

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ИННОВАЦИОННО-ИНДУСТРИАЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ В ЦЕЛЯХ ФОРСАЙТА ЭВОЛЮЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА***Сергей Николаевич ЯШИН^a, Юрий Васильевич ТРИФОНОВ^b,
Егор Викторович КОШЕЛЕВ^c**

^a доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой менеджмента и государственного управления,
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
имени Н.И. Лобачевского (ННГУ),
Нижний Новгород, Российская Федерация
jashinsn@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7182-2808>
SPIN-код: 4191-7293

^b доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой информационных технологий и инструментальных методов в экономике,
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
имени Н.И. Лобачевского (ННГУ),
Нижний Новгород, Российская Федерация
kei@ef.unn.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4745-0004>
SPIN-код: 4394-4681

^c кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и государственного управления,
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
имени Н.И. Лобачевского (ННГУ),
Нижний Новгород, Российская Федерация
ekoshelev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5290-7913>
SPIN-код: 8429-5702

* Ответственный автор

История статьи:

Reg. № 343/2020
Получена 08.06.2020
Получена в
доработанном виде
22.06.2020
Одобрена 06.07.2020
Доступна онлайн
28.08.2020

УДК 332.142.2

JEL: C63, E17, O21,
O36**Ключевые слова:**задача размещения,
генетический алгоритм,**Аннотация****Предмет.** Создание технологии определения центра инновационно-индустриальных кластеров, которая обеспечивала бы их экономико-финансовое, информационное и логистическое взаимодействие.**Цели.** Предложить метод выбора места размещения информационного и логистического центра кластеров для эволюции федерального округа.**Методология.** Используются алгоритмы имитационного моделирования: генетический алгоритм, метод имитационного отжига и поиск по шаблону.**Результаты.** Метод апробируется для Приволжского федерального округа (ПФО). Получено, что информационным и логистическим центром должна быть Казань. Это значительно сократит транзакционные издержки, что приведет к сокращению финансовых затрат в ПФО и к росту синергетического эффекта инновационной системы, объединяющей инновационно-индустриальные кластеры в федеральном округе.**Выводы.** Получение дополнительного синергетического эффекта позволит проводить государству более качественную политику экономико-финансового форсайта эволюции ПФО, основанную на

* Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ. Грант № 19-010-00932.

имитационный отжиг, оптимальном экономико-финансовом, информационном и логистическом
поиск по шаблону межкластерном взаимодействии инновационно-индустриальных кластеров.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2020

Для цитирования: Яшин С.Н., Трифонов Ю.В., Кошелев Е.В. Определение центра инновационно-индустриальных кластеров в целях форсайта эволюции федерального округа // *Финансы и кредит*. — 2020. — Т. 26, № 8. — С. 1747 — 1766.
<https://doi.org/10.24891/fc.26.8.1747>

Форсайт эволюции крупной инновационной системы уровня федерального округа предполагает как прогнозирование данного процесса, так и его планирование. Подобная взаимосвязь раскрыта, например, в работе С.Н. Яшина, Ю.В. Трифонова и Е.В. Кошелева [1]. Для устойчивого развития экономики округа необходимо наличие новых условий деятельности, которые приводили бы к появлению дополнительного синергетического эффекта. Одним из таких немаловажных условий является оптимальное информационное и логистическое взаимодействие инновационно-индустриальных кластеров в рамках одного федерального округа. Глобальная оптимизация данного взаимодействия позволит решать государственные стратегические задачи эволюции округа.

В этих целях в настоящей работе решается задача размещения информационного и логистического центра кластеров федерального округа. Для этого применяются соответствующие технологии имитационного моделирования.

Задача размещения является классической задачей глобальной оптимизации. Существует множество научных статей и книг, подтверждающих эффективность методов, применяемых для ее решения. Первыми базовыми работами в данном направлении считаются следующие статьи: разработка Б.М. Хумавалы [2] эффективного алгоритма ветвления с привязкой для задачи размещения склада; исследование Г. Корнуеджолса, М.Л. Фишера и Г.Л. Немхаузера [3] вопроса расположения банковских счетов для оптимизации плавающей точки размещения; изучение проблемы Дж. Крарупа и П.М. Прузана [4] об оптимальном расположении завода.

Подобные наработки позволили развивать далее технологии решения задачи размещения многими другими учеными. К примеру, А. Колен [5] установил, что при наличии древовидной сети на n вершинах поддерево окрестности определяется как набор всех точек на дереве в пределах конкретного радиуса данной точки, называемого центром. Показано, что для любых двух поддеревьев окрестности, содержащих одну и ту же конечную точку самого длинного пути в дереве, одно содержится в другом. Этот результат затем используется для получения алгоритмов $O(n^2)$ для проблемы покрытия минимальной стоимости и проблемы эксплуатации минимальной стоимости, а также алгоритма $O(n^3)$ для проблемы неинвазивного местоположения установки на дереве.

Ученые П. Мирчандани и Р. Джаганнатан [6] сформулировали дискретную проблему местоположения объекта, в которой общие фиксированные затраты на создание объекта включают компонент, который является нелинейной функцией количества создаваемых объектов. Некоторые теоретические свойства решения получаются, когда эта фиксированная стоимость является выпуклой функцией без сдвига числа объектов. На основе этих свойств авторы разрабатывают эффективную биссектрисную эвристику, где на каждой итерации решаются классические подпроблемы «нерасчетного местоположения объекта» и/или « m -медианные» подпроблемы с использованием доступной эффективной эвристики.

