

МОДЕЛЬ КОНСОЛИДАЦИИ ГРУЗА В ХИНТЕРЛЕНДЕ МОРСКОГО ПОРТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ИЕРАРХИЧЕСКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

А. Л. Кузнецов, Г. Б. Попов (Санкт-Петербург)

Введение

Важнейшим аспектом любой транспортировки груза является рационализация расходов, возникающих в процессе перевозки, погрузо-разгрузочных работ, вспомогательных операций с грузом. Критерием рационализации, как правило, является общая стоимость перевозки. Оценка этой стоимости зачастую является сложным и трудоемким процессом, включающим необходимость сбора информации по основным ставкам на осуществление перевозок, перегрузок, вспомогательных операций и т. д. В случае, если необходима оценка рациональности не одиночной перевозки груза, а целой сети консолидации груза, включающей множество пунктов отправки груза, разное количество груза в каждом из них и разные расстояния между ними, задача может стать комплексной и затратной по времени. При этом детализация процессов и операций в ряде случаев приводит к росту трудоемкости без повышения точности, если она выходит за методическую погрешность используемого алгоритма. В то же время, рациональная сеть консолидации груза в цепи поставок является одной из важнейших предпосылок экономически эффективного функционирования всей сети. Точный и тщательно продуманный расчет может занять месяцы, в то время как организация сети консолидации требует быстрого принятия решений. Для поддержания такого рода управленческих решений необходим инструмент, позволяющий разработать «каркас» сети консолидации и обосновать конкретные шаги её создания. В данном исследовании предлагается простой и легкий в разработке инструмент, не требующий специализированного программного обеспечения (ПО), основанный на методе иерархической кластеризации, позволяющий определить пошаговую стратегию для организации эффективной сети консолидации груза в хинтерленде морского порта. Основной целью исследования является построение наглядной схемы консолидации грузов на основе заданных исходных данных.

Описание метода и разработка модели

В основу исследования положен метод, базирующийся на методе иерархической кластеризации. Однако данный метод используется в модели не в своем классическом виде, поскольку его прямой перенос для целей исследования не представляется возможным [1]. Методически это обусловлено отсутствием необходимости формирования четкой иерархии пунктов доставки внутри региона хинтерленда. При этом, однако, важно, чтобы близкие друг к другу пункты использовали преимущество малого расстояния между ними. Для определения уровня этого преимущества необходимо использование понятия меры близости k_{ij} между объектами i и j , позаимствованное из метода иерархической кластеризации. Сама мера близости между двумя произвольными пунктами строится по принципу «гравитационного притяжения двух масс», т.е. она прямо пропорциональна количеству груза, находящегося в каждом из пунктов, и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$k_{ij} = \frac{V_i \cdot V_j}{R_{ij}^2}, \quad (1)$$

где k – мера близости между пунктами i и j ;

V_i – количество груза в пункте i ;

V_j – количество груза в пункте j ;

R_{ij} – расстояние между пунктами i и j .

Экономический смысл меры близости заключается в выявлении того, какие пункты имеют наибольшее влияние друг на друга. Чем больше значение меры, тем более выгодной является отправка груза из одного пункта в другой. Это поднимает другой вопрос: при наличии значения меры между двумя пунктами, какой пункт должен быть пунктом отправления, а какой – пунктом доставки в этой паре? В соответствии со спецификой транспортных задач в данном исследовании считается, что пунктом отправки всегда будет тот пункт из пары, в котором груза меньше. Таким образом, на каждом шаге алгоритма из всех возможных сочетаний выбирается пара пунктов, между которыми должна быть совершена перевозка, и определяется направление этой перевозки. Расстояние между пунктами i и j при описании алгоритма вычисляется на основе их координат x_i, x_j, y_i, y_j . Это означает, что расстояния между пунктами, используемые в формуле (1), можно определить на основе формулы:

$$R_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (2)$$

Очевидно, что в действительности расстояния между пунктами не равны кратчайшим отрезкам между ними, а зависят от существующей сети путей сообщения в данном регионе. При этом существует также явная разница между путями сообщения различных видов транспорта. В целях упрощения эти факторы не принимаются во внимание; их учет в формуле определения расстояния не вызывает сложности.

Для разработки модели использовался MS Excel. Несмотря на то, что MS Excel не разработан для целей имитационного моделирования, данное ПО обладает достаточными выразительными средствами для эффективного прототипирования и имитационного моделирования относительно простых систем. Количество пунктов отправки n , включая сам пункт консолидации груза, в прототипе модели выбрано равным 10. Количество шагов модели $k = n$, т.е. в данном случае $k = 10$. Модель может быть использована в двух режимах: при фиксированном пункте консолидации, когда порт, в который свозится груз является заранее назначенным, и без фиксированного пункта консолидации, в котором модель самостоятельно определяет пункт, наиболее подходящий для консолидации груза в нем.

