



# Терминальная инфраструктура и контейнерные поезда: кластеризация объектов



Олег МОСКВИЧЕВ

Oleg V. MOSKVICHEV

**Terminal Infrastructure and Container Trains: Object Clustering**  
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 167)

**Рассмотрена задача, основанная на долгосрочном планировании развития контейнерно-транспортной системы (КТС) как части транспортного комплекса и связанная с рациональным размещением терминальной инфраструктуры относительно районов промышленного производства и потребления контейнеропригодной продукции. Разработан методологический подход к кластеризации объектов терминально-логистической инфраструктуры для создания условий массового применения контейнерных поездов на сети железных дорог. Проведено разбиение предприятий в виде кластеров с геометрическими центрами, где располагаются станции и контейнерные пункты.**

*Ключевые слова:* кластерный анализ, контейнерные перевозки, контейнерный пункт, размещение транспортных объектов, контейнерный поезд, накопительно-распределительный центр.

*Москвичев Олег Валерьевич – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой управления эксплуатационной работой, директор центра моделирования транспортных и логистических процессов Самарского государственного университета путей сообщения, Самара, Россия.*

Одним из направлений, связанным с повышением эффективности организации контейнерных перевозок на железнодорожном транспорте, стало внедрение новых высокотехнологичных транспортных продуктов.

В последние десятилетия укрепились формы межотраслевой и межрегиональной кооперации, изменилась конфигурация производственных цепочек. Это привело к расширению ассортимента выпускаемой продукции, переориентации рынков сбыта и территориальному перераспределению производств. А сами изменения в итоге повлияли на загрузку терминальных объектов, многие из которых остались невостребованными или же неспособными консолидировать существующие объёмы контейнеропригодной продукции в ускоренные контейнерные поезда [1].

Складывается ситуация, когда современные перспективные технологии пытаются реализовать на инфраструктуре, построенной ещё в 40-е годы прошлого столетия и предназначенной для решения совершенно иных задач, реализации других технологий. Новый этап глобализации и тенденции на межстрановые объединения свободной торговли предполагают изменение геогра-

фии и структуры товарных и транспортных потоков, что, в свою очередь, требует пересмотра в структурном и территориальном плане существующей контейнерно-транспортной системы (КТС).

### 1.

Для реализации перспективных транспортных технологий и повышения уровня контейнеризации предлагается новая модель формирования и функционирования контейнерно-транспортной системы железнодорожного транспорта. Она основана на создании двухуровневой сети терминальных объектов, позволяющих консолидировать грузовую базу отдельных грузоотправителей/грузополучателей в ускоренные контейнерные поезда. Реализация модели будет способствовать появлению инфраструктуры КТС, должным образом сбалансированной не только по количеству терминальных объектов, но и по месту размещения относительно промышленного производства [2].

Для этого в каждом регионе предстоит создать контейнерный накопительно-распределительный центр (КНРЦ), оптимально расположенный по отношению к сети контейнерных пунктов (КП), которые, в свою очередь, должны быть оптимизированы в плане размещения под клиентов, т.е. под конкретные грузы.

Оптимальный выбор мест расположения КП и КНРЦ поможет сделать универсальная методология разбиения множества объектов с заданными свойствами на подмножества при заданных критериях и получения «центров» этих подмножеств, обладающих оптимальными свойствами. В качестве такой универсальной процедуры предлагается использовать математические методы кластеризации объектов, известные как кластерный анализ [3].

Проведенный анализ известных алгоритмов кластеризации показал, что в них центр кластера определяется только свойствами объектов, а в процедуре кластеризации отсутствует возможность ввести ограничения на выбор подобных центров. Так, например, при применении алгоритмов кластеризации по известному методу *k-means* считается, что оптимальный центр может находиться в любой точке пространства параметров, определяющих объекты.

Если параметры — это геометрические координаты производств, то центр может лежать в любой точке плоскости. На практике следует рассмотреть случай, когда центр обязательно должен быть в одной из заданных точек (допустим, на железнодорожной станции). То есть при выборе мест расположения КП и КНРЦ приходится решать задачу кластеризации «с проекцией на функцию», когда центр обязательно должен находиться на станции или «с проекцией на точки».

В связи с этим предлагается новый метод кластеризации с проекцией на множество точек «*k-means pro*» и исследуется возможность его применения в задачах проектирования транспортной инфраструктуры [4].

