



Структура и функции межрегиональных транспортных систем



Игорь ТАРАРЫЧКИН

Igor A. TARARYCHKIN

Structure and Functions of Inter-Regional Transport Systems

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 183)

Разработан метод анализа свойств межрегиональных транспортных систем, основанный на определении количественного состава потребных структурных уровней. Оптимизацию функционирования таких систем предлагается осуществлять последовательно на каждом установленном уровне и с учетом особенностей взаимодействия отдельных элементов.

Ключевые слова: транспортная система, структура, кластер, узел, грузопоток, транзит.

Тарарычкин Игорь Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортные системы» Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, Луганск, Украина.

Производственные связи хозяйствующих субъектов в границах отдельных территорий осуществляются на основе существующих и создающихся транспортных систем различного уровня сложности и назначения. При этом системы для решения транспортных задач на местном уровне в процессе естественного развития объединяются на региональном уровне, что создает необходимые предпосылки к дальнейшему развитию регионов [1, 2].

Кроме того, формирование транспортных систем происходит и с учетом маршрутов прохождения транзитных грузопотоков, что требует принятия соответствующих управленческих решений, связанных с обеспечением эффективного функционирования сложных многоуровневых систем [3, 4].

Однако приходится констатировать, что попытки оптимизации функционирования многоуровневых систем пока не дают желаемого результата. И объясняется это как сложностью их структурного анализа, так и отсутствием доступных практике управления методов организации.

С этой точки зрения актуальной прежде всего представляется разработка метода

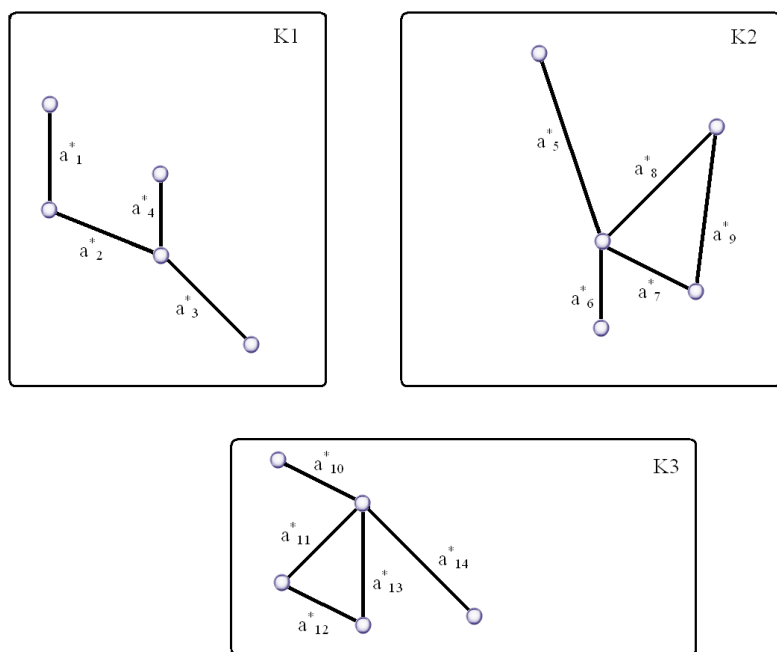


Рис. 1. Фрагмент территории, на которой расположены три производственных кластера, каждый из которых содержит предприятия, связанные между собой транспортными путями.

анализа структуры и особенностей межрегиональных транспортных систем, выявление состава и характеристик отдельных структурных уровней для последующей оптимизации их функционирования.

КЛАСТЕРЫ И ВЗАИМОСВЯЗИ

Межрегиональные транспортные системы обычно формируются на основе интеграции сетевых структур местного и регионального уровней с учетом потребности в продвижении грузовых потоков вдоль транспортных коридоров.

