связей между производственными объектами при условии их расположения на пересеченном рельефе. Коммуникационные трубные и кабельные внешние проводки представлены тремя участками: первый и третий участки — вертикальные, второй (средний) — горизонтальный. Принято, что горизонтальная часть коммуникаций располагается на одном общем для всех объектов уровне: либо на предварительно заданном, либо определяемом в процессе оптимизационного поиска. Дополнительные условия синтеза учитываются введением функции штрафа. Приведен численный пример.

**Ключевые слова:** производственные объекты, пересеченный рельеф местности, затраты на реализацию коммуникационных связей, оптимизация.

Оптимальное по тем или иным критериям размещение производственных объектов промышленных предприятий является актуальной научной и практической задачей, поскольку связано со значительными материальными затратами при их строительстве и эксплуатации. Проблема оптимального размещения производственных объектов широко обсуждается в научной литературе [1–18]. В основном рассматриваются задачи расположения объектов в производственных помещениях [1–13]. В работе [14] рассмотрена проблема размещения пожароопасных объектов с учетом рельефа местности. В работах [15–18] предложены методы оптимального размещения объектов на выделенной для предприятия территории, с плоским горизонтально расположенным рельефом. В качестве критериев синтеза схем расположения объектов в этих работах были приняты затраты на реализацию коммуникационных связей между ними и площадь, занимаемой ими территорией. В работе [17] получена математическая модель, позволяющая рассчитывать затраты на реализацию коммуникационных связей между объектами, расположенными на территории с явно выраженным пересеченным рельефом. При этом предполагалось, что

горизонтальная часть коммуникаций прокладывается для каждой пары объектов на различных уровнях отметках, связанных с основанием объекта, имеющим меньшую апплику в данной паре рассматриваемых объектов.

В ряде случаев с целью объединения эстакад, туннелей и других устройств, предназначенных для размещения трубных и кабельных коммуникаций, следует прокладывать их на одном либо на нескольких общих для ряда коммуникаций уровнях.

В данной статье решается задача получения математической модели для синтеза оптимальных схем расположения производственных объектов на пересеченном рельефе в случае размещения коммуникаций на одной уровневой отметке.

Поскольку три других критерия (площадь, размеры и периметр выделенной территории) рассматриваются при проектировании предприятий на пересеченном рельефе в проекции на некую горизонтальную плоскость, то для синтеза схем расположения объектов по этим критериям можно воспользоваться методами, предложенными в работах [15–18].

При разработке математической модели для пересеченного рельефа воспользуемся понятиями

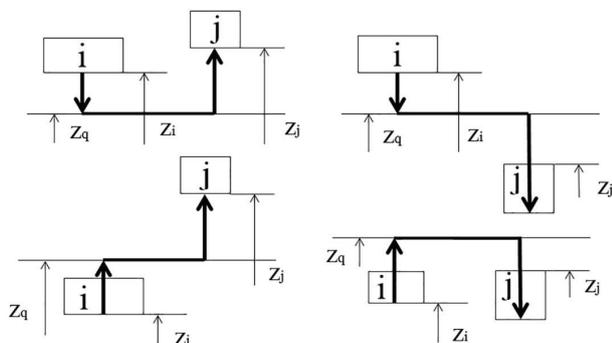


Рис. 1. Расположение объектов по вертикали, когда источник  $i$ -й объект

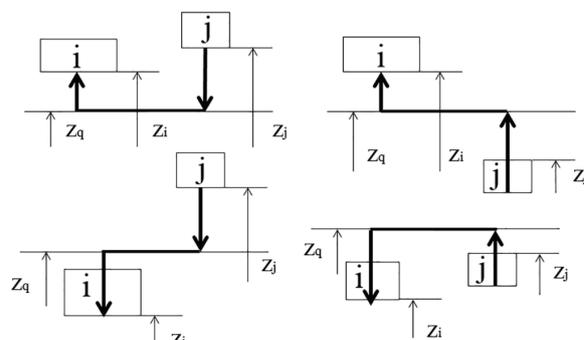


Рис. 2. Расположение объектов по вертикали, когда источник  $j$ -й объект

ми и обозначениями, введенными в работе [17], а именно:  $t_{ij}$  — параметр, принимающий значение  $+1$ , если  $i$ -й объект по отношению к  $j$ -му является источником, и значение  $-1$ , если — приемником. Если между парой объектов нет коммуникационной связи, то параметр  $t_{ij}$  принимает значение, равное нулю.