Входными данными является множество объектов кластеризации  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , их веса  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$  и допустимое множество проекций  $Y = \{y_1, \dots, y_p\}$ . Каждый *j*-й объект и каждая допустимая точка-проекция заданы в *G*-мерном пространстве  $R^G$ , или  $x_j = (x_{j1}, \dots, x_{jG})$  и  $y_r = (y_{r1}, \dots, y_{rG})$ .

Единственным управляющим параметром становится число кластеров *k*, на которые проводится разбиение  $S = \{S_1, \dots, S_k\}$  множества *X*. В результате получается несмещенное разбиение  $S^* = \{S_1^*, \dots, S_k^*\}$ , центры которого — оптимальное множество проекций  $C^* \subseteq Y$ .

Введём обозначения: *n* — количество объектов кластеризации, *p* — количество точек допустимого множества проекций, *i, i'* — номер кластера, *j* — номер объекта, *r* — номер точки множества проекций, *l* — номер координаты точки, *m* — текущая итерация, *G* — размерность пространства, в котором выполняется кластеризация.

Расстояние между точками в заданном *G*-мерном пространстве находится по евклидовой метрике, где  $t_1$  и  $t_2$  — две любые точки пространства  $R^G$ :

$$d(t_1, t_2) = \sqrt{\sum_{l=1}^G (t_{1l} - t_{2l})^2}. \quad (1)$$

1. Выберем начальное разбиение

$$\begin{aligned} S^0 &= \{S_1^0, \dots, S_k^0\}; \\ S_i^0 &= \{x_{i1}^0, \dots, x_{in}^0\}, \\ \bigcup_{i=1}^k S_i^0 &= X, S_i^0 \cap S_{i'}^0 = \emptyset, i \neq i' \end{aligned} \quad (2)$$



2. Пусть построено  $m$ -е разбиение  $S^m = \{S_1^m, \dots, S_k^m\}$ .

Вычислим набор средних векторов  $E^m = \{e_1^m, \dots, e_k^m\}$ , т.е.  $e_i^m = \{e_{i1}^m, \dots, e_{iG}^m\}$ , где

$$e_{ij}^m = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} v_j x_{jl}}{\sum_{j=1}^n v_j}; \quad (3)$$

$n_i$  – количество точек  $i$ -го кластера.

3. Определим множество проекций, средних для текущего разбиения:

$$C^m = \left\{ y \in Y : \forall i, d^*(y, e_i^m) = \min_{1 \leq r \leq p} d(y, e_r^m) \right\}. \quad (4)$$

4. Построим минимальное дистанционное разбиение, порожаемое множеством  $C^m$ , и возьмём его в качестве

$S^{m+1} = \{S_1^{m+1}, \dots, S_k^{m+1}\}$ , т.е. для первого

$$S_i^{m+1} = \left\{ x \in X : d(x, c_i^m) = \min_{1 \leq i' \leq k} d(x, c_{i'}^m) \right\}, 1 \leq i \leq k. \quad (5)$$

5. Если  $S^{m+1} \neq S^m$ , то переходим к п. 2, заменив  $m$  на  $m + 1$ ; если  $S^{m+1} = S^m$ , то полагаем  $S^m = S^*$ ,  $C^m = C^*$  и заканчиваем работу алгоритма.

В качестве критерия кластеризации в данном алгоритме используется функционал [5, 6]:

$$F(S) = \sum_{i=1}^k \sum_{X \in S^i} \|X - e_i(S)\|^2. \quad (6)$$

Так как на последовательности разбиений  $S^0, S^1, \dots, S^m, \dots$ , которая строится в алгоритме  $k$ -средних, функционал  $F(S)$  не возрастает, причём  $F(S^m) = F(S^{m+1})$  только если  $S^m = S^{m+1}$ , то для любого начального разбиения  $S$  алгоритм через конечное число шагов заканчивает работу.

Результат классификации зависит от выбора  $e^0$ , поэтому каждый раз имеем локальный минимум  $F(S)$ . При этом случае координаты  $e^0$  были получены как случайные числа, равномерно распределённые в прямоугольнике возможных координат исходных точек. Для проверки устойчивости результатов и получения различных зависимостей выбор  $e^0$  меняется.

## 2.

Обоснованность формируемых кластеров, т.е. приемлемость полученных результатов по определению мест расположения контейнерных пунктов, определяется валидацией кластеров.

Различают два типа валидации: внутреннюю – по тому, насколько кластеры соответствуют исходным данным, и внешнюю (целевую) – по тому, насколько кластеры соответствуют информации, не учитываемой при их построении, но известной специалистам, которые используют кластеризацию в своих целях.

Для внутренней валидации используются самые разнообразные индексы, выражающие качество результатов кластеризации.