Это означает, что первичным элементом системы является совокупность транспортных путей местного уровня, наличие которых позволяет осуществлять грузовые перевозки между хозяйствующими субъектами в границах отдельных производственных кластеров. Так, на рис. 1 схематично показано расположение трех кластеров. Каждый из них функционирует таким образом, что в его границах выполняется основной объем транспортной работы при удовлетворении потребностей в грузовых перевозках между отдельными элементами (точками кластера).

То есть местный уровень транспортной системы формируется на базе кластеров,

каждый из которых содержит группу производственных и складских объектов, связанных между собой транспортной сетью для удовлетворения потребностей в грузовых перевозках. В качестве структурных элементов такой сети следует рассматривать используемые пути, обозначаемые в дальнейшем a_i^* , где i — целочисленный индекс, обозначающий порядковый номер элемента.

Тогда для показанного на рис. 1 фрагмента территории с тремя кластерами общее число элементов системы на местном уровне будет четырнадцать, а индекс i принимает значения 1, 2 ... 14.

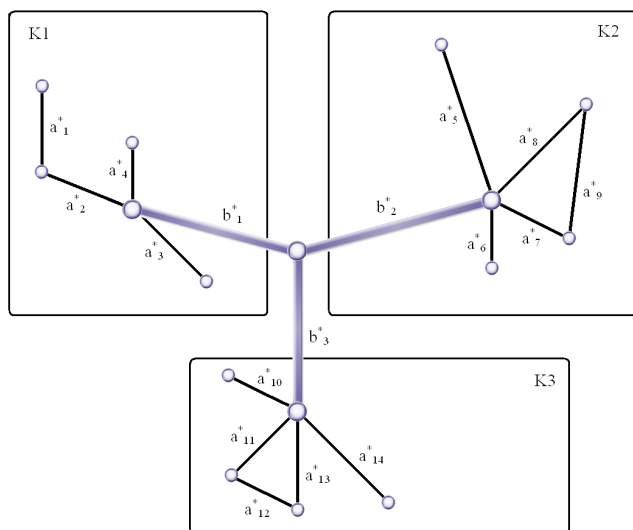
Совокупность рассматриваемых элементов a_i^* образует множество A^* , характеризующее структуру системы на местном уровне.

Поскольку процесс функционирования транспортной системы связан с необходимостью взаимодействия отдельных составных частей, то рассматриваемые кластеры K1, K2 и K3 должны быть соединены транспортными путями соответствующим образом, например так, как это показано на рис. 2.

Транспортные пути b_1^* , b_2^* и b_3^* , предназначенные для формирования регио-



Рис. 2. Фрагмент территории, на которой три производственных кластера связаны между собой общей транспортной сетью.



нального уровня системы, образуют множество элементов B^* и обеспечивают возможность доставки грузов при взаимодействии предприятий, находящихся в составе различных кластеров.

В этом случае формируемая на основе кластеров K1, K2 и K3 транспортная система является двухуровневой, а в ее составе имеются 14 элементов местного уровня ($a_1^*, a_2^*, \dots, a_{14}^*$) и три элемента регионального уровня (b_1^*, b_2^*, b_3^*).

Если q — это величина суммарного грузопотока в двух противоположных направлениях, наблюдаемая при функционировании анализируемого элемента в течение заданного периода времени, а l — действительная длина элемента (транспортного пути), то каждый из перечисленных элементов системы можно рассматривать как точку с координатами q [т/сут.] и l [км] на плоскости qol .

В том случае, если фрагмент транспортной системы должен обеспечивать прохождение транзитных грузовых потоков, характер соединения кластеров может быть иным, с учетом необходимости формирования межрегионального уровня и соответствующего коридора, обеспечивающего транзитное движение.

Так, на рис. 3 показан фрагмент трехуровневой межрегиональной транспортной системы, которая кроме элементов a_i^* ($i=1, 2, \dots, N_A$) и b_i^* ($i=1, 2, \dots, N_B$) содержит

в своем составе элементы c_i^* ($i=1, 2, \dots, N_C$), образующие множество C^* и обеспечивающие возможность функционирования транспортного коридора.

