

УДК 658.52.01

О.Е. ФЕДОРОВИЧ, Л.Д. ГРЕКОВ, К.О. ЗАПАДНЯ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ГЕОРАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*Ставится и решается задача рационального размещения геораспределенной производственной системы (ГРПС) (нефте- и газодобыча, телекоммуникационные системы, распределенный машиностроительный комплекс и т.п.) на земной поверхности. Показано, что важной особенностью ГРПС является использование дорогостоящего земельного ресурса, который должен быть использован для размещения основных технологических узлов и магистральных каналов связи. В виду сложности и большой размерности, задача оптимизации размещения ГРПС на земной поверхности решается в два этапа (размещение технологических узлов; размещение магистральных каналов связи). В постановках оптимизационных задач в качестве основных критериев и ограничений выступают: затраты на приобретение земельных участков, стоимость работ по приведению земельных участков к состоянию, необходимому для размещения ГРПС; стоимость прокладки магистральных каналов связи; затраты, связанные с поддержанием требуемого экологического состояния земельных участков.*

**Ключевые слова:** геораспределенная производственная система, оптимальное использование земельного ресурса, оптимизация размещения технологических узлов, оптимизация размещения магистральных каналов связи.

### Введение

Современные промышленные комплексы магистрального характера (нефте- и газодобыча, транспортные системы, телекоммуникационные компании) представляют собой геораспределенные производственные системы (ГРПС) [1].

Технологическое оборудование, инфраструктура геораспределенных систем требуют развития, модернизации и постоянного контроля со стороны руководства ГРПС [2].

Важной особенностью таких систем является использование земельного ресурса, на котором расположены технологические объекты и магистральные системы (трубопроводы, каналы связи и т.д.) ГРПС. Учитывая, что земельный ресурс, в настоящих производственно-экономических отношениях, имеет высокую стоимость и может находиться во владении или аренде, покупать или продаваться, руководство ГРПС уделяет большое внимание выбору земельных участков, минимизации площади под размещение производственных объектов и рискам воздействия на земельный ресурс природных и техногенных факторов.

Отсюда вытекает актуальность предлагаемой публикации, которая посвящена разработке моделей для оптимизации размещения технологических объектов и магистральных систем ГРПС на земной поверхности.

### Постановка задачи исследования

Пусть, в результате исследований на этапе системного проектирования, определена архитектура ГРПС в виде состава основных технологических узлов и магистральных связей между ними [3]. Необходимо узлы и магистральные каналы связи ГРПС привязать к участкам земной поверхности с учетом основных характеристик выбираемых земельных участков:

-  $W$  – стоимость (покупка, аренда и т.д.) земельных участков;

-  $R$  – стоимость работ по приведению земельных участков к состоянию, необходимому для размещения технологических узлов ГРПС;

-  $Q$  – стоимость поддержки требуемого экологического состояния земельных участков ГРПС.

Предположим, что для привязки ГРПС к земной поверхности, руководство компании подобрало множество возможных участков земли.

Поэтому для каждого технологического узла и магистрального канала имеется множество альтернативных вариантов, связанных с выбором земельного участка.

Тогда, необходимо оптимизировать выбор земельных участков с учетом возможных критериев оптимизации ( $W$ ,  $R$ ,  $Q$ ), которые могут быть использованы как в качестве целевых функций, так и ограничений.

### Решение задачи исследования

Ввиду сложности и большой размерности задачи размещения ГРПС на земной поверхности, выбор земельных участков проведем в два этапа:

I. Выбор земельных участков для размещения основных технологических объектов ГРПС.

II. Выбор земельных участков для размещения магистральных каналов, связывающих технологические узлы ГРПС.

Рассмотрим метод решения задачи оптимизации для первого этапа размещения ГРПС на земной поверхности.

Вспользуемся методом целочисленного линейного программирования [4].

Введем булеву переменную  $X_{ij}$ , которая используется для выбора  $j$ -го земельного участка для размещения  $i$ -го технологического узла ГРПС:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{если для } i\text{-го узла ГРПС} \\ \quad \text{выбран } j\text{-й земельный участок,} \\ 0 - \text{в противном случае.} \end{cases}$$

На  $X_{ij}$  накладывается следующее ограничение:

$$\sum_j X_{ij} = 1 \quad \text{для всех } i = \overline{1, N},$$

где  $N$  – количество технологических узлов ГРПС,

$j = \overline{1, n_i}$ , где  $n_i$  – количество возможных вариантов по выбору земельного участка для  $i$ -го технологического узла ГРПС.