Исходные данные модели задаются координатами пунктов и количеством груза, вывозимого из каждого пункта (рис. 1).

№	Порты отправления		
	x	y	v
s1	500	100	1000
s2	450	630	1200
s3	50	75	800
s4	110	280	1200
s5	20	190	1400
s6	389	250	600
s7	750	390	700
s8	600	400	1200
s9	700	500	900
s10	800	60	1000
Всего V			10000

Рис. 1. Исходные данные модели

Логика расчетов в модели основана на методе полной связи, используемом для построения дендрограмм [2], [3]. На каждом шаге алгоритма модели для всех пар пунктов отправки груза рассчитывается мера близости. На основе полученных значений составляется матрица мер близости размером $n \times n$ элементов. (рис. 2, а и б) В полученной матрице производится поиск максимального элемента, который и определяет перспективную пару формируемого на данном шаге участка маршрута между пунктами

i и j . Зная пару пунктов, между которыми необходимо совершить перевозку на данном шаге, необходимо определить из какого пункта груз будет вывезен, а в какой – доставлен. Как уже было указано ранее, пунктом отправки всегда считается пункт с меньшим количеством груза, а пунктом доставки – пункт с большим количеством груза. Также в модели принимается, что на каждом шаге осуществляется перевозка всей партии груза, подготовленной к отправке из конкретного пункта. Очевидно, что в этом случае на следующем шаге модели в пункте отправки количество груза будет равно 0, что приведет к тому, что все значения меры близости для пар с этим пунктом станут равны 0. Как видно, в отличие от классического варианта метода полной связи, элементы матрицы мер близости не объединяются в новый элемент, а размер матрицы не меняется на каждом шаге.

Данная модификация внесена для упрощения расчетов, поскольку целью исследования является построение рациональной сети консолидации груза, а не проведение кластерного анализа системы хинтерленда порта. В пункте доставки, наоборот, количество груза увеличится на размер партии из пункта отправки. Для осуществления этого на каждом шаге рассчитывается новое значение количества груза, находящегося в каждом пункте отправки. Это значение рассчитывается в столбце V , и критически влияет на пересчет значений меры близости на каждом шаге.

На рис. 2, а и б приведены первые два шага модели. На первом шаге столбец V , в котором содержится количество груза, скопирован из исходных данных, приведенных на рис. 1. Результатом этого шага является определение в потребности перевозки из пункта 4 в пункт 5 (значения выводятся в ячейках под графиком). На втором шаге (рис. 2, б) мера близости для всех пар с пунктом 4 равна 0, количество груза в пункте 5 при этом увеличилось на 1 200 TEU, вывезенных из пункта 4. Изменения на каждом шаге отражаются в виде диаграмм, где крайний правый столбец является суммарным количеством груза в пунктах хинтерленда, а столбцы с 1 по 10 отражают количество груза в каждом пункте на данном шаге.