Наиболее популярным является индекс Дэвиса–Болдина. Чем меньше значение этого индекса, тем кластеры компактнее и удалённее друг от друга. Это позволяет обосновать количество кластеров  $k$ , что важно, поскольку при кластеризации производств количество центров-контейнерных пунктов может быть в общем случае не задано и должно находиться из условия оптимизации какого-то дополнительного критерия.

В качестве целевых критериев при определении качества кластеризации рассмотрено два варианта:

1. Количество центров задано. Это будет тогда, когда при проектировании заданы ресурсы на создание всех КП и известна средняя нормативная стоимость одного пункта. В этом случае сами затраты на создание всех КП не оптимизируются и критерием выступают затраты на перевозку грузов от всех клиентов до своих контейнерных пунктов.

2. Количество КП не задано ( $k$  неизвестно), но известна средняя стоимость одного КП –  $c$ . Тогда критерием оптимизации при кластеризации выступает сумма общих затрат на перевозку и затрат на создание КП.

Для проведения экспериментальных и практических расчётов была написана программа на языке JavaScript. Программа реализуется в нескольких режимах: с заданным или произвольным количеством кластеров.

В первом режиме реализация заключается в применении выбранного алгоритма и задании числа кластеров  $k$ .

$k = 25$ . Общий объем грузов – 558296 т. Общее расстояние – 19019,14 км. Объем перевозок – 18234000 т • км. Среднее расстояние до КП – 22,4 км. Среднее расстояние между КП – 98,1 км.						
№	Станции – КП	Кол-во предприятий	Номера в списке предприятий	Объём	% от общего объёма	Сред. расст. до КП
1	Трофимовский 2	54	788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 828, 829, 830, 831, 832, 835, 837, 838, 839, 840, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852	54713	9,8	2
2	Кротовка	12	150, 151, 199, 200, 208, 576, 577, 602, 611, 723, 724, 749	35373	6,3	16

Рис. 1. Пример выдаваемых программой результатов.

Решение поставленной задачи возможно по трём различным алгоритмам:

1. Классический алгоритм *k-means* [5, 6]. Результатом будет являться расположение контейнерных пунктов в геометрических «центрах», обеспечивающих оптимальные свойства с точки зрения наименьшего для всей сети перевозок суммарного расстояния от точек-предприятий до КП. Такую кластеризацию назовём «свободной» и алгоритм, реализующий её, обозначим как Алгоритм 1.

2. *k-means* с проекцией на последнем шаге. Сначала произведём кластеризацию объектов с помощью алгоритма *k-means*

и получим разбиение предприятий в виде кластеров с геометрическими центрами, а затем для каждого центра найдём ближайшую железнодорожную станцию и будем считать, что здесь должен располагаться контейнерный пункт. Такой алгоритм с проекцией на последней итерации назовём Алгоритм 2.

3. Модифицированный алгоритм *k-means* с проекцией (*k-means pro*). Выбираем число *k* и на первом шаге выбрасываем *k* случайных точек, называемых «центрами кластеров». Затем каждое производство привязываем к ближайшему центру. В результате каждый объект назна-

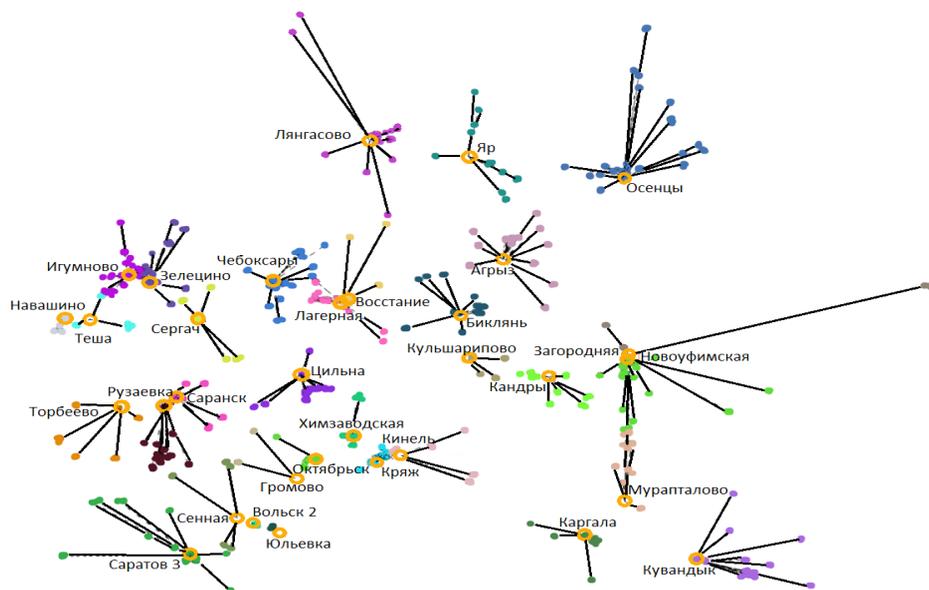


Рис. 2. Результат выполнения программы для  $k = 33$  в режиме кластеризации с проекцией и критерием суммарного расстояния.