Дискретная теория местоположения П.Б. Мирчандани и Р.Л. Фрэнсиса [7] представляет собой комплексный и строгий подход к широкому спектру исследований, посвященных местоположению объектов. Общая проблема, связанная с местоположением объекта, вызвана оптимальными возможностями по размещению, например, склады, нефтедобывающие скважины и больницы, для оптимального обслуживания клиентов. В каком-то смысле общей проблемы местоположения объекта не существует. Скорее, проблемы местоположения объекта возникают во многих различных областях применения, что требует широкого разнообразия подходов к моделированию и решению.

Исследователь Дж.Ф. Кемпбелл [8] установил, что узлы представляют собой объекты, которые служат перевалочными и коммутационными пунктами для транспортных и телекоммуникационных систем, имеющих большое количество мест происхождения и назначения. Автор представил целочисленные программные композиции для четырех типов проблем дискретного местоположения концентратора: медианная проблема p -концентратора, проблема неавтоматизированного местоположения концентратора, проблемы центра p -концентратора и проблемы покрытия концентратора.

Ученый И.П. Вознюк [9] рассмотрел задачу о наилучшем размещении пунктов производства в вершинах сети с ограниченными пропускными способностями коммуникаций и показал, что если сеть является 2-деревом, то задача решается методом динамического программирования за время $O(nb^4)$ при объеме памяти $O(nb^2)$, где n — число вершин сети, b — суммарный объем спроса.

В работе Р.Е. Буркад и др. [10] решили проблему центра в графе G , который запрашивает расположение на краю графа так, чтобы минимальное взвешенное расстояние от этой точки до вершины графа было как можно больше. Авторы получили алгоритмы с линейным временем работы для случаев, когда G — путь или звезда, тем самым улучшая предыдущие результаты А. Тамира [11]. Для разделенных звезд представлен алгоритм времени выполнения $O(n \ln n)$. Для общих деревьев усовершенствован алгоритм А. Тамира [11] с коэффициентом $\ln n$. Кроме того, описан линейный алгоритм для невзвешенной центральной задачи на произвольном дереве с нейтральными и ненейтральными вершинами.

Исследователи А.Т. Мюррей и Д. Тонг [12] установили, что размещение объектов и соответствующее их обслуживание являются основными проблемами городского и регионального планирования. Они описали подход к проблеме покрытия пространственного спроса на услуги, где потенциальные объекты расположены в непрерывной плоскости. Авторами показано, что взвешенная потребность, представленная в виде точек, линий или многоугольников, может оптимально обслуживаться конечным числом потенциальных местоположений объектов, называемых набором точек пересечения многоугольников (*PIPS*). Разработанный подход является расширением точечной абстракции спроса на более общие представления (например, точки, линии или полигоны).

Ученые А.А. Агеев, Э.Х. Гимади и А.А. Курочкин [13] рассмотрели задачу размещения на путевом графе в случае одинаковых производственных мощностей предприятий. Ранее А.А. Агеевым был построен точный алгоритм, решающий задачу за время $O(m^5n^2 + m^3n^3)$, где m и n — число предприятий и число пунктов спроса соответственно. В данной работе предлагается модификация этого алгоритма с меньшей на порядок по обоим параметрам временной сложностью $O(m^4n^2)$.

Существует эффективный способ, который способен назначать услуги каждой из потенциальных лампочек в городе таким образом, чтобы все услуги распределялись адекватно (то есть удовлетворялись требования покрытия), при минимальных затратах. Предлагается двухэтапный подход к поиску умного и экономичного дистрибутива. На первом этапе услуги распределяются по имеющимся ламповым постам с учетом требуемого покрытия и затрат на оснащение фонарного поста услугами. Представлена формулировка этой проблемы, которая называется проблемой покрытия набора множественных услуг. Для решения этой проблемы предлагается несколько эвристических методов. Для получения наилучших результатов показан эвристический метод, основанный на последовательном решении проблемы покрытия набора для каждой из служб. Качество этой эвристики можно отчасти отнести к эффективному способу, который реализуется для решения проблемы покрытия набора. Выбранные местоположения с первого этапа затем принимаются в качестве входных данных для второго этапа, который можно рассматривать как этап снижения затрат. На этом этапе выбирают лампочки, которые могут служить концентратором по меньшей мере для определенного количества лампочек, которые находятся в заданном диапазоне. Для этой проблемы, называемой проблемой беспроводной сети, представлена формулировка. Для решения проблемы беспроводной сети предлагается несколько подходов. Показано, что метод Iterated Local Search способен найти лучшие решения. Наилучшие методы решения используются в двухэтапном подходе для предоставления городам нескольких услуг.

Исследователь Э.Х. Гимади [14] рассмотрел проблему местоположения сетевого объекта с неограниченными уровнями производства. Эта проблема является NP-трудной

в общем случае и, как известно, имеет оптимальное решение с квадратичной сложностью в древовидной сети. Э.Х. Гимади изучил случай сети, представляемой внешним планарным графом, то есть графом, вершины которого принадлежат одной (внешней) грани. Известно, что эта проблема имеет оптимальный алгоритм с временной сложностью $O(nt^3)$, где n — количество вершин, а t — количество возможных местоположений объекта. С помощью некоторых свойств внешних графов (двоичных 2-деревьев) и наличия оптимального решения с семейством централизованно соединенных доменов услуг, получены отношения повторения для построения оптимального алгоритма со сложностью по времени, которая меньше на коэффициент \sqrt{t} , чем сложность по времени предыдущего алгоритма.