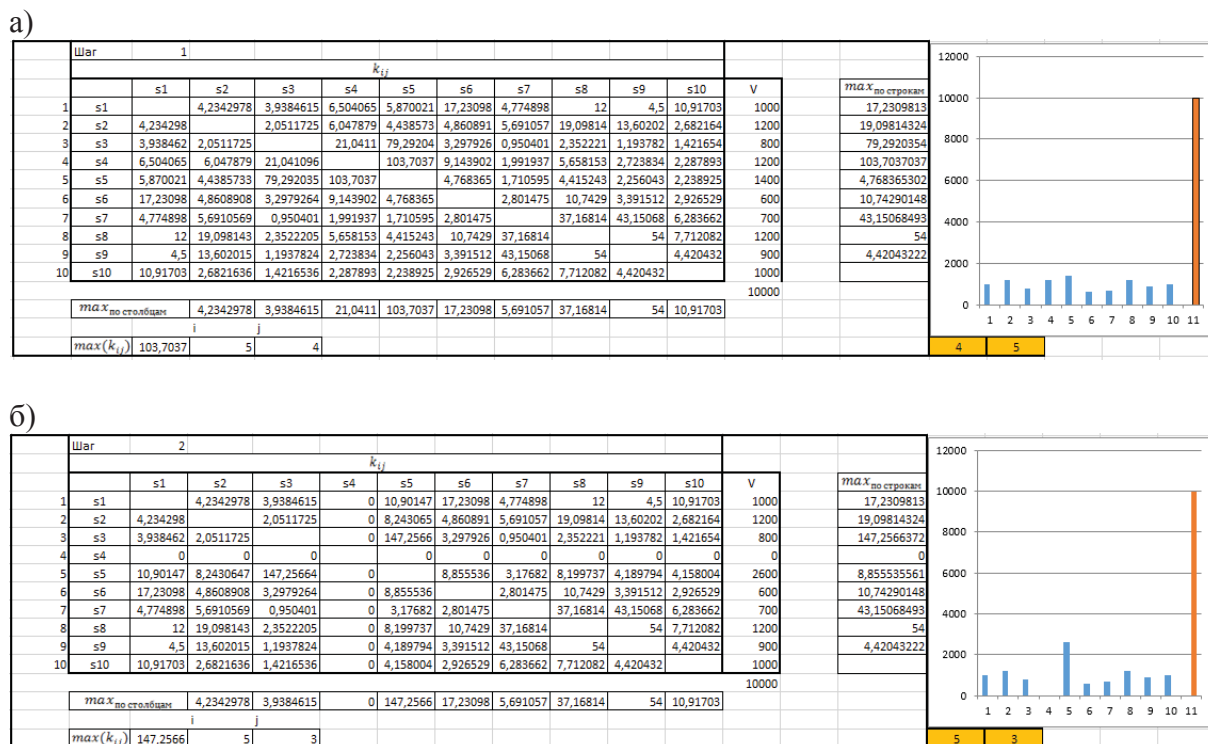


Рис. 2. Матрица мер близости: а) для первого шага модели, б) для второго и последующих шагов модели

Результатом работы модели является последовательность пар пунктов отправки и доставки груза в хинтерленде порта, на основе которой строится схема рационализации сети консолидации груза (рис. 3). Прорисовка схемы выполнена с использованием макросов. Направление стрелок определяет направление перевозок, а их толщина зависит от количества груза, перевозимого на данном плече. Данная схема позволяет быстро визуализировать результаты расчетов. В качестве примера на рис.3 используется подложка карты Европы.

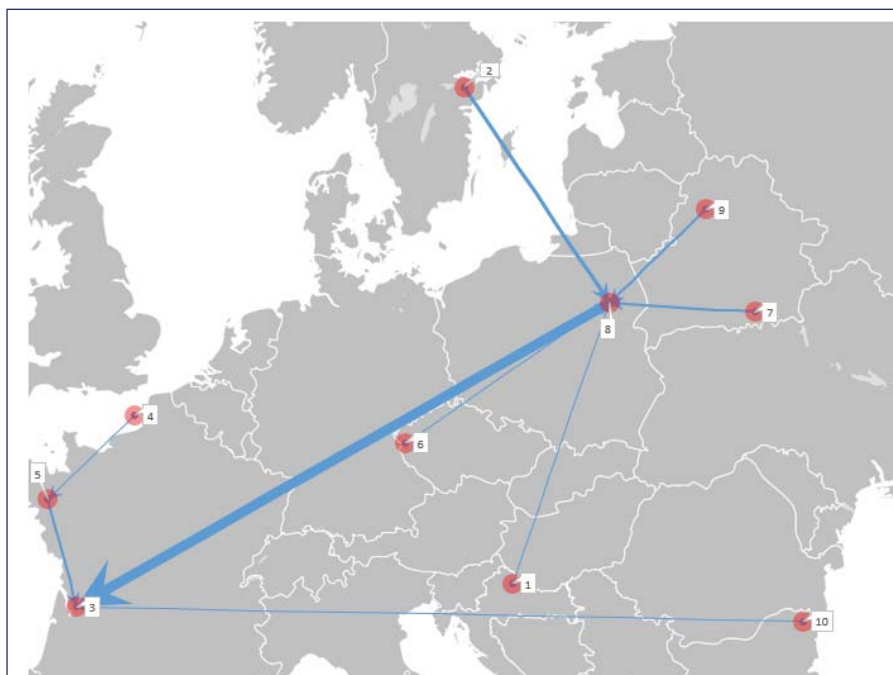


Рис. 3. Схема рационализации сети консолидации груза в хинтерленде порта

Проведение экспериментов

Как упоминалось ранее, при работе с моделью выбирается один из двух режимов: режим с фиксированным пунктом консолидации груза и режим, в котором модель самостоятельно определяет наиболее рациональный пункт консолидации (рис. 4). Результаты моделирования, представленные на рис. 3, были рассчитаны для пункта консолидации 3. Как видно из результатов, большая часть груза сначала консолидируется в пункте 8, после чего отправляется в пункт 3 на одном из последних шагов модели. Это объясняется высокой мерой близости для пункта 8 во всех парах с близлежащими пунктами.

