

УДК 658.52.01

В.М. ИЛЮШКО, О.Е. ФЕДОРОВИЧ, Л.Д. ГРЕКОВ

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

ЛОГИСТИКА GEORАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ. ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ, РАЗМЕЩЕНИЕ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ПРОКЛАДКА МАГИСТРАЛЕЙ, ОПТИМИЗАЦИЯ ГРУЗОПОТОКОВ, КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Ставится и решается научно-техническая проблема создания и развития геораспределенных производственных систем (ГРПС). Для формирования архитектуры ГРПС проводится системное моделирование и перечисление возможных вариантов. Для размещения ГРПС на земной поверхности выбираются оптимальные стратегии приобретения земельных участков в условиях конкуренции. Для оптимизации грузопотоков ГРПС используется мультиагентное знаниеориентированное моделирование. Для космического мониторинга основных объектов ГРПС используются геоинформационные, картографические технологии и дистанционное зондирование Земли.

Ключевые слова: геораспределенная производственная система, формирование архитектуры, системное моделирование, размещение на земной поверхности, прокладка магистралей, оптимизация грузопотоков, космический мониторинг.

Введение

Геораспределенная производственная система (ГРПС) (нефте- и газодобыча, распределенное машиностроительное производство, транспортная система, телекоммуникационная компания) относится к новому типу производственных систем, особенностью которой является территориальная распределенность и обязательное использование земельного ресурса для размещения основных технологических объектов, магистральных каналов связи и инфраструктуры ГРПС [1].

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 его состоянию, минимизации площади размещения производственных объектов на земельных участках и рискам воздействия на них природных и техногенных факторов.

Можно выделить основные логистические фазы, связанные с созданием, модернизацией и развитием ГРПС:

- формирование архитектуры ГРПС;
- размещение ГРПС на земной поверхности;
- прокладка магистральных каналов ГРПС;
- космический мониторинг основных объектов и земельного ресурса ГРПС.

В данной публикации кратко описан методологический и математический инструментарий для

проектирования и моделирования ГРПС, представлены основные модели и методы, используемые на вышеперечисленных фазах. Актуальность темы публикации связана с созданием научно обоснованного методологического инструментария системного проектирования ГРПС.

Постановка задачи исследования

В связи с актуальностью научно-технической проблемы по созданию и развитию геопространственных производственных систем, важное значение имеет системное проектирование ГРПС, построение системных моделей для всех уровней и страт проектирования, проверка и контроль проектных действий, разработка технических требований к декомпозируемым подсистемам, анализ корректности получаемых результатов в структурном и динамическом аспектах. Построение системных моделей и проведение контроля действий проектировщиков требует разработки методов и моделей для формализованного представления ГРПС и размещение ее на земной поверхности, реализацию их компьютерными способами с помощью современных информационных технологий.

На фазе формирования архитектуры (рис. 1) разрабатывается структура системы, выбирается состав основных компонент (технологических узлов, производственных объектов и т.п.) и обосновываются коммуникации (магистральные каналы связи). С учетом заданных технических требований и

характеристик ГРПС проводятся проектные действия системного характера и контроль результатов проектирования по созданию архитектуры ГРПС.

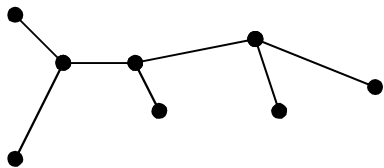


Рис. 1. Формирование архитектуры ГРПС (анализ, моделирование, проектирование)

На фазе размещения ГРПС на земной поверхности (рис. 2), осуществляется оптимальный выбор земельных участков для размещения технологических узлов и магистральных каналов связи.

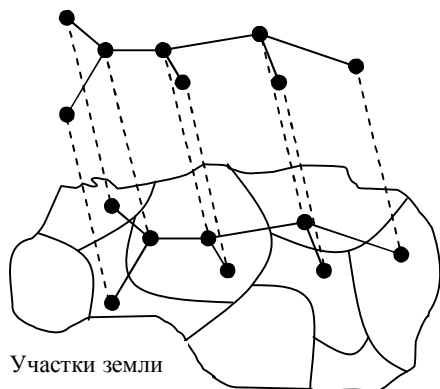


Рис. 2. Размещение ГРПС на земной поверхности

Для этого формируются стратегии для выбора способа приобретения земельных участков (аренда, покупка и т.п.).

На фазе прокладки магистральных каналов связи (рис. 3), осуществляется оценка возможных ограничений и условий прокладки (различные препятствия). Формируется направление грузопотоков для поставки продукции, осуществляется поиск рациональных трасс магистралей и маршрутов доставки грузов потребителям продукции ГРПС.