Понятно, что если  $i$ -й объект является источником, то  $j$ -й будет приемником, и наоборот;  $c_{ij}$  — удельные затраты на реализацию горизонтальных участков коммуникационных связей между  $i$ -м и  $j$ -м объектами;  $cn_{ij}$  и  $cv_{ij}$  — удельные коммуникационные затраты при подаче технологических материалов по направлению соответственно вниз и вверх;  $z_i$  и  $z_j$  — соответственно высоты оснований  $i$ -го и  $j$ -го объектов относительно нулевой отметки предприятия либо другой принятой высотной геодезической отметки.

В отличие от постановки задачи в работе [17], будем полагать, что коммуникационные связи между каждой парой объектов имеют три участка: первый и третий — вертикальные, а второй (средний) — горизонтальный (рис. 1 и 2). Горизонтальная часть коммуникаций имеет в качестве начальных координат координаты  $x_i, y_i$  центра геометрического образа основания  $i$ -го объекта, а в качестве конечных — координаты  $x_j, y_j$  центра геометрического образа основания  $j$ -го объекта ( $i = 1, \dots, n-1$ ;  $j = i+1, \dots, n$ ; здесь:  $n$  — число объектов). При расчете этого критерия будем, как отмечалось, считать, что горизонтальная часть коммуникаций для всех пар объектов прокладывается на одном относительно нулевой отметки предприятия уровне.

Таким образом, в принятой математической модели реальный профиль коммуникаций (наклонный, ступенчатый и т. п.) представляется в виде строго вертикальных и горизонтальных участков (рис. 1 и 2), что вполне приемлемо, поскольку позволяет учесть затраты на подачу технологического продукта, связанных именно с перепадом высот между каждой парой объектов.

К назначению общего для горизонтальной части коммуникаций уровня может быть два подхода:

а) общий уровень задается лицом, принимающим решение, по тем или иным соображениям и в ходе оптимизационного синтеза остается неизменным;

б) общий уровень горизонтальной части коммуникаций принимается, наряду с координатами центра геометрического образа основания объектов, в качестве свободного параметра синтеза и подлежит поиску в ходе минимизации целевой функции.

Заметим, что геометрические образы оснований  $i$ -го и  $j$ -го объектов могут также располагаться как

выше, так и ниже общего уровня горизонтальной части коммуникаций.

Как и в работах [14, 16], критериальные функции, учитывающие затраты на реализацию коммуникационных связей, получим для двух случаев проводки их горизонтальных частей: по кратчайшему расстоянию (критерий  $K_1$ ) и по так называемым «ломаным» катетам (критерий  $K_2$ ). На основании рис. 1 и рис. 2 запишем следующие аналитические выражения названных критериальных функций:

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

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

где  $V$  — вектор координат  $x$  и  $y$  центров геометрических образов оснований  $i$ -го и  $j$ -го объектов и аппликаты общего уровня горизонтальной части коммуникаций:

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

$$k_{ij}^1 = c_{ij}^1 |h_i(x_i, y_i, zg)| + c_{ij} \left( (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \right)^{0.5} + c_{ij}^2 |h_j(x_j, y_j, zg)|;$$

$$k_{ij}^2 = c_{ij}^1 |h_i(x_i, y_i, zg)| + c_{ij} \left( |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \right) + c_{ij}^2 |h_j(x_j, y_j, zg)|;$$

$$h_i(x_i, y_i, zg) = z_i(x_i, y_i) - zg;$$

$$h_j(x_j, y_j, zg) = z_j(x_j, y_j) - zg;$$

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

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

$zg$  — аппликата общего уровня горизонтальной части коммуникационных проводов относительно нулевой отметки предприятия либо другой принятой высотной геодезической отметки.