Так, Т. Хуанг, Д. Бергман и Р.Д. Гопал [15] изучили аналитический подход к выбору мест расширения для розничных продавцов, продающих дополнительные продукты, спрос на которые определяется спросом на другой базовый продукт. Спрос на добавочный продукт реализуется только как дополнение к спросу базового продукта. В этом контексте любой из этих двух продуктов может подвергаться пространственной автокорреляции, когда на спрос в данном месте влияет на спрос в других местах. Используя данные промышленного партнера, продающего дополнительные продукты, авторы создали прогнозирующие модели для понимания производного спроса на дополнительные продукты, а также систему оптимизации для автоматизации решений по расширению для максимального увеличения ожидаемого объема продаж. При этом пространственная автокорреляция и сложность прогнозирующей модели влияют на сложность и структуру предписывающей оптимизационной модели. Результаты показывают, что разработанные модели весьма эффективны при прогнозировании продаж дополнительных продуктов и что использование структуры оптимизации, основанной на прогнозируемой модели, может привести к значительному увеличению ожидаемых продаж по сравнению с базовыми вариантами.

Таким образом, решение задачи размещения применяется для многих вариантов глобальной оптимизации в экономике, финансах и прочих отраслях.

Для решения подобных задач размещения используются в том числе алгоритмы имитационного моделирования, среди которых мы будем использовать в анализе:

- 1) генетический алгоритм (Genetic Algorithm);
- 2) имитационный отжиг (Simulated Annealing);
- 3) поиск по шаблону (Pattern Search).

Опишем их преимущества подробнее.

1. Эволюционные алгоритмы (Genetic Algorithm) являются относительно новыми, но очень мощными методами, используемыми для решений многих реальных

проблем поиска и оптимизации. Зачастую эти проблемы имеют многочисленные цели, что приводит к необходимости получения набора оптимальных решений, известных как эффективные решения. Было обнаружено, что использование эволюционных алгоритмов является высокоэффективным способом поиска множества эффективных решений в одном прогоне моделирования (Д. Калианмой [16]).

2. Метод отжига позволяет избежать «ловушки» в локальных экстремумах оптимизируемой функции и продолжить поиск глобального экстремума (А.С. Лопатин [17]). Кроме того, даже в условиях нехватки вычислительных мощностей для нахождения глобального экстремума метод отжига, как правило, выдает неплохое решение, то есть один из локальных экстремумов (А.С. Лопатин [17]). Наконец, при сравнении адаптивного метода отжига (Adaptive Simulated Annealing, ASA) и генетических алгоритмов получено, что в большинстве задач метод отжига не проигрывает генетическим алгоритмам, а во многих и выигрывает (Л. Ингбер, Б. Розен [18]).
3. Прямой поиск (Pattern Search) — метод решения задач оптимизации, не требующий никакой информации о градиенте целевой функции. В отличие от более традиционных методов оптимизации, которые используют информацию о градиенте или более высоких производных для поиска оптимальной точки, алгоритм прямого поиска ищет множество точек вокруг текущей точки, ищущей точку, где значение целевой функции ниже значения в текущей точке. Прямой поиск можно использовать для решения проблем, для которых целевая функция не является дифференцируемой или даже не является непрерывной (А.Р. Конн, Н.И.М. Гоулд, Ф.Л. Тойнт [19, 20], Т.Г. Колда, Р.М. Льюис, В. Торкзон [21]).

Как показывает практика, среди выделенных алгоритмов имитационного моделирования поиск по шаблону позволяет более верно найти глобальный экстремум, причем в результате меньшего количества итераций.

В целях экономико-финансового форсайта эволюции инновационной системы федерального округа будем использовать модель, основанную на этапах, приведенных на *рис. 1*. Разберем представленные этапы подробнее.

Этап 1. Сбор данных о кластерах федерального округа. Чтобы понять, какие данные понадобятся для решения задачи размещения, приведем формулу функции, которую следует минимизировать:

$$Z(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i \sqrt{(x - x_{0,i})^2 + (y - y_{0,i})^2},$$

где w_i — веса, то есть население i -х центров кластеров, а также центров кластеров, расположенных сравнительно недалеко от атомных электростанций (АЭС) и атомградов (чел.);

$(x_{0,i}; y_{0,i})$ — координаты i -х центров кластеров, а также АЭС и атомградов.

Таким образом, мы хотим минимизировать сумму расстояний от информационного и логистического центра федерального округа до центров кластеров, то есть городов. При этом веса w_i входят в данную функцию с плюсом для центров кластеров и с минусом для АЭС и атомградов. Подобным способом мы хотим найти координаты центра округа, который был бы максимально близким к центрам кластеров и при этом максимально удаленным от АЭС и атомградов.

Следовательно, на первом этапе необходимо собрать данные о регионах федерального округа, в которых находятся инновационно-индустриальные кластеры, о кластерах и географических координатах их центров, а также о населении данных центров (городов).