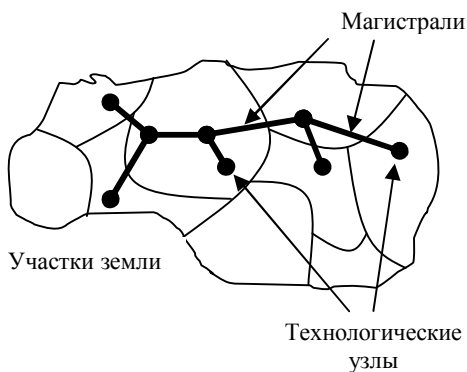


Рис. 3. Прокладка магистральных каналов ГРПС. Оптимизация грузопотоков

На фазе космического мониторинга (рис. 4), проводится оценка состояния основных технологических объектов и земельного ресурса ГРПС, которые могут подвергаться техногенному и природному воздействию при функционировании ГРПС, с помощью геопространственных моделей, геоинформационных и картографических технологий.

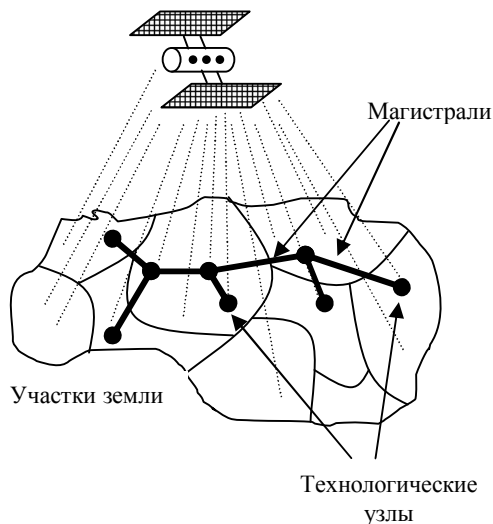


Рис. 4. Космический мониторинг объектов ГРПС. Оценка состояния земельных участков

Далее для решения задачи исследования представлены основные методы и модели, используемые на основных фазах создания, реинжиниринга и развития ГРПС.

Решение задачи исследования

Учитывая многовариантность структурных и компоновочных решений ГРПС проведем теоретико-множественное исследование архитектуры ГРПС (выделение типовых структур; перечисление вариантов структур ГРПС; оптимизация структурных решений ГРПС; автоматизированный синтез структур ГРПС).

Для этого множество компонент отображается в множество узлов архитектуры ГРПС. Для подсчета количества вариантов архитектуры (отображений) используются группы подстановок теории пересчета, которые являются отражением вводимой эквивалентности (одинаковости) вариантов [2]. Осуществляется подсчет возможных вариантов архитектуры.

Пусть исходное множество компонент – D , $|D| = m$, а множество узлов ГРПС, в которое происходит отображение компонент – R , $|R| = n$.

Множество вариантов построения архитектуры ГРПС можно подсчитать с помощью теории пересчета Пойа [2]:

$$\sum_F W(F) = Z(G; \sum_{r \in R} \omega(r), \sum_{r \in R} [\omega(r)]^2, \sum_{r \in R} [\omega(r)]^3, \dots), \quad (1)$$

где F – отдельный класс эквивалентности (одинаковость вариантов архитектуры ГРПС), индуцированный группой G , действующей на множестве D ; $Z(G, \dots)$ – цикловой индекс группы G ; $\omega(r)$ – «вес» компонента $r \in R$.

Перечисление вариантов используется для исследования многоуровневой архитектуры ГРПС. Для начальных стадий системного проектирования, пусть известен состав компонентов B_Q нижнего Q -го уровня, из которых строится ГРПС.

Компоненты $(Q-1)$ -го уровня образуются из компонент Q -го уровня путем отображения множества B_Q в R_{Q-1} , где R_{Q-1} – множество узлов ГРПС для компонент $Q-1$ -го уровня, $r_{Q-1} = |R_{Q-1}|$. Множество вариантов состава $(Q-1)$ -го уровня является множеством всех отображений B_Q в R_{Q-1} . Осуществляя, последовательно, отображения множества компонент i -го уровня в множество компонент $(i-1)$ -го уровня архитектуры, получим множество вариантов состава для всех уровней детализации архитектуры ГРПС.

В работе выделены типовые топологические структуры ГРПС (последовательная структура; радиальная топология; полносвязная структура; кольцевая и радиально-кольцевая топология и т.д.). Исследовано множество возможных вариантов построения архитектуры ГРПС для выделенных типовых структур с использованием теории перечисления графов [2].