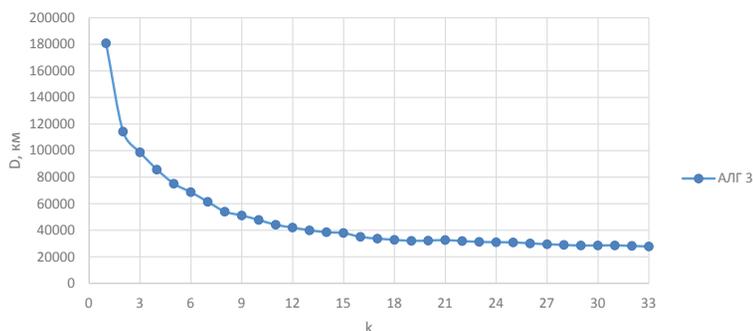


Рис. 3. График зависимости суммарного расстояния от количества кластеров.

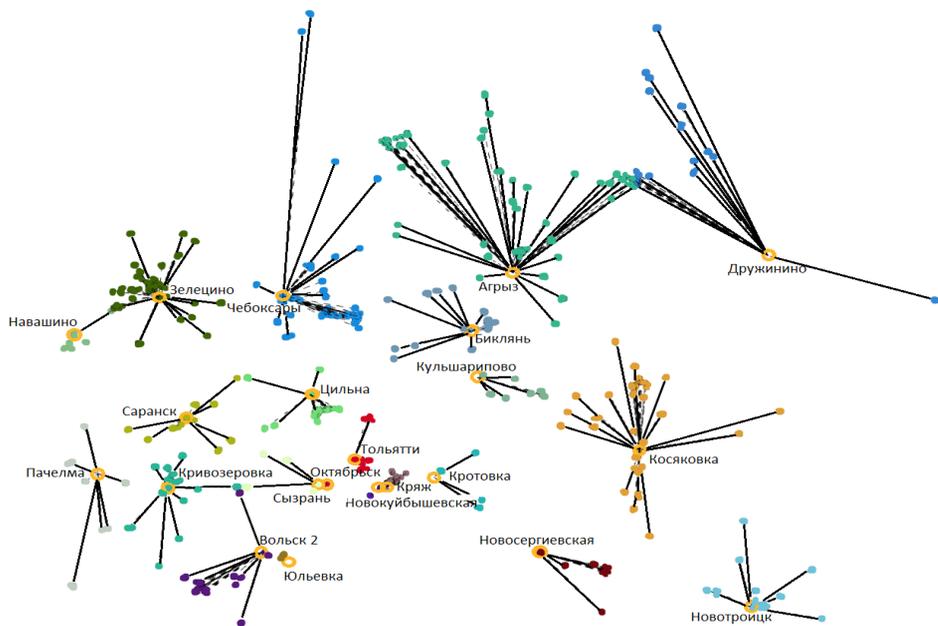


Рис. 4. Результат выполнения программы в режиме кластеризации с проекцией и критерием Дэвиса–Болдина.

чен определённому кластеру. Вычисляем новые «центры» как по координатным средним кластеров, а потом проецируем их на множество железнодорожных станций. Полученный набор считаем новыми центрами кластеров, а объекты снова перераспределяем. Процесс вычисления центров и перераспределения объектов продолжаем до тех пор, пока кластерные центры не стабилизируются, т.е. все наблюдения принадлежат кластерам, которым они принадлежали до текущей итерации. И будет это Алгоритм 3.

Во втором режиме количество кластеров определяется согласно выбранному критерию (минимум суммарных затрат на перевозку и затрат на создание КП посредством индекса Дэвиса–Болдина) с помощью перебора вариантов для каждого  $k$ .

Стоит отметить, что такое разнообразие режимов работы позволяет экспериментальным образом достигнуть наилучшего результата разбиения.

На основе разработанных моделей, алгоритма и программы проведены многократные эксперименты в различных режимах на примере Приволжского федерального округа (ПФО). Было рассмотрено 900 промышленных предприятий и 137 железнодорожных станций. Производства определялись географическими координатами и объёмом производимой и/или добываемой контейнеропригодной продукции. Множество станций задано на сети шести железных дорог, проходящих по территории ПФО.