Тогда, критерии для оценки состава земельных участков, используемые в задаче размещения технологических узлов ГРПС, будут иметь следующий вид:

$$W = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot w_{ij},$$

$$R = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot r_{ij},$$

$$Q = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot q_{ij},$$

где  $w_{ij}$  – стоимость  $j$ -го земельного участка, используемого для размещения  $i$ -го технологического узла ГРПС;

$r_{ij}$  – стоимость работ по приведению  $j$ -го земельного участка к состоянию, необходимому для размещения  $i$ -го технологического узла ГРПС;

$q_{ij}$  – стоимость поддержки требуемого экологического состояния  $j$ -го земельного участка при размещении  $i$ -го технологического узла ГРПС.

Возможны следующие постановки задачи оптимизации по размещению технологических узлов ГРПС на земной поверхности:

1. Необходимо минимизировать стоимость приобретаемых земельных участков для размещения технологических узлов ГРПС:

$$\min W, W = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot w_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$R \leq R', R = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot r_{ij},$$

$$Q \leq Q', Q = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot q_{ij},$$

где  $R'$  – допустимая стоимость работ по приведению выбираемых земельных участков к состоянию необходимому для размещения технологических узлов ГРПС;

$Q'$  – допустимая стоимость работ по обеспечению требуемого экологического состояния выбираемых земельных участков для размещаемых технологических узлов ГРПС.

2. Необходимо минимизировать стоимость работ по приведению выбираемых земельных участков к состоянию, необходимому для размещения технологических узлов ГРПС:

$$\min R, R = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot r_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$W \leq W', W = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot w_{ij},$$

$$Q \leq Q', Q = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot q_{ij},$$

где  $W'$  – допустимая стоимость приобретаемых земельных участков для размещения технологических узлов ГРПС.

3. Необходимо минимизировать стоимость поддержки требуемого экологического состояния земельных участков, выбираемых для размещения технологических узлов ГРПС:

$$\min Q, Q = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot q_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$W \leq W', W = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot w_{ij},$$

$$R \leq R', R = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot r_{ij}.$$

4. Многокритериальная постановка задачи выбора земельных участков для размещения технологических узлов ГРПС.

Представим комплексный критерий затрат для задачи оптимизации выбора земельных участков, для размещения технологических узлов геораспределенной производственной системы, в виде суммы отдельных локальных критериев:

$$K = \alpha_w \cdot W + \alpha_r \cdot R + \alpha_q \cdot Q,$$

где  $\alpha_w, \alpha_r, \alpha_q$  – «веса» соответствующих критериев, задаваемые руководством компании с учетом мнений экспертов, при этом:

$$\alpha_w + \alpha_R + \alpha_Q = 1, \\ 0 \leq \alpha_w \leq 1, 0 \leq \alpha_R \leq 1, 0 \leq \alpha_Q \leq 1.$$

Тогда необходимо минимизировать комплексный критерий затрат:

$$\min K, K = \alpha_w \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot w_{ij} + \\ + \alpha_R \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot r_{ij} + \alpha_Q \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot q_{ij};$$

с учетом ограничений:

$$W \leq W', W = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot w_{ij}; \\ R \leq R', R = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot r_{ij}; \\ Q \leq Q', Q = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot q_{ij}.$$

Рассмотрим решение задачи оптимизации по выбору земельных участков для второго этапа размещения ГРПС на земной поверхности.

При размещении магистральных каналов ГРПС кроме критериев  $W, R, Q$  необходимо учитывать критерий, который отражает затраты  $P$ , связанные с прокладкой магистральных каналов, соединяющих технологические узлы ГРПС. Эти затраты, в первую очередь, зависят от длины  $l_{ij}$  магистрального участка, связывающего  $i$ -й и  $j$ -й технологические узлы ГРПС и характеристик выбранного земельного участка.

Связь между соседними  $i$ -м и  $j$ -м узлами можно представить с помощью матрицы входов IMP, у которой на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца стоит 1 либо 0, что указывает на связь выхода  $i$ -го узла с входом  $j$ -го узла,  $i \neq j, i, j = \overline{1, N}$ , где  $N$  – количество технологических узлов ГРПС.

Введем булеву переменную  $Z_{ijk} \in \{1, 0\}$ , для которой  $Z_{ijk} = 1$ , когда имеется связь между выходом  $i$ -го узла и входом  $j$ -го узла ГРПС и для прокладки магистрального канала выбран  $k$ -й вариант земельного участка, расположенный между  $i$ -м и  $j$ -м узлами ( $k = \overline{1, m_{ij}}$ ),  $X_{ij} = 0$  – в противном случае. Заметим, что  $\sum_k Z_{ijk} = 1$ , что означает между  $i$ -м и  $j$ -м узлами имеется связь (с учетом матрицы IMP) и выбран  $k$ -й участок земли для размещения магистрального канала.