Этап 2. Сбор данных об АЭС и атомградах федерального округа. Далее нам потребуются координаты АЭС и атомградов, а также данные о численности населения в центрах кластеров, расположенных сравнительно недалеко от них. Если для конкретной АЭС или атомграда таких центров (городов) получается несколько, то в качестве веса w_i берется сумма населения данных городов.

Этап 3. Поиск информационного и логистического центра федерального округа. Функция $Z(x,y)$, которая минимизируется, может иметь как глобальный, так и локальные минимумы. Чтобы найти именно глобальный минимум, будем использовать соответствующие методы имитационного моделирования. Их выбор проводим на следующем этапе.

Этап 4. Применение генетического алгоритма, имитационного отжига и поиска по шаблону. Большинство функций $Z(x,y)$ в задаче размещения достаточно просто минимизируются с точки зрения глобальной оптимизации всеми тремя алгоритмами. Однако, например, для зашумленной стохастической функции результаты оптимизации в зависимости от используемого алгоритма могут получиться разными. Такое может произойти и с некоторыми гладкими функциями. По этой причине мы используем несколько методов, причем опираемся прежде всего на результаты поиска по шаблону как наиболее точного метода достижения глобального экстремума функции (А.Р. Конн, Н.И.М. Гоулд, Ф.Л. Тойнт [19, 20], Т.Г. Колда, Р.М. Льюис, В. Торкзон [21]).

Проиллюстрируем действие представленной модели на примере Приволжского федерального округа (ПФО). Согласно перечню, утвержденному Правительством РФ, в России действуют 25 пилотных инновационных территориальных кластеров по регионам РФ. Тогда будем рассматривать в ПФО только те регионы (области или республики), в которых расположены кластеры из данного перечня¹. Тогда в целях

¹ Российская кластерная обсерватория. URL: <https://cluster.hse.ru>

экономико-финансового форсайта эволюции инновационной системы ПФО пройдем последовательно представленные в модели этапы.

Этап 1. Сбор данных о кластерах федерального округа. Данные о регионах ПФО, в которых расположены инновационно-индустриальные кластеры, о кластерах и географических координатах их центров, а также о населении данных центров (городов) представлены в *табл. 1*.

Этап 2. Сбор данных об АЭС и атомградах федерального округа. Координаты АЭС и атомградов в ПФО, а также данные об общей численности населения в центрах кластеров, расположенных сравнительно недалеко от них, отражены в *табл. 2*.

Этап 3. Поиск информационного и логистического центра федерального округа. Ищем глобальный минимум функции $Z(x,y)$, то есть суммы расстояний от информационного и логистического центра ПФО до центров кластеров (городов). При этом мы хотим найти координаты центра ПФО, который был бы максимально близким к центрам кластеров, а также максимально удаленным от АЭС и атомградов. График $Z(x,y)$ получен в программе Matlab (*рис. 2*).

Этап 4. Применение генетического алгоритма, имитационного отжига и поиска по шаблону. Как отмечалось ранее, будем решать поставленную задачу размещения в программе Matlab тремя разными методами имитационного моделирования: генетический алгоритм, имитационный отжиг и поиск по шаблону.

Результаты имитационного моделирования представлены в *табл. 3*.

Сравнение результатов трех методов (*табл. 3*) приводит к выводу о том, что все они позволили получить одни и те же координаты искомого информационного и логистического центра ПФО — $55^{\circ}47'$ с. ш. и $49^{\circ}07'$ в. д. С небольшой долей погрешности это соответствует городу Казань. При этом поиск по шаблону демонстрирует самую быструю сходимость — за 80 итераций, что свидетельствует о вычислительном преимуществе данного метода.

Если информационный и логистический центр ПФО действительно разместить в Казани, то это значительно сократит транзакционные издержки, связанные как с регулированием потоков информации, так и с транспортными потоками в пределах исследуемого федерального округа. А это в свою очередь приведет к сокращению финансовых издержек в ПФО, а главное — к увеличению синергетического эффекта крупной инновационной системы, объединяющей инновационно-индустриальные кластеры на значительной территории целого федерального округа.

Получение дополнительного синергетического эффекта позволит проводить более качественную политику экономико-финансового форсайта эволюции ПФО, которая будет основана на оптимальном экономико-финансовом, информационном и

логистическом межкластерном взаимодействии инновационно-индустриальных кластеров в рамках одного федерального округа.

В заключение сформулируем наиболее важные практические выводы.

1. Для устойчивого экономико-финансового развития округа необходимо наличие новых условий деятельности, которые приводили бы к появлению дополнительного синергетического эффекта. Одним из таких немаловажных условий является оптимальное информационное и логистическое взаимодействие инновационно-индустриальных кластеров в рамках одного федерального округа.
2. С этой целью решена задача размещения информационного и логистического центра кластеров федерального округа. Для этого применялись соответствующие технологии имитационного моделирования.
3. Поиск информационного и логистического центра инновационно-индустриальных кластеров федерального округа проводился, исходя из минимизации суммы расстояний от планируемого центра до кластеров. Также принималась во внимание максимальная удаленность центра от атомных электростанций и атомградов округа. Для этого использовались генетический алгоритм, метод имитационного отжига и поиск по шаблону.
4. В результате получено, что информационным и логистическим центром Приволжского федерального округа должна быть Казань.
5. Это привело бы к сокращению финансовых издержек в ПФО, а главное — к увеличению синергетического эффекта крупной инновационной системы, объединяющей инновационно-индустриальные кластеры на значительной территории целого федерального округа.
6. Получение дополнительного синергетического эффекта позволит проводить более качественную политику экономико-финансового форсайта эволюции ПФО, которая будет основана на оптимальном экономико-финансовом, информационном и логистическом межкластерном взаимодействии инновационно-индустриальных кластеров в рамках одного федерального округа.