На рис. 1 представлен фрагмент таблицы, выдаваемой программой.

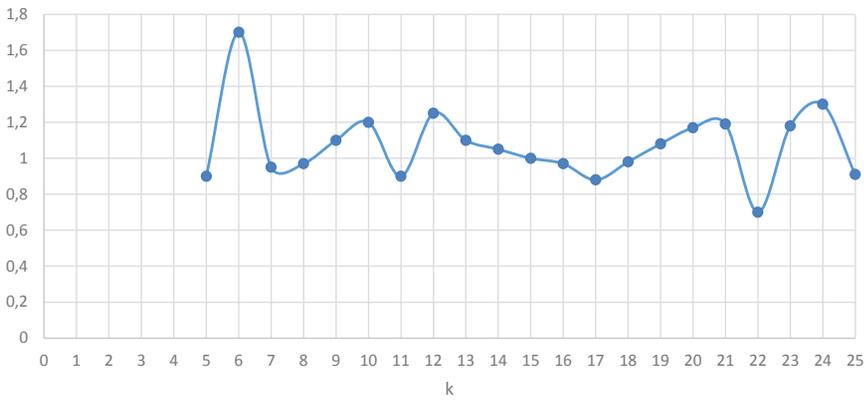


Рис. 5. График зависимости индекса Дэвиса–Болдина от количества кластеров.

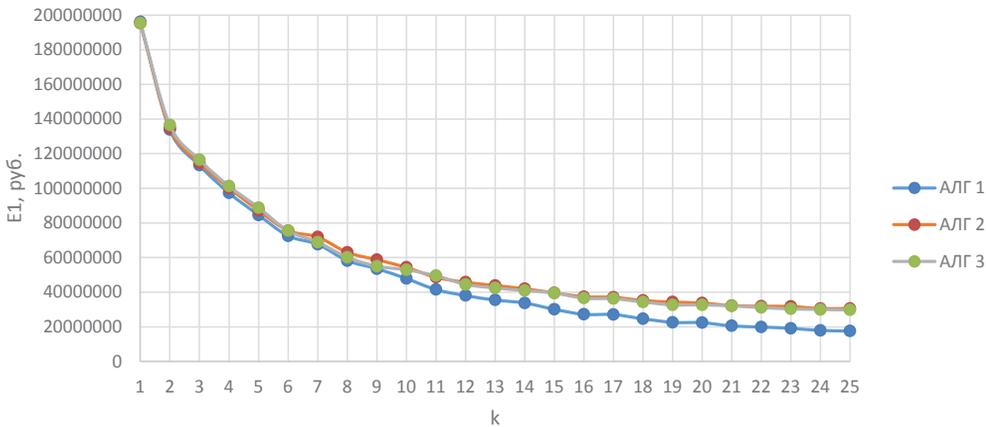


Рис. 6. График зависимости затрат на перевозку от количества кластеров.

Рассмотрим некоторые из полученных результатов для ПФО в режиме алгоритма *k-means* с проекцией; критерий – суммарное расстояние от всех точек до своих центров  $D = \sum_{i=1}^n D_i$ . Результат выполнения программы для  $k = 33$  на рис. 2. Полученные данные:  $D = 28242$  км.

График зависимости критерия  $D$  от  $k$  показан на рис. 3. Из графика видно, что при увеличении числа  $k$  суммарное расстояние  $D = \sum_{i=1}^n D_i$  сокращается.

Далее для оптимизации числа кластеров  $k$  выберем индекс Дэвиса–Болдина, а алгоритм оставим прежним – кластеризация с проекцией. Полученные данные:  $k = 22$ ,  $DB = 0.71$ . Результат выполнения программы для  $k = 22$  представлен на рис. 4. График зависимости критерия  $DB$  показан на рис. 5.

### 3.

Проведём кластеризацию при условии задания целевого критерия в случае, когда известно число  $k$  (КП), т.е. когда при проектировании заданы ресурсы на создание всех КП и известна средняя нормативная стоимость одного контейнерного пункта. В этом варианте сами затраты на создание всех КП не оптимизируются, в качестве критерия выступают затраты на перевозку грузов от всех клиентов до своих КП, т.е.

$$E_1 = \sum_{i=1}^n D_i \cdot V_i \cdot s \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $E_1$  – затраты на перевозку;  $D_i$  – расстояние от точки-производства до КП;  $V_i$  – объём производства контейнеропригодной продукции;  $s$  – расходная ставка на перевозку.