Примеры заполнения матриц параметров  $t_{ij}$ ,  $cn_{ij}$  и  $cv_{ij}$  приведены в статье [16]. При оптимизационном проектировании схем расположения производственных объектов должен быть учтен целый ряд дополнительных условий. Одними из основных являются требования по регламентированным минимально допустимым расстояниям между объек-

Таблица 1

Допустимые расстояния, м

$i \setminus j$	1	2	3	4	5
1	×	50	20	30	40
2	—	×	90	80	10
3	—	—	×	35	60
4	—	—	—	×	10

Таблица 2

Размеры оснований объектов, м

Размеры	1	2	3	4	5
$a$	20	40	60	50	30
$b$	40	15	20	50	40

Таблица 3

Значения параметра  $t_{ij}$ 

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

Таблица 4

Коммуникационные затраты (горизонтальная часть)

$i \setminus j$	1	2	3	4	5
1	×	35	10	0	40
2	—	×	0	20	10
3	—	—	×	5	0
4	—	—	—	×	1

Таблица 5

Коммуникационные затраты (подача вверх)

$i \setminus j$	1	2	3	4	5
1	×	50	30	0	100
2	—	×	0	60	20
3	—	—	×	30	0
4	—	—	—	×	10

Таблица 6

Коммуникационные затраты (подача вниз)

$i \setminus j$	1	2	3	4	5
1	×	5	4	0	15
2	—	×	0	8	1
3	—	—	×	3	0
4	—	—	—	×	1

тами на просвет в проекции на горизонтальную плоскость. На основании комплекса дополнительных условий синтеза схем расположения объектов формируется функция штрафа  $S(x_i, y_i; x_j, y_j)$  [3, 18].

Таким образом, целевую функцию для оптимизационного синтеза схем расположения объектов на пересеченном рельефе в общем виде можно представить следующим образом:

$$Z(V) = K(V) + pS(x_i, y_i; x_j, y_j),$$

где  $K(V) = \begin{cases} K_1 - \text{при прокладке коммуникаций} \\ \text{по кратчайшему расстоянию;} \\ K_2 - \text{при прокладке коммуникаций} \\ \text{по "ломаным" катетам;} \end{cases}$

$p$  — весовой коэффициент функции штрафа.

С целью проверки адекватности предложенной математической модели проведен численный эксперимент для предприятия со следующими параметрами: число объектов — 5; допустимые расстояния между  $i$ -м и  $j$ -м объектами на просвет (табл. 1); размеры геометрических образов оснований объектов (табл. 2); данные об объектах-источниках и объектах-приемниках (табл. 3); удельные коммуникационные затраты при подаче технологического продукта: по горизонтальной части (табл. 4); вверх (табл. 5); вниз (табл. 6). Линии уровня рельефа пе-

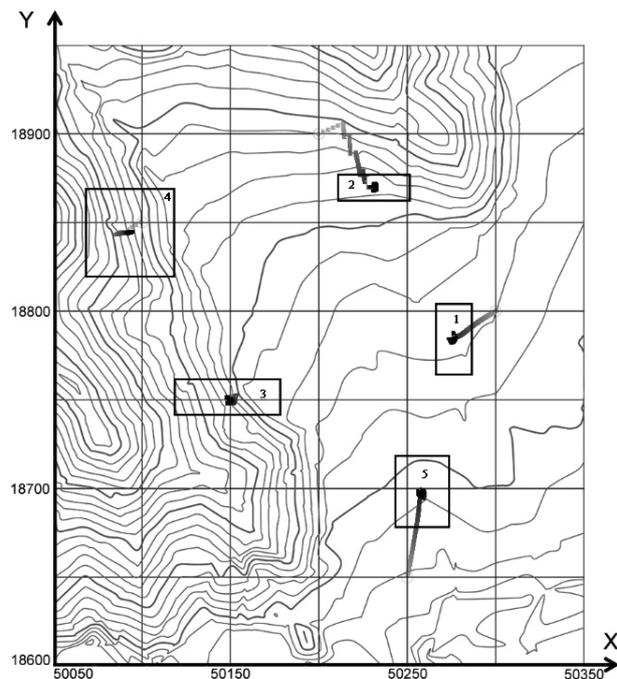


Рис. 3. Результирующие положения объектов и траектории движения центров оснований объектов из начального в конечное