Представленный подход позволит принимать более качественные решения государственным структурам и их экспертам в отношении форсайта развития крупных территорий страны, например, федеральных округов.

Таблица 1
Инновационные территориальные кластеры по регионам ПФО

Table 1
Regional innovation clusters by region of the Volga Federal District

Регион	Инновационный кластер	Центр кластера	Координаты центра	Население, чел.
1. Нижегородская область	Нижегородский индустриальный инновационный кластер в области автомобилестроения и нефтехимии	Нижний Новгород	56°19'37" с. ш. 44°00'27" в. д. x = 44,1 y = 56,33	1 253 511
	Саровский инновационный кластер	Саров	54°56' с. ш. 43°19' в. д. x = 43,32 y = 54,93	95 388
2. Республика Мордовия	Энергоэффективная светотехника и интеллектуальные системы управления освещением	Саранск	54°11' с. ш. 45°11' в. д. x = 45,18 y = 54,18	318 578
3. Ульяновская область	Консорциум «Научно-образовательно-производственный кластер «Ульяновск-Авиа»	Ульяновск	54°19' с. ш. 48°22' в. д. x = 48,37 y = 54,32	627 870
	Ядерно-инновационный кластер г. Димитровграда	Димитровград	54°14' с. ш. 49°35' в. д. x = 49,58 y = 54,23	115 253
4. Самарская область	Инновационный территориальный аэрокосмический кластер	Самара	53°11' с. ш. 50°07' в. д. x = 50,12 y = 53,18	1 156 644
5. Пермский край	Инновационный территориальный кластер ракетного двигателестроения «Технополис «Новый Звездный» Фотоника	Пермь	58°00'50" с. ш. 56°14'56" в. д. x = 56,25 y = 58,01	1 053 938
6. Удмуртская Республика	Удмуртский машиностроительный кластер	Ижевск	56°51'11" с. ш. 53°12'44" в. д. x = 53,21 y = 56,85	648 944
7. Республика Татарстан	Камский инновационный территориально-производственный кластер	Казань	55°47'27" с. ш. 49°06'52" в. д. x = 49,12 y = 55,79	1 251 969
8. Республика Башкортостан	Нефтехимический территориальный кластер	Уфа	54°44' с. ш. 55°58' в. д. x = 55,97 y = 54,73	1 124 226

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 2
Атомные электростанции и атомграды по регионам ПФО

Table 2
Nuclear power plants and Atomgrads by region of the Volga Federal District

Регион	АЭС и атомграды	Ближние города	Координаты АЭС	Население, чел.
1. Нижегородская область	Саров (Арзамас-16)	Саров, Нижний Новгород, Саранск	54°56' с. ш. 43°19' в. д. x = 43,32 y = 54,93	95 388 125 3511 318 578 <i>(Итого: 1 667 477)</i>
2. Республика Мордовия	Заречный (Пенза-19)	Саранск	53°12' с. ш. 45°10' в. д. x = 45,17 y = 53,2	318 578
3. Ульяновская область	Ядерно-инновационный кластер г. Димитровграда	Димитровград, Ульяновск	54°14' с. ш. 49°35' в. д. x = 49,58 y = 54,23	115 253 627 870 <i>(Итого: 743 123)</i>
4. Самарская область	Балаковская АЭС (Балаково)	Самара	52°05'34" с. ш. 47°57'14" в. д. x = 47,95 y = 52,09	1 156 644
5. Пермский край	Лесной (Свердловск-45) Новоуральск (Свердловск-44)	Пермь	58°38' с. ш. 59°47' в. д. x = 59,78 y = 58,63 57°15' с. ш. 60°05' в. д. x = 60,08 y = 57,25	1 053 938
8. Республика Башкортостан	Трехгорный (Златоуст-36)	Уфа	54°48' с. ш. 58°27' в. д. x = 58,45 y = 54,8	1 124 226

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 3
Сравнение результатов имитационного моделирования

Table 3
A comparison of the simulation modeling results

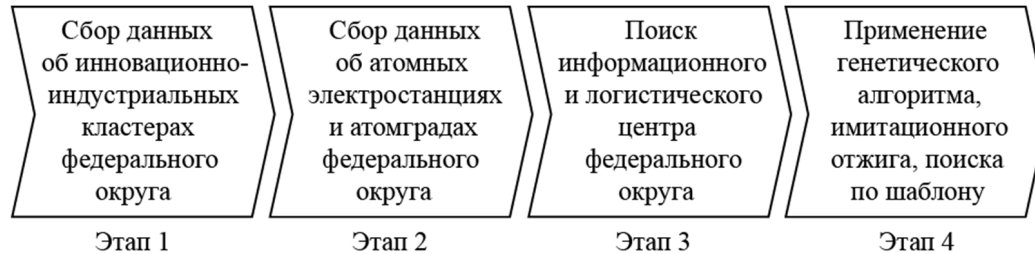
Алгоритм	x	y	$Z(x,y)$	Итерации
Генетический алгоритм	49,12	55,79	-1,97	178
Имитационный отжиг	49,12	55,79	-1,97	1 610
Поиск по шаблону	49,12	55,79	-1,97	80