Кластеризация проводилась при заданных количествах  $k$ , которое изменялось от 1 до 25 по все трём алгоритмам. Результаты выполнения алгоритма 1, алгоритма 2 и ал-



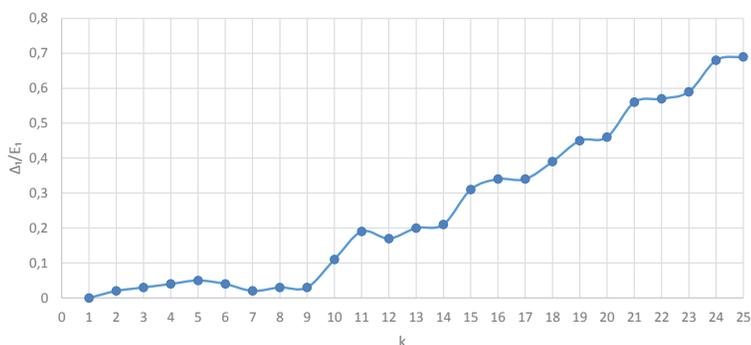


Рис. 7. Зависимость  $\Delta/E_1$  от  $k$  для производств ПФО.

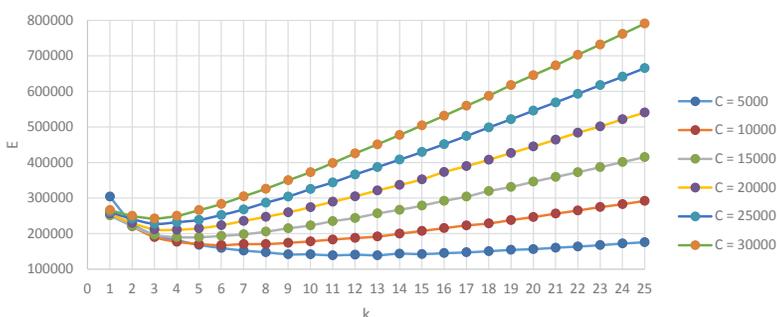


Рис. 8. Графики зависимости общих затрат от  $k$  при различных  $c$  (алгоритм 3).

горитма 3 в виде графика зависимостей представлен на рис. 6.

Как видно из рис. 6, общие затраты на перевозку падают при увеличении  $k$  — числа КП. С этой точки зрения чем больше КП, тем меньше затраты на перевозку от производств до контейнерных пунктов.

В нашем случае центры кластеров обязательно должны находиться на железнодорожной линии и это является ограничением для самого процесса кластеризации. Алгоритм *k-means pro* каждый раз проектирует центры кластеров на железнодорожную станцию.

Назовём дефектом проекции разницу критериальных величин качества свободной кластеризации и кластеризации «с проекцией»  $\Delta = E_{1np} - E_1$ . Зависимость  $\Delta/E_1$  от  $k$  для производств ПФО представлена на рис. 7.

Отсюда можно наблюдать следующую зависимость: при значительном увеличении числа КП растёт дефект проекции, т.е. в некоторых случаях, когда разница достигает 30–40 %, возможно, выгоднее строить КП, создавать новую инфраструктуру, а не

размещать их на существующей инфраструктуре.

Далее рассмотрим кластеризацию при условии, когда количество КП не задано ( $k$  неизвестно), но известна средняя стоимость одного КП —  $c$ . Тогда критерием оптимизации при кластеризации выступит сумма общих затрат на перевозку и затрат на создание КП, т.е.

$$E = \sum_{i=1}^n D_i \cdot V_i \cdot s + c \cdot k \cdot \gamma \rightarrow \min, \quad (8)$$

где  $\gamma$  — нормативный коэффициент эффективности.

Результаты работы нового алгоритма *k-means pro* (алгоритм 3) для ПФО в виде графиков зависимости общих затрат  $E$  от  $k$  при различных условных  $c$  представлены на рис. 8.

Оптимальный вариант при разных  $c$  будет выглядеть следующим образом:

- для  $c = 5000$  — 11 кластеров;
- для  $c = 10000$  — 6 кластеров;
- для  $c = 15000$  — 5 кластеров;
- для  $c = 20000$  — 4 кластера;
- для  $c = 25000$  — 2 кластера;
- для  $c = 30000$  — 2 кластера.