С учетом введенной булевой переменной  $Z_{ijk}$ , представим основные критерии для задачи оптимизации размещения магистральных каналов ГРПС:

1. Стоимость приобретения земельных участков для размещения магистральных каналов ГРПС:

$$W = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot w_{ijk},$$

где  $w_{ijk}$  – стоимость приобретения (покупка, аренда и т.д.)  $k$ -го земельного участка, используемого для прокладки магистрального канала, соединяющего  $i$ -й и  $j$ -й технологические узлы ГРПС.

2. Стоимость работ по приведению выбираемых земельных участков к состоянию, необходимому для размещения магистральных каналов связи:

$$R = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot r_{ijk},$$

где  $r_{ijk}$  – стоимость работ, связанных с приведением  $k$ -го земельного участка в состояние, необходимое для размещения магистрального канала связи, соединяющего  $i$ -й и  $j$ -й технологические узлы ГРПС.

3. Стоимость прокладки магистральных каналов, соединяющих технологические узлы ГРПС:

$$P = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot l_{ijk} (p_{ijk} + c_{ij}),$$

где  $l_{ijk}$  – длина магистрального канала на  $k$ -м участке земли, связывающего  $i$ -й и  $j$ -й технологические узлы ГРПС;

$p_{ijk}$  – стоимость прокладки 1км магистрального канала на  $k$ -м участке земли для связи  $i$ -го и  $j$ -го узлов ГРПС;

$c_{ij}$  – стоимость 1км магистрального канала.

4. Стоимость поддержки требуемого экологического состояния земельных участков, используемых для прокладки магистральных каналов ГРПС:

$$Q = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot q_{ijk},$$

где  $q_{ijk}$  – стоимость поддержки требуемого экологического состояния  $k$ -го земельного участка, используемого для прокладки магистрального канала связи, соединяющего  $i$ -й и  $j$ -й технологические узлы ГРПС.

Возможны следующие постановки задачи оптимизации для размещения магистральных каналов ГРПС на земной поверхности:

1. Необходимо минимизировать стоимость приобретения земельных участков для размещения магистральных каналов ГРПС:

$$\min W, W = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot w_{ijk};$$

с учетом ограничений:

$$R \leq R', R = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot r_{ijk}; \\ P \leq P', P = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot l_{ijk} (p_{ijk} + c_{ij}); \\ Q \leq Q', Q = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot q_{ijk};$$

где  $R'$  – допустимая стоимость работ по приведению выбираемых земельных участков к состоянию,

необходимому для размещения магистральных каналов ГРПС;

$P'$  – допустимая стоимость прокладки магистральных каналов, соединяющих технологические узлы ГРПС;

$Q'$  – допустимая стоимость поддержки требуемого экологического состояния земельных участков, используемых для прокладки магистральных каналов ГРПС.

2. Необходимо минимизировать стоимость работ по приведению выбираемых земельных участков к состоянию, необходимому для размещения магистральных каналов ГРПС:

$$\min R, R = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot r_{ijk};$$

с учетом ограничений:

$$W \leq W', W = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot w_{ijk};$$

$$P \leq P', P = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot l_{ijk} (p_{ijk} + c_{ij});$$

$$Q \leq Q', Q = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot q_{ijk};$$

где  $W'$  – допустимая стоимость приобретаемых земельных участков для размещения магистральных каналов ГРПС.

3. Необходимо минимизировать стоимость прокладки магистральных каналов, соединяющих технологические узлы ГРПС:

$$\min P, P = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot l_{ijk} (p_{ijk} + c_{ij});$$

с учетом ограничений:

$$W \leq W', W = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot w_{ijk};$$

$$R \leq R', R = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot r_{ijk};$$

$$Q \leq Q', Q = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot q_{ijk};$$

4. Необходимо минимизировать стоимость поддержки требуемого экологического состояния земельных участков, используемых для прокладки магистральных каналов ГРПС:

$$\min Q, Q = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot q_{ijk};$$

с учетом ограничений:

$$W \leq W', W = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot w_{ijk};$$

$$R \leq R', R = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot r_{ijk};$$

$$P \leq P', P = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot l_{ijk} (p_{ijk} + c_{ij}).$$

5. Многокритериальная постановка задачи выбора земельных участков для размещения магистральных каналов ГРПС.