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 1
Этапы решения задачи размещения информационного и логистического центра федерального округа

Figure 1
The steps of solving the problem of location of the information and logistics center of the Federal District

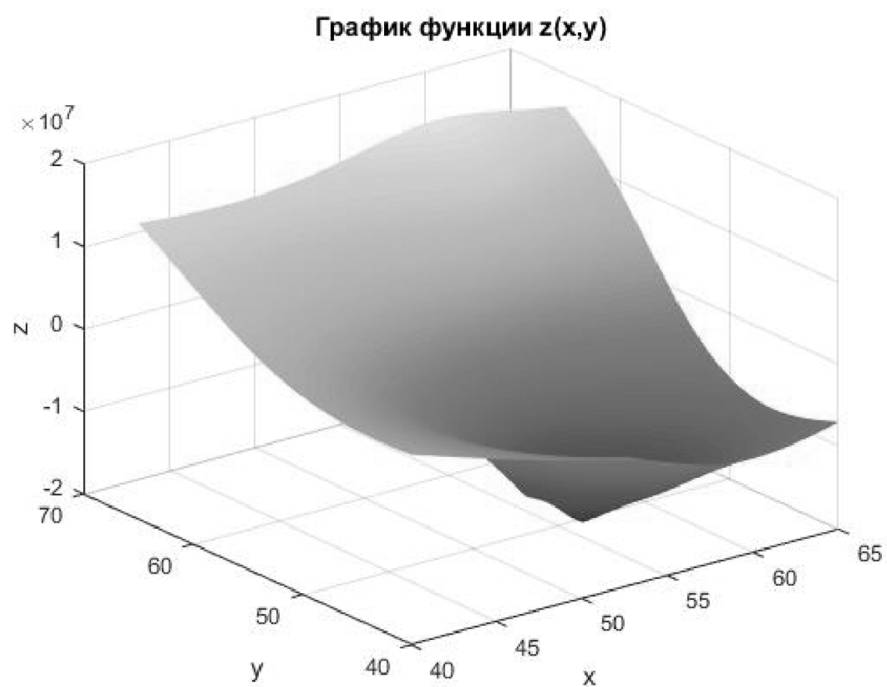


Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 2
График оптимизируемой функции

Figure 2
A graph of optimizable function



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Кошелев Е.В., Трифонов Ю.В., Яшин С.Н. Методика форсайта развития кластера с использованием арбитражных технологий // *Инновации*. 2017. № 11. С. 42–53. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-forsayta-razvitiya-klastera-s-ispolzovaniem-arbitrazhnyh-tehnologiy>
2. Akinc U., Khumawala B.M. An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Warehouse Location Problem. *Management Science*, 1977, vol. 23, no. 6, pp. 545–665. URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.23.6.585>
3. Cornuejols G., Fisher M.L., Nemhauser G.L. Location of Bank Accounts to Optimize Float: An Analytic Study of Exact and Approximate Algorithms. *Management Science*, 1977, vol. 23, no. 8, pp. 789–810.
4. Krarup J., Pruzan P.M. The Simple Plant Location Problem: Survey and Synthesis. *European Journal of Operational Research*, 1983, vol. 12, iss. 1, pp. 36–81. URL: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(83\)90181-9](https://doi.org/10.1016/0377-2217(83)90181-9)
5. Kolen A. Solving Covering Problems and the Uncapacitated Plant Location on the Trees. *European Journal of Operational Research*, 1983, vol. 12, iss. 3, pp. 266–278. URL: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(83\)90197-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(83)90197-2)
6. Mirchandani P., Jagannathan R. Discrete Facility Location with Nonlinear Diseconomies in Fixed Costs. *Annals of Operations Research*, 1989, vol. 18, pp. 213–224. URL: <https://doi.org/10.1007/BF02097804>
7. Mirchandani P.B., Francis R.L. (Eds). *Discrete Location Theory*. New York, John Wiley & Sons, 1990, 576 p.
8. Campbell J.F. Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location Problems. *European Journal of Operational Research*, 1994, vol. 72, iss. 2, pp. 387–405. URL: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)90318-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90318-2)
9. Вознюк И.П. Задача размещения пунктов производства на два-дереве с ограниченными пропускными способностями коммуникаций // *Дискретный анализ и исследование операций*. Серия 2. 2000. Т. 7. № 1. С. 3–8. URL: <http://www.mathnet.ru/links/7b0550419859b22d877e04b83b248150/da288.pdf>
10. Burkard R., Dollani H., Lin Yixun, Rote G. The Obnoxious Center Problem on a Tree. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 2001, vol. 14, iss. 4, pp. 498–509. URL: <https://doi.org/10.1137/S0895480198340967>