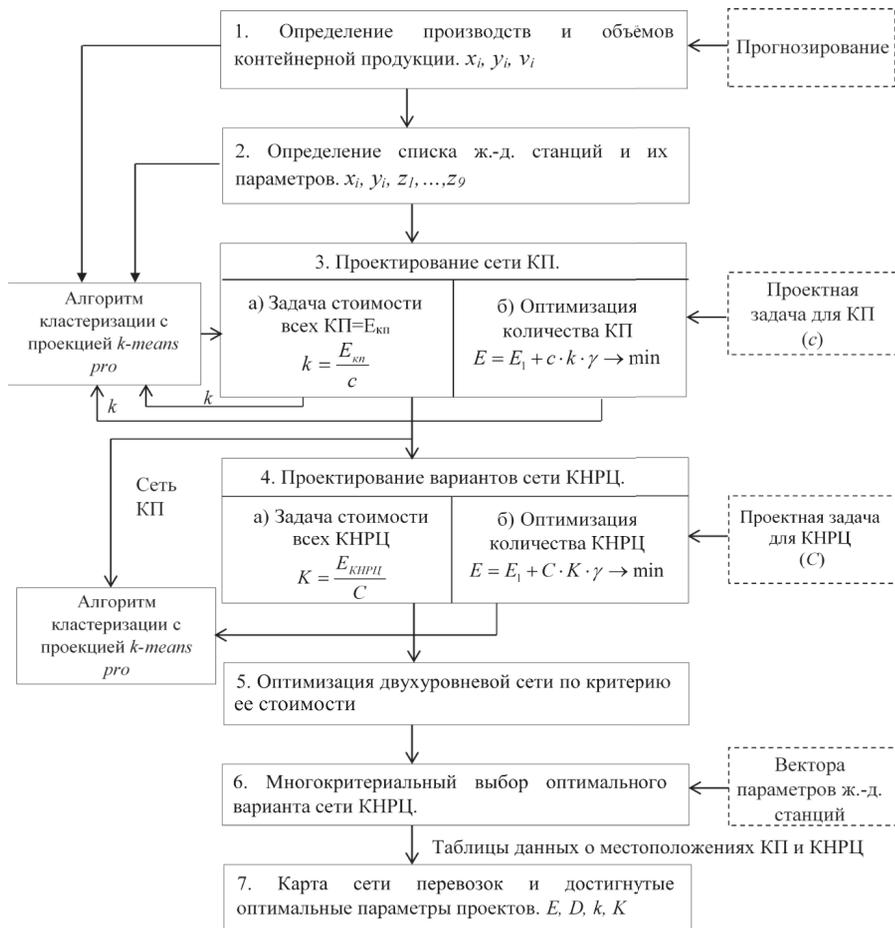


Рис. 9. Алгоритм моделирования двухуровневой структуры КТС железнодорожного транспорта.

Для оптимизации мест размещения КНРЦ с использованием алгоритмов кластеризации была разработана математическая модель.

Пусть заданы координаты и параметры железнодорожных станций (их номера  $l = 1, 2, \dots, L$ ) и уже найдены  $k$  номеров станций из  $L$ , в которых будут КП. Необходимо найти  $r$  номеров станций, где станут располагаться КНРЦ.

На первом этапе будем считать, что кандидатами на размещение КНРЦ могут быть любые станции из общего списка. Представим предстоящий нам поиск как задачу нахождения центров кластеров станций-КП. Решение выполняется на основе алгоритма *k-means pro*. При этом можно получить не только оптимальный вариант по критерию затрат на перевозку грузов от всех КП до своих КНРЦ, но и некоторое количество подоптимальных вариантов, имеющих очень близкие критериальные значения.

На втором этапе рассмотрим свойства точек-станций и дополнительные критерии оптимальности кластеризации. То есть точка-станция имеет  $q$  координат, которые определяют её свойства по отношению к тому, насколько она удовлетворяет целям создания в ней КНРЦ. Первые две координаты – это координаты местности в плоской системе  $(x, y)$ . Далее идут компоненты вектора координат, количественно измеряющие девять критериев создания КНРЦ.

Каждая компонента должна быть выражена в условных единицах, сопоставимых с другими координатами. Для этого значения критериев  $z_1, \dots, z_9$  необходимо преобразовать в безразмерные величины. Наиболее распространённый способ нормировки  $z$ :

$$Z_{\text{норм}} = \frac{z - \bar{z}}{\sigma_z}, \quad (9)$$

где  $\bar{z}$  – среднее значение;  $\sigma_z$  – среднеквадратическое отклонение величин  $z$ .



Итак, в результате решения задачи кластеризации первого уровня определяются КП. Каждая такая точка-КП помимо координат характеризуется «весом», который определяется объёмом перерабатываемых контейнеров.