Многокритериальная задача оптимизации архитектуры ГРПС решена поэтапно. В начале, проводится оптимизация наиболее важных критериев с помощью метода целочисленного программирования с булевыми переменными. Затем, проводится многокритериальная оптимизация двумя возможными способами (минимизация глобального критерия, путем суммирования взвешенных локальных критериев; минимизация функции максимума).

Далее сформировано системное представление для моделирования ГРПС на системном этапе проектирования. Используя, как основной метод исследования, системный анализ, проведена декомпозиция и стратификация ГРПС. Описание многоуровневой ГРПС (объектов и системы управления) осуществляется с помощью иерархических моделей в виде регулярных схем системных моделей (РССМ), которые являются дальнейшим развитием алгоритмической алгебры Глушкова В.М. В соответствии со стратами системного этапа проектирования, разрабатывается комплекс стратифицированных моделей ГРПС как объекта исследования (целевая, функциональная, производственной структуры, коммуникационная, алгоритма функционирования).

Каждая из предложенных моделей декомпозирована по уровням проектирования (детализация состава и структуры ГРПС). Так, например, целевая системная модель ГРПС, на верхнем уровне представления комплекса добычи, переработки и транспортировки нефти имеет вид [1]:

$$\Gamma_{\text{ГРПС}} = \Gamma_M \wedge \Gamma_{\text{ЦДРПН}} \wedge \Gamma_{\text{ЦМП}} \wedge \Gamma_{\text{ЦНС}},$$

где Γ_M – цель месторождений, добывающих нефть;

$\Gamma_{\text{ЦДРПН}}$ – цель комплекса цехов по предварительной переработке нефти;

$\Gamma_{\text{ЦМП}}$ – цель магистральных трубопроводов, транспортирующих нефть;

$\Gamma_{\text{ЦНС}}$ – цель наливных станций, собирающих нефть в резервуарах.

Функциональное представление иерархического управления ГРПС имеет вид:

$$Y_i^P = [Y_{i_1}^{P+1} \wedge \dots \wedge Y_{i_j}^{P+1} \wedge Y_{i_1}^{P+1}], \quad (2)$$

где Y_i^P – i -ая функциональная задача управления P -го уровня иерархии ГРПС (управление: нефтеперекачивающей станцией, резервуарным парком, магистральным участком нефтепровода и т.д.);

$Y_{i_j}^{P+1}$ – j -ая функциональная задача управления

$P+1$ -го уровня, входящая в состав i -й функциональной задачи P -го уровня (управление: задвижками, катодными станциями защиты и т.д.);

l – количество подзадач $P+1$ -го уровня, на которые декомпозирована i -я задача P -го уровня.

Предложенные системные модели используются для задачи формирования технических требований (ТТ) и характеристик (ТХ), на каждом уровне декомпозиции, ГРПС с использованием требований технического задания (ТЗ).

Далее разработаны методы статического и динамического моделирования ГРПС. Метод статического моделирования служит для создания структурных моделей ГРПС, формирования ТТ и ТХ и их проверки с помощью предложенных системных моделей. Метод динамического моделирования служит для моделирования функционирования ГРПС, алгоритмов управления ГРПС. Для этого используется системное имитационное моделирование. Проверка корректности функционирования ГРПС осуществляется по результатам имитационного моделирования путем сравнения полученных и задаваемых ТТ и ТХ.

Большое внимание уделяется системному моделированию для контроля проектных действий по созданию ГРПС. Системное моделирование проектных действий по созданию ГРПС представлено в виде двух основных составляющих: системное структурное моделирование для оценки функцио-

нальной полноты действий по декомпозиции структуры ГРПС и соответствия разработанных ТТ и ТХ генеральной цели проектируемой ГРПС; системное имитационное моделирование функционирования и управления ГРПС для оценки нагрузочных характеристик, корректности выполняемых функциональных задач, расчета производительности и надежности.

Итогом исследований на фазе формирования архитектуры ГРПС является методология системного анализа и синтеза ГРПС, которая построена с использованием дуализма системного анализа и синтеза и основана на принципах:

- декомпозиция системного проектирования «сверху-вниз»;

- стратификация системного проектирования на каждом уровне «слева-направо», в строгой последовательности использования страт проектирования ГРПС;

- оценка реализуемости проектных действий. Контроль соответствия построенных системных моделей и разработанных для них технических характеристик техническим требованиям генеральной цели и целям всех уровней декомпозиции осуществляется с помощью методов системного структурного и системного имитационного моделирования;

- использование информационных технологий для построений системных моделей и моделирования в компьютерной среде.