11. Tamir A. Improved Complexity Bounds for Center Location Problems on Networks by Using Dynamic Data Structures. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 1988, vol. 1, iss. 3, pp. 377–396. URL: <https://doi.org/10.1137/0401038>
12. Murray A.T., Tong D. Coverage Optimization in Continuous Space Facility Siting. *International Journal of Geographical Information Science*, 2007, vol. 21, iss. 7, pp. 757–776. URL: <https://doi.org/10.1080/13658810601169857>
13. Агеев А.А., Гумади Э.Х., Курочкин А.А. Полиномиальный алгоритм решения задачи размещения на цепи с одинаковыми производственными мощностями предприятий // Дискретный анализ и исследование операций. 2009. Т. 16. № 5. С. 3–18. URL: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=da&paperid=582&option_lang=rus
14. Гумади Э.Х. Точный алгоритм решения внешнепланарной задачи размещения с улучшенной временной сложностью // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2017. Т. 23. № 3. С. 74–81. URL: <https://doi.org/10.21538/0134-4889-2017-23-3-74-81>
15. Huang T., Bergman D., Gopal R. Predictive and Prescriptive Analytics for Location Selection of Add-on Retail Products. *Production and Operations Management*, 2019, vol. 28, iss. 7, pp. 1858–1877. URL: <https://doi.org/10.1111/poms.13018>
16. Kalyanmoy D. Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms. New York, John Wiley & Sons, 2001, 518 p.
17. Лопатин А.С. Метод отжига // Стохастическая оптимизация в информатике. 2005. Т. 1. № 1. С. 133–149. URL: <https://readera.org/metod-otzhiga-14339381>
18. Ingber L., Rosen B. Genetic Algorithms and Very Fast Simulated Reannealing: A Comparison. *Mathematical and Computer Modelling*, 1992, vol. 16, iss. 11, pp. 87–100. URL: [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(92\)90108-W](https://doi.org/10.1016/0895-7177(92)90108-W)
19. Conn A.R., Gould N.I.M., Toint Ph.L. A Globally Convergent Augmented Lagrangian Algorithm for Optimization with General Constraints and Simple Bounds. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 1991, vol. 28, no. 2, pp. 545–572. URL: <https://doi.org/10.1137/0728030>
20. Conn A.R., Gould N.I.M., Toint Ph.L. A Globally Convergent Lagrangian Barrier Algorithm for Optimization with General Inequality Constraints and Simple Bounds. *Mathematics of Computation*, 1997, vol. 66, no. 217, pp. 261–288. URL: <https://doi.org/10.1090/S0025-5718-97-00777-1>

21. *Kolda T.G., Lewis R.M., Torczon V.* A Generating Set Direct Search Augmented Lagrangian Algorithm for Optimization with a Combination of General and Linear Constraints. Technical Report SAND2006-5315. Oak Ridge, Sandia National Laboratories, August 2006, 44 p.

URL: <https://www.sandia.gov/~tgkolda/pubs/pubfiles/SAND2006-5315.pdf>

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

IDENTIFYING THE CENTER OF INNOVATION INDUSTRIAL CLUSTERS TO PROVIDE THE FEDERAL DISTRICT'S EVOLUTION FORESIGHT

Sergei N. YASHIN ^{a,*}, Yurii V. TRIFONOV ^b, Egor V. KOSHELEV ^c

^a National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
jashinsn@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7182-2808>

^b National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
kei@ef.unn.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4745-0004>

^c National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
ekoshelev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5290-7913>

* Corresponding author

Article history:

Article No. 343/2020
Received 8 June 2020
Received in revised form
22 June 2020
Accepted 6 July 2020
Available online
28 August 2020

JEL classification: C63,
E17, O21, O36

Keywords: location
problem, genetic
algorithm, simulated
annealing, pattern search

Abstract

Subject. This article deals with the issues of placing and locating the information and logistics center of the Federal District's clusters.

Objectives. The article aims to create a technology to identify the center of innovative industrial clusters, which would ensure their effective economic, financial, information, and logistics cooperation.

Methods. To solve the problem of location of the information and logistics center of clusters in order to anticipate the evolution of the Federal District, we used simulation modeling algorithms, genetic algorithm, and the simulated annealing and pattern search methods.

Results. These methods have been tested for the Volga (Privolzhsky) Federal District of the Russian Federation. As a result of analysis, modeling and calculations, it turns out that the information and logistics center of the Volga (Privolzhsky) Federal District should be the City of Kazan, the Republic of Tatarstan.

Conclusions and Relevance. The deployment of the information and logistics center for the Volga (Privolzhsky) Federal District in Kazan can significantly reduce the transaction costs associated with the regulation of information and transportation flows within the Federal District under study. This will reduce the financial costs in the District and increase the synergistic effect of a large innovation system uniting innovation and industrial clusters in a large area of the entire Federal District. The additional synergies will help the governmental structures and their experts conduct a better policy of economic and financial foresight of the evolution of the Volga (Privolzhsky) Federal District.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2020

Please cite this article as: Yashin S.N., Trifonov Yu.V., Koshelev E.V. Identifying the Center of Innovation Industrial Clusters to Provide the Federal District's Evolution Foresight. *Finance and Credit*, 2020, vol. 26, iss. 8, pp. 1747–1766.
<https://doi.org/10.24891/fc.26.8.1747>

Acknowledgments

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), grant № 19-010-00932.