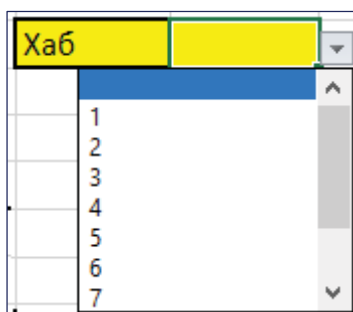


Рис. 4. Выбор пункта консолидации (хаба), либо выбор режима автоматической консолидации (пустое поле)

При работе модели во втором режиме и при тех же исходных данных, приведенных на рис. 1, груз будет консолидироваться автоматически в пункте 8, что подтвер-

ждает высоко влияние этого пункта в регионе при заданных исходных условиях (рис. 5). Корректность работы модели проверена при помощи методов линейного программирования.

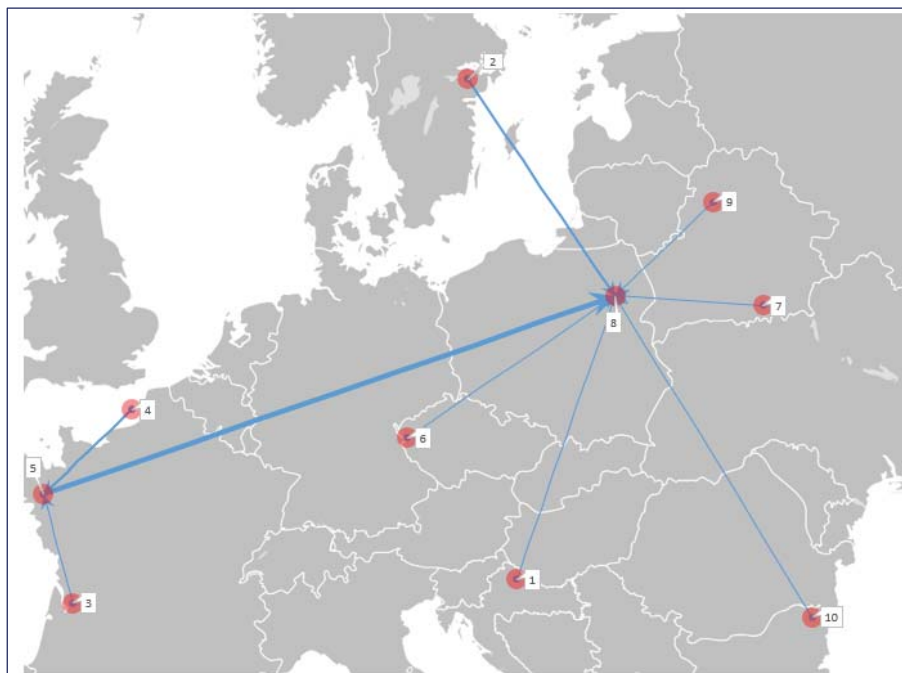


Рис. 5. Результат работы модели без фиксированного пункта консолидации

Модель позволяет задать любое расположение десяти портов и любое количество груза в них.

Выводы

На основе методов иерархической кластеризации был разработан алгоритм решения задачи рационализации сети консолидации в хинтерленде морского порта.

При помощи средств MS Excel было проведено моделирование рационализации схемы консолидации груза в хинтерленде морского порта. Использование неспециализированного ПО позволяет значительно снизить расходы на разработку модели, поскольку данное ПО имеет широкую распространенность.

Дальнейшим развитием в данном направлении представляется добавление различных видов транспорта, составление матрицы реальных длин путей сообщения между пунктами, добавление возможности задания произвольного числа пунктов отправки, перенос модели в специализированную среду моделирования.

Литература

1. **Gorban A.** Method of Elastic Maps and its Applications in Data Visualization and Data Modeling / A. N. Gorban, A. Yu. Zinovyev // *Int. Journal of Computing Anticipatory Systems, CHAOS*. – 2002. – Vol. 12. – P. 353–369.
2. **Cai R.** A general framework of hierarchical clustering and its applications/R. Cai, Z. Zhang, A. K. H. Tung, C. Dai, Z. Hao // *Information Sciences*. – 2014. – Vol. 272. – Pp. 29–48. DOI: 10.1016/j.ins.2014.02.062.
3. **Defays D.** An efficient algorithm for a complete link method/D. Defays // *The Computer Journal*. British Computer Society. – 1977. – Vol. 4 (20). – Pp. 364–366. DOI:10.1093/comjnl/20.4.364.