Координаты начального ( $x_H, y_H$ ) и результирующего ( $x_P, y_P$ ) расположения центров геометрических образов оснований объектов, м

Коорд.\ № объекта	1	2	3	4	5
$x_H$	50300	50200	50150	50100	50250
$y_H$	18800	18900	18750	18850	18650
$x_P$	50276	50231	50148	50093	50258
$y_P$	18783	18869	18750	18844	18697
$zg_H$	7,00				
$zg_P$	14,65				

ресеченной местности, выделенной для расположения предприятия, представлены на рис. 3. Решение задачи велось при расчете длины коммуникаций по кратчайшему расстоянию, то есть из условия минимизации критерия  $K_1$ .

Координаты расположения центров геометрических образов оснований объектов, принятые в качестве начального решения ( $x_H, y_H$ ) и полученные в результате оптимизационного поиска ( $x_P, y_P$ ), представлены в табл. 7. Там же приведены начальное  $zg_H$  и результирующее  $zg_P$  значения аппликаты общего уровня горизонтальной части коммуникационных проводов. На рис. 3 показаны начальные и результирующие положения объектов и траектории движения центров геометрических образов оснований объектов из начального в результирующее.

По сравнению с начальным решением ( $K_1 = 624689,46$  ед.м) коммуникационные затраты удалось снизить до  $K_1 = 406617,26$  ед.м, то есть на 34,91 %. Из сопоставления полученных результатов видно, что предложенная математическая модель дает возможность заметно снизить коммуникационные затраты при выполнении дополнительных условий по минимально допустимому расстоянию между объектами на просвет ( $S = 0$ ).

В заключение отметим, что полученная в настоящей работе математическая модель позволяет: во-первых, решить задачу оптимального размещения производственных объектов создаваемого предприятия на выделенной траектории с пересеченным рельефом, во-вторых, расширить перечень территорий, пригодных для размещения предприятий, за счет перехода от равнинной местности к пересеченной, в-третьих, оценить при необходимости на предпроектной стадии пригодность выделенной территории для размещения на ней данного промышленного предприятия.

#### Библиографический список

1. Козловский В. А. Организационные и экономические вопросы построения производственных систем. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. 216 с.
2. Koopmans T. C., Beckmann M. J. Assignment problems and the location of economic activities // *Econometrica*. 1955. Vol. 25, no. 1. P. 53–76. DOI: 10.2307/1907742.
3. Егоров С. Я. Аналитические и процедурные модели компоновки оборудования промышленных производств: моногр. М.: Машиностроение-1, 2007. 104 с.
4. Кафаров В. В., Мешалкин В. П. Проектирование и расчет оптимальных систем технологических трубопроводов. М.: Химия, 1991. 368 с.

5. 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 (152). С. 36–43.

6. Егоров С. Я. Методология автоматизированного поиска объемно-планировочных решений химических производств // *Химическая промышленность сегодня*. 2006. № 10. С. 35–54.

7. 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.

8. Егоров С. Я., Шаронин К. А., И. С. Фурсов [и др.]. Применение параллельных вычислений для трассировки технологических трубопроводов волновым алгоритмом // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2012. Т. 18, № 2. С. 361–366.

9. Вайнер В. Г., Губницкий С. Б., Зайцев И. Д. [и др.] Автоматизированное проектирование генеральных планов промышленных предприятий. Киев: Будивельник, 1986. 113 с.

10. Ахмедов И. С., Сигал И. Х. Задача компоновки схемы генплана промпредприятий и некоторые подходы к ее решению / *ВЦ АН СССР*. М., 1983. № 270. 57 с. Деп. в ВИНТИ 01.06.83.