На фазе размещения ГРПС на земной поверхности решается задача оптимальной привязки технологических узлов и магистральных каналов связи 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 объектов ГРПС;

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

Ввиду сложности и большой размерности задачи размещения ГРПС на земной поверхности, выбор земельных участков проводится 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.

Для решения задачи размещения ГРПС на земной поверхности используется метод целочисленного линейного программирования.

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:

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

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:

$$W = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot w_{ij}, \quad (3)$$

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

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

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.

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

1. Необходимо минимизировать стоимость приобретаемых земельных участков для размещения технологических узлов ГРПС ($\min W$).

2. Необходимо минимизировать стоимость работ по приведению выбираемых земельных участков к состоянию, необходимому для размещения технологических узлов ГРПС ($\min R$).

3. Необходимо минимизировать стоимость поддержки требуемого экологического состояния земельных участков, выбираемых для размещения технологических узлов ГРПС ($\min Q$).

Решена многокритериальная задача выбора земельных участков для размещения технологических узлов ГРПС.

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 участ-

ка, связывающего i -й и j -й технологические узлы ГРПС и характеристик выбранного земельного участка.

Далее, предложена знаниеориентированная модель представления земельных ресурсов с целью формирования оперативной информации о состоянии земельных участков и объектов недвижимого имущества ГРПС [3]. В качестве базовой модели знаний предложена фреймовая модель. Для отображения коммуникаций в производственной структуре ГРПС предложено ввести инверсионные слоты, для которых создана процедура автоматического связывания информации. Для формирования фреймовых моделей использован метод онтологии, с помощью которых можно описывать все основные ресурсы (в том числе земельный) ГРПС.

Проведен семантический анализ данных по ресурсам, что является важным для руководства компании, поскольку позволяет связывать данные о будущем пространственном расположении элементов ГРПС с конкретными характеристиками земельных участков. Сформировано графическое представление онтологии земельных ресурсов в виде графа с помеченными вершинами и дугами и решена задача семантического анализа (проверки адекватности онтологической модели актуальному состоянию предметной области), для чего проведено сравнение графовых структур.

Разработан метод системного моделирования для обоснования разумной политики при размещении объектов ГРПС (элементов магистральных систем) в условиях конкуренции. При обосновании места на земле, для размещения основных производственных объектов ГРПС, необходимо выбрать рациональную стратегию землепользования компании: возможность аренды (А); выкупа (В) либо сервитута (С) земельного участка. Системная модель для условий конкуренции представлена в виде взаимодействия стратегий в рамках теории игр. В результате моделирования игровых ситуаций определяются устойчивые точки равновесия и смешанные стратегии землепользования.

Одной из важных задач в управлении ГРПС, размещающейся на земной поверхности, является прокладка магистральных каналов. При этом необходимо учитывать наличие большого количества внешних факторов, в том числе и случайных, и условий, приводящих к препятствиям по прокладке магистралей ГРПС. Поэтому, для решения задачи прокладки магистралей, использована современная модель популяционной динамики (роевой, «муравьиный» алгоритм), с помощью которой отыскивается эффективное решение в условиях изменяющихся препятствий для прокладки магистралей (сложный рельеф местности, возможность подтоплений, насе-

ленные пункты и т.д.). В работе показано, что обобщенная задача поиска рациональной трассы прокладки магистралей может быть сведена к задаче оценки распределения «колонии» агентов (муравьев).

Для моделирования управления поставками в построенной магистральной сети разработана мультиагентная модель [4]. Мультиагентная модель, в работе, представлена в виде системы элементов древовидного типа и состоит из следующих типов агентов: поставщик, заказчик, потребитель. Мультиагентная модель реализована в среде NetLogo.

Большое значение для эффективной работы ГРПС играет транспортное обслуживание основного технологического оборудования. Разработан метод маршрутизации транспортного обслуживания, основанный на имитационном моделировании «числовых» волн, которые распространяются от узлов транспортной сети обслуживания ГРПС. Показана его эффективность для составления план-графиков обслуживания технологического оборудования ГРПС.

Для фазы космического мониторинга ГРПС разработаны геопространственные модели с помощью геоинформационных и картографических технологий [5].

В топографическую основу космического мониторинга включены тематические слои. Информация об основных параметрах текущего состояния распределенных ресурсов ГРПС и возмущающих техногенных факторов структурирована в блоки тематических слоёв: техногенные факторы; состояние и мониторинг природных ресурсов. Содержание каждого блока определяется определённым набором векторных электронных тематических карт. Разработан метод геоинформационного мониторинга состояния ресурсов ГРПС для быстрого и высокоточного обнаружения, идентификации, определения качественных и количественных характеристик объектов ГРПС по материалам космических съёмки. При этом использована формализация характера распределения яркости по площади объекта мониторинга.