Представим комплексный критерий затрат для задачи оптимизации выбора земельных участков, используемых для размещения магистральных аналогов связи геораспределенных производственных систем, в виде суммы отдельных локальных критериев:

$$K = \alpha_w \cdot W + \alpha_R \cdot R + \alpha_p \cdot P + \alpha_Q \cdot Q,$$

где  $\alpha_w, \alpha_R, \alpha_p, \alpha_Q$  – «веса» соответствующих критериев, задаваемые руководством компании с учетом мнений экспертов, при этом:

$$\alpha_w + \alpha_R + \alpha_p + \alpha_Q = 1,$$

$$0 \leq \alpha_w \leq 1, 0 \leq \alpha_R \leq 1, 0 \leq \alpha_p \leq 1, 0 \leq \alpha_Q \leq 1.$$

Тогда необходимо минимизировать комплексный критерий затрат:

$$\begin{aligned} \min K, K = & \\ = & \alpha_w \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot w_{ijk} + \alpha_R \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot r_{ijk} + \\ & + \alpha_p \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot l_{ijk} (p_{ijk} + c_{ij}) + \alpha_Q \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot q_{ijk}; \end{aligned}$$

с учетом ограничений:

$$W \leq W', W = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot w_{ijk};$$

$$R \leq R', R = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot r_{ijk};$$

$$P \leq P', P = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot l_{ijk} (p_{ijk} + c_{ij});$$

$$Q \leq Q', Q = \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ijk} \cdot q_{ijk}.$$

## Заключение

Предложенный подход целесообразно использовать для обоснования выбора земельных ресурсов в задачах стратегического развития геораспределенных производственных систем, когда необходимо учитывать весь комплекс затрат, связанных с приобретением земельных участков, а также требования экологии и охраны окружающей среды.

## Литература

1. Петров, Э.Г. *Методология структурного системного анализа и проектирования крупномасштабных ИУС. Ч. 1. Концепции и методы [Текст] / Э.Г. Петров, С.И. Чайников, А.О. Овезгельдыев. – Х.: Рубикон, 1997. – 140с.*
2. Федорович, О.Е. *Логистические модели управления производством [Текст]: моногр. / О.Е. Федорович, О.Н. Замирец, А.В. Попов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харк. авиац. ин-т», 2010. – 218 с.*
3. Федорович, О.Е. *Структурный анализ реинжиниринга территориально-распределенных компаний [Текст] / О.Е. Федорович, Л.Д. Греков // От-*

крытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Х.: Нац. Аэрокосм. Ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2007. – Вып. №35. – С. 176-179.

4. Подиновский, В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач [Текст]/ В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1987. – 412 с.

Поступила в редакцию 3.06.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. информатики А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ГЕОРОЗПОДІЛЕНОЇ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ НА ЗЕМНІЙ ПОВЕРХНІ

*О.Є. Федорович, Л.Д. Греков, К.О. Западня*

Ставиться та вирішується задача раціонального розміщення георозподіленої виробничої системи (ГРПС) (нафто- і газовидобуток, телекомунікаційні системи, розподілений машинобудівний комплекс і т.п.) на земній поверхні. Показано, що важливою особливістю ГРПС є використання дорогого земельного ресурсу, що повинен бути використаний для розміщення основних технологічних вузлів і магістральних каналів зв'язку. У зв'язку зі складності та великим розміром, задача оптимізації розміщення ГРПС на земній поверхні вирішуються у два етапи (розміщення технологічних вузлів; розміщення магістральних каналів зв'язку). У постановках оптимізаційних задач як основні критерії та обмеження виступають: витрати на придбання земельних ділянок, вартість робіт із приведення земельних ділянок до стану, необхідного для розміщення ГРПС; вартість прокладки магістральних каналів зв'язку; витрати, пов'язані з підтримкою необхідного екологічного стану земельних ділянок.

**Ключові слова:** георозподілена виробнича система, оптимальне використання земельного ресурсу, оптимізація розміщення технологічних вузлів, оптимізація розміщення магістральних каналів зв'язку.

## OPTIMIZATION OF THE GEO-DISTRIBUTED MANUFACTURING SYSTEM LOCATION AT GROUND SURFACE

*O.Ye. Fedorovich, L.D. Grekov, K.O. Zapadnya*

The problem of rational location of geo-distributed manufacturing system (GDMS) (oil- and gas-mining, telecommunication system, distributed machine-building complex etc.) at ground surface is stated and solved. The important feature of GDMS is the usage of expensive ground resource, that should be used to locate the main technological units and trunk communication channels. Because of its complexity and great size the problem of GDMS location at ground surface should be divided in two stages (location of technological units; location of trunk communication channels). In the optimization task the main criteria and restrictions are: expenses on purchase of plots, costs of works directed to prepare the plots to the state required for GDMS location, costs of trunk communication channels laying, costs related to support the required ecological state of plots.

**Key words:** geo-distributed manufacturing system, optimal usage of ground resource, optimization of technological units location, optimization of trunk communication channels location.

**Федорович Олег Евгеньевич** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Греков Леонид Дмитриевич** – канд. техн. наук, соискатель, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Западня Ксения Олеговна** – канд. техн. наук, н.с. каф. Информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.