11. Abhishek Kumar Jain, P. M. Mishra. Optimum facility design considering flow obstruction // *International Journal of Advanced Mechanical Engineering*. 2014. Vol. 4, № 7. P. 713–719.

12. Krishna Kumar Ukey, P. M. Mishra. Optimum facility layout by the application of ABC control // *International Journal of Science and Research*. 2013. Vol. 6.14. URL: <https://www.ijsr.net/conf/NCKITE2015/11.pdf> (дата обращения: 30.06.2018).

13. Андреевкова Е. А., Секирин А. И. Оптимальное размещение производственного оборудования автоматизированных технологических комплексов с использованием генетических алгоритмов // *Збірка студентських наукових праць ФКІТА*. 2007. Вип. 5. URL: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/8343> (дата обращения: 30.06.2018).

14. Чуб И. А. Математическая модель оптимизационной задачи размещения пожароопасных объектов с учетом рельефа области размещения // *Радиоэлектроника, информатика, управління*. 2013. № 1. С. 88–93.

15. Зуа 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.

16. Зуа И. М., Хомченко В. Г. Автоматизированное проектирование схем размещения объектов предприятий из условия минимизации занимаемой ими площади // *Омский научный вестник*. 2011. № 2 (90). С. 163–167.

17. Зуа 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.

18. Зуга И. М., Хомченко В. Г. Формирование функции штрафа при автоматизированном проектировании схем расположения объектов производственных комплексов // Омский научный вестник. 2013. № 1 (117). С. 114–118.

**ЗУГА Игорь Михайлович**, кандидат технических наук, генеральный директор ПАО «ОНХП», г. Омск. SPIN-код: 1556-0157

AuthorID (РИНЦ): 992991

**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): 6603880234

ResearcherID: P-8539-2015

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

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

Адрес для переписки: library@onhp.ru

#### Для цитирования

Зуга И. М., Хомченко В. Г., Кужель А. Н., Строев А. О. Математическая модель оптимизации размещения производственных объектов на пересеченном рельефе при одноуровневом расположении горизонтальной части коммуникаций // Омский научный вестник. 2018. № 5 (161). С. 147–151. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-147-151.

Статья поступила в редакцию 14.08.2018 г.

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

УДК 519.7

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-151-157

**А. Н. ФЛОРЕНСОВ**

Омский государственный  
технический институт,  
г. Омск

## О МОДЕЛЯХ ГОМЕОСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ СО СТОХАСТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Для описания динамики социума предлагается использовать вместо традиционных полностью детерминированной или стохастической модели математическую модель дифференциальных уравнений со стохастическими базовыми параметрами. Построенная четырехкомпонентная модель социума соотносится с гомеостатической системой третьего типа. Анализ показывает, что часть таких естественных систем допускает описание моделями, органически сочетающими свойства детерминированных и стохастических систем. Внутреннее управление и гомеостазис дают в динамике детерминированные по функциональным связям взаимодействия между компонентами системы, а стохастичность возникает как результат влияния элементарных взаимодействий между более простыми составляющими системы.

**Ключевые слова:** гомеостатическая система, детерминированная модель, стохастическая модель, динамика сложной системы, гомеостазис, статистическая неустойчивость.

**Введение.** Действие множества факторов в естественных системах сколько-нибудь объективно удается описать только через понятия изменяемых во времени объективных связей, называемых *управляющими связями* по аналогии с техническими системами. Сложные естественные системы, как показывает анализ, существуют только до тех пор, пока встроенные в них системы управления поддерживают гомеостазис этих систем [1]. Внутренние подсистемы, реализующие управление состояниями таких систем, обеспечивают своим функциониро-

ванием сохранение требуемых для их существования локальных состояний и условий устойчивости этих состояний. В частном случае это температурный баланс для необходимого диапазона биохимических реакций или поддержание условий питания биологической или социальной системы.

Естественные системы по сравнению с техническими, содержат очень большое число образующих их элементов и подсистем, поэтому для научных исследований динамики и прогнозирования возникает трудная проблема точного математического