Проведено исследование влияния техногенных и природных факторов на земельные ресурсы ГРПС. Приведены примеры подтоплений, техногенных загрязнений и выбросов в атмосферу.

Предложенные геопространственные методы, геоинформационные и картографические модели открывают принципиально новые возможности для оценки эффективности использования земельных ресурсов ГРПС, мониторинга их состояния, прогнозирования их деградации под влиянием антропогенных и природных факторов, что нашло практическое применение в экологических экспертизах, де-

нежных оценках земельных ресурсов, планировании природоохранных мероприятий.

Заключение

Предложенный в публикации логистический подход к созданию, реинжинирингу и развитию ГРПС, позволяет, на системном этапе проектирования, построить архитектуру ГРПС, рационально разместить ее на земной поверхности, сформировать магистральные каналы связи и оптимизировать грузопотоки, разработать систему космического мониторинга объектов и земельных участков ГРПС.

Литература

1. *Геопространственные производственные системы. Часть I [Текст]: моногр. / В.М. Илюшко, О.Е. Федорович, О.Н. Замирец, Л.Д. Греков. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2011. – 250 с.*
2. *Де Брейн, Н. Обзор обобщенной перечислительной теории Пойа [Текст]: пер. с англ. / Н. Де Брейн // Перечислительные задачи комбинаторного анализа: сборник переводов; под ред. Г.П. Гаврилова. – М.: Мир, 1979. – С. 229-256.*
3. *Греков, Л.Д. Использование фреймовых моделей знаний на основе онтологических систем в задачах логистики [Текст] / Л.Д. Греков // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2007. – № 4(23). – С. 56-60.*
4. *Греков, Л.Д. Моделирование функционирования распределенной транспортной системы на основе мультиагентного подхода [Текст] / Л.Д. Греков // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2008. – № 1(28). – С. 110-113.*
5. *Греков, Л.Д. Концептуальные подходы к проблеме мониторинга окружающей природной среды и чрезвычайных ситуаций прикладного и техногенного характера [Текст] / Л.Д. Греков // Экология и ресурсы. – К.: Наукова думка. – 2003. – №5. – 8 с.*

Поступила в редакцию 11.05.2011

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

ЛОГІСТИКА ГЕОРОЗПОДІЛЕНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ. ФОРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ, РОЗМІЩЕННЯ НА ЗЕМНІЙ ПОВЕРХНІ, ПРОКЛАДКА МАГІСТРАЛЕЙ, ОПТИМІЗАЦІЯ ВАНТАЖОПОТОКІВ, КОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

В.М. Ілюшко, О.Є. Федорович, Л.Д. Греков

Ставиться та вирішується науково-технічна проблема створення й розвитку георозподілених виробничих систем (ГРВС). Для формування архітектури ГРВС проводиться системне моделювання й перерахування можливих варіантів. Для розміщення ГРВС на земній поверхні вибираються оптимальні стратегії придбання земельних ділянок в умовах конкуренції. Для оптимізації вантажопотоків ГРВС використовується мультиагентне знанняорієнтоване моделювання. Для космічного моніторингу основних об'єктів ГРВС використовується геоінформаційні, картографічні технології та дистанційне зондування Землі.

Ключові слова: георозподілена виробнича система, формування архітектури, системне моделювання, розміщення на земній поверхні, прокладка магістралей, оптимізація вантажопотоків, космічний моніторинг.

LOGISTICS OF GEO-DISTRIBUTED MANUFACTURING SYSTEMS. CREATING OF STRUCTURE, GROUND LOCATION, LINING OF MAIN PIPES, OPTIMIZATION OF CARGO FLOWS, SPACE MONITORING

V.M. Ilyushko, O.Ye. Fedorovich, L.D. Grekov

Scientific and technical problem of creation and evolution of geo-distributed manufacturing systems (GDMS) is stated and solved. To create the GDMS structure the system modeling and enumeration of possible variants are performed. To locate the GDMS on the ground the optimal strategies of plots purchase in the conditions of competition are selected. To optimize the GDMS cargo flows multi-agent knowledge-oriented modeling is used. Geo-informational, cartographical technologies and remote ground probing are used for space monitoring of basic objects of GDMS.

Key words: geo-distributed manufacturing system, creating of structure, system modeling, ground location, lining of main pipes, cargo flow optimization, space monitoring.

Ілюшко Віктор Михайлович – д-р техн. наук, проф., декан факультета радіоелектронних систем ЛА, зав. каф. виробства радіоелектронних систем ЛА, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

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.