Затем находятся станции для КНРЦ как центры кластеров для точек-КП. Разбиение на кластеры в этом случае должно быть таким, чтобы с учётом объёмов КП получались как можно более компактные в координатах  $(x, y)$  кластеры, а их центры как можно дальше были друг от друга. Таким образом, кластеризуемыми признаками становятся лишь координаты  $(x, y)$ , а все остальные признаки будут дополнительными. С учётом объёмов это приводит к минимизации общих затрат на перевозку грузов от КП до КНРЦ. Все остальные критерии  $z_1, \dots, z_9$  являются при кластеризации дополнительными и действуют как ограничения на выбор точек-КНРЦ.

На уровне предварительного проектирования мест расположения КНРЦ возможны два варианта постановки задачи.

1. При имеющихся средствах  $A$  построить  $r = A/C$  КНРЦ в местах, оптимизирующих интегральный показатель эффективности  $B$ , где  $C$  — средняя стоимость КНРЦ.

2. Построить оптимальное количество КНРЦ, оптимизирующих интегральный показатель эффективности  $B$  с учётом затрат на создание сети КНРЦ. Эти затраты будут  $r \cdot C$ .

Для учёта всех свойств точек-станций необходимо обеспечить выполнение главного правила — чем большие значения имеют компоненты координат  $z_1, \dots, z_9$  у точек-станций, тем более целесообразно выбирать центр-КНРЦ в этой точке-станции.

На рис. 9 представлен алгоритм моделирования двухуровневой структуры КТС железнодорожного транспорта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведённого исследования были разработаны математические модели, методы, алгоритм кластеризации с проекцией и программный продукт, которые могут быть использованы для решения задач, связанных

с проектированием местоположения транспортных объектов. Алгоритм и программный продукт апробированы при проведении практических расчётов оптимального с точки зрения заданных критериев расположения объектов терминальной инфраструктуры Приволжского федерального округа. Полученные результаты делают возможным рекомендовать единую методологию, основанную на методах кластерного анализа, в качестве средства для рациональной организации терминальной инфраструктуры, обслуживающей контейнерные поезда.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Резер С. М., Москвичев О. В., Москвичева Е. Е. Оптимизация модели формирования и функционирования контейнерно-транспортной системы страны // Транспорт: наука, техника, управление. — 2016. — № 7. — С. 3–7.
2. Москвичев О. В. О новом подходе к организации контейнерных поездов во внутреннем сообщении // Железнодорожный транспорт. — 2014. — № 2. — С. 56–59.
3. Миркин Б. Г. Методы кластер-анализа для поддержки принятия решений. — М.: Высшая школа экономики, 2011. — 88 с.
4. Москвичев О. В., Есипов Б. А., Складнев Н. С., Алёшинцев А. О. Разработка и исследование алгоритма кластеризации с проекцией для решения задач оптимизации транспортной инфраструктуры // Перспективные информационные технологии: Труды международной науч. — техн. конференции. — Самара: Самарский научный центр РАН, 2017. — С. 633–637.
5. Драган Д. Д. Исследование алгоритмов и методов интеллектуальной поддержки принятия решений. [Электронный ресурс]: [http://cad.kpi.ua/attachments/diplomas/presentations/2011\\_V\\_05\\_Dragan.pdf](http://cad.kpi.ua/attachments/diplomas/presentations/2011_V_05_Dragan.pdf). Доступ 10.06.2017.
6. Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Классификация и снижение размерности. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 607 с.
7. Москвичев О. В., Третьяков Г. М., Москвичева Е. Е. Новый подход в развитии контейнерно-транспортной системы России на основе формирования контейнерного кластера // Вестник транспорта Поволжья. — 2012. — № 3. — С. 35–39.
8. Москвичев О. В., Никонов Ю. С. Оценка потенциала и перспектив развития контейнерной транспортной системы // Железнодорожный транспорт. — 2013. — № 4. — С. 37–39.
9. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е., Никонов Ю. С. К вопросу консолидации и доставки одиночных и групповых контейнерных отправок в составе контейнерных поездов // Транспорт Урала. — 2014. — № 2. — С. 15–18.
10. Москвичев О. В. Многокритериальная оценка контейнеропригодности производимой продукции как один из факторов, определяющих размещение терминально-логистической инфраструктуры // Вестник транспорта Поволжья. — 2015. — № 1. — С. 74–80. ●

Координаты автора: **Москвичев О. В.** — [moskvichev063@yandex.ru](mailto:moskvichev063@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 21.03.2017, актуализирована 29.05.2017, принята к публикации 10.06.2017.