References

1. Koshelev E.V., Trifonov Yu.V., Yashin S.N. [Methods foresight of the cluster using the arbitrage technology]. *Innovatsii = Innovations*, 2017, no. 11, pp. 42–53. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-forsayta-razvitiya-klastera-s-ispolzovaniem-arbitrazhnyh-tehnologiy> (In Russ.)
2. Akinc U., Khumawala B.M. An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Warehouse Location Problem. *Management Science*, 1977, vol. 23, no. 6, pp. 545–665. URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.23.6.585>
3. Cornuejols G., Fisher M.L., Nemhauser G.L. Location of Bank Accounts to Optimize Float: An Analytic Study of Exact and Approximate Algorithms. *Management Science*, 1977, vol. 23, no. 8, pp. 789–810.
4. Krarup J., Pruzan P.M. The Simple Plant Location Problem: Survey and Synthesis. *European Journal of Operational Research*, 1983, vol. 12, iss. 1, pp. 36–81. URL: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(83\)90181-9](https://doi.org/10.1016/0377-2217(83)90181-9)
5. Kolen A. Solving Covering Problems and the Uncapacitated Plant Location on the Trees. *European Journal of Operational Research*, 1983, vol. 12, iss. 3, pp. 266–278. URL: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(83\)90197-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(83)90197-2)
6. Mirchandani P., Jagannathan R. Discrete Facility Location with Nonlinear Diseconomies in Fixed Costs. *Annals of Operations Research*, 1989, vol. 18, pp. 213–224. URL: <https://doi.org/10.1007/BF02097804>
7. Mirchandani P.B., Francis R.L. (Eds). *Discrete Location Theory*. New York, John Wiley & Sons, 1990, 576 p.
8. Campbell J.F. Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location Problems. *European Journal of Operational Research*, 1994, vol. 72, iss. 2, pp. 387–405. URL: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)90318-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90318-2)
9. Voznyuk I.P. [The task of locating production plants on the capacitated communication 2-tree data structure]. *Diskretnyi Analiz i Issledovanie Operatsii. Seriya 2*, 2000, vol. 7, no. 1, pp. 3–8. URL: <http://www.mathnet.ru/links/7b0550419859b22d877e04b83b248150/da288.pdf> (In Russ.)

10. Burkard R., Dollani H., Lin Yixun, Rote G. The Obnoxious Center Problem on a Tree. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 2001, vol. 14, iss. 4, pp. 498–509.
URL: <https://doi.org/10.1137/S0895480198340967>
11. Tamir A. Improved Complexity Bounds for Center Location Problems on Networks by Using Dynamic Data Structures. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 1988, vol. 1, iss. 3, pp. 377–396. URL: <https://doi.org/10.1137/0401038>
12. Murray A.T., Tong D. Coverage Optimization in Continuous Space Facility Siting. *International Journal of Geographical Information Science*, 2007, vol. 21, iss. 7, pp. 757–776. URL: <https://doi.org/10.1080/13658810601169857>
13. Ageev A.A., Gimadi E.Kh., Kurochkin A.A. [Polynomial algorithm for the path facility location problem with uniform capacities]. *Diskretnyi Analiz i Issledovanie Operatsii*, 2009, vol. 16, no. 5, pp. 3–18.
URL: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=da&paperid=582&option_lang=rus (In Russ.)
14. Gimadi E.Kh. [An optimal algorithm for an outerplanar facility location problem with improved time complexity]. *Trudy Instituta matematiki i mekhaniki UrO RAN = Proceedings of Krasovskii Institute of Mathematics and Mechanics UB RAS*, 2017, vol. 23, no. 3, pp. 74–81. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.21538/0134-4889-2017-23-3-74-81>
15. Huang T., Bergman D., Gopal R. Predictive and Prescriptive Analytics for Location Selection of Add-on Retail Products. *Production and Operations Management*, 2019, vol. 28, iss. 7, pp. 1858–1877. URL: <https://doi.org/10.1111/poms.13018>
16. Kalyanmoy D. *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. New York, John Wiley & Sons, 2001, 518 p.
17. Lopatin A.S. [Simulated annealing method]. *Stokhasticheskaya optimizatsiya v informatike*, 2005, vol. 1, no. 1, pp. 133–149.
URL: <https://readera.org/metod-otzhiga-14339381> (In Russ.)
18. Ingber L., Rosen B. Genetic Algorithms and Very Fast Simulated Reannealing: A Comparison. *Mathematical and Computer Modelling*, 1992, vol. 16, iss. 11, pp. 87–100. URL: [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(92\)90108-W](https://doi.org/10.1016/0895-7177(92)90108-W)
19. Conn A.R., Gould N.I.M., Toint Ph. A Globally Convergent Augmented Lagrangian Algorithm for Optimization with General Constraints and Simple Bounds. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 1991, vol. 28, no. 2, pp. 545–572.
URL: <https://doi.org/10.1137/0728030>
20. Conn A.R., Gould N.I.M., Toint Ph.L. A Globally Convergent Lagrangian Barrier Algorithm for Optimization with General Inequality Constraints and Simple Bounds.

Mathematics of Computation, 1997, vol. 66, no. 217, pp. 261–288.

URL: <https://doi.org/10.1090/S0025-5718-97-00777-1>

21. Kolda T.G., Lewis R.M., Torczon V. A Generating Set Direct Search Augmented Lagrangian Algorithm for Optimization with a Combination of General and Linear Constraints. Technical Report SAND2006-5315. Oak Ridge, Sandia National Laboratories, August 2006, 44 p.

URL: <https://www.sandia.gov/~tgkolda/pubs/pubfiles/SAND2006-5315.pdf>

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.