Таким образом, в общем случае межрегиональная транспортная система характеризуется наличием взаимосвязанных элементов a_i^* , b_i^* и c_i^* , определяющих свойства системы на местном, региональном и межрегиональном уровнях.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА УРОВНЕЙ

Характеристикой каждого элемента системы является суммарная величина наблюдаемого транспортного потока q и длина маршрута l . Это означает, что совокупность всех элементов транспортной системы может быть описана с использованием следующего набора характеристик:

$$\begin{cases} a_i^* (l_i^{A*}, q_i^{A*}) & (i=1, 2, \dots, N_A) \\ b_i^* (l_i^{B*}, q_i^{B*}) & (i=1, 2, \dots, N_B) \\ c_i^* (l_i^{C*}, q_i^{C*}) & (i=1, 2, \dots, N_C). \end{cases}$$

Пусть l_{max} — максимальное значение длины транспортного пути среди всех элементов l_i^{A*} , l_i^{B*} , l_i^{C*} ;

l_{min} — минимальное значение длины пути;

q_{max} — максимальная величина грузопотока среди всех элементов q_i^{A*} , q_i^{B*} , q_i^{C*} ;

q_{min} — минимальное значение грузопотока.

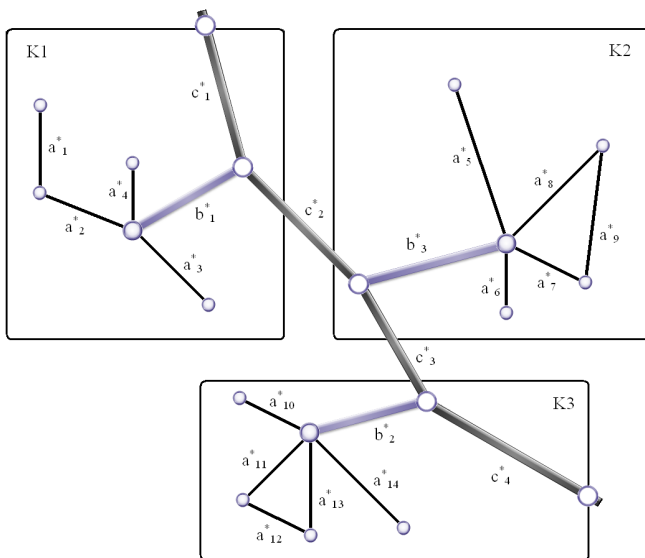


Рис. 3. Фрагмент трехуровневой межрегиональной транспортной системы.

Выполним преобразования координат отдельных элементов в соответствии со следующими зависимостями:

$$\begin{cases} x_i^A = \frac{l_i^{A*} - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \\ y_i^A = \frac{q_i^{A*} - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}}; \\ x_i^B = \frac{l_i^{B*} - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \\ y_i^B = \frac{q_i^{B*} - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}}; \\ x_i^C = \frac{l_i^{C*} - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \\ y_i^C = \frac{q_i^{C*} - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}}. \end{cases}$$

Тогда преобразованные элементы $a_i(x_i^A, y_i^A)$ можно рассматривать как принадлежащие некоторому множеству А,

а элементы $b_i(x_i^B, y_i^B)$ – как принадлежащие множеству В. Аналогичным образом множество С будет содержать совокупность элементов $c_i(x_i^C, y_i^C)$. Преобразованные элементы a_i, b_i, c_i с безразмерными координатами образуют на плоскости YOX три множества А, В и С, в полной мере характеризующие состав и свойства анализируемой транспортной системы. Использование полученных в результате выполненных преобразований элементов системы с безразмерными характеристиками упрощает проведение дальнейшего анализа и определение числа уровней транспортных систем.

Если полученные в результате выполненных преобразований элементы a_i, b_i и c_i образуют на плоскости YOX три не перекрывающихся множества, которые могут быть разграничены визуальнo, то такая система рассматривается в дальнейшем как трехуровневая (рис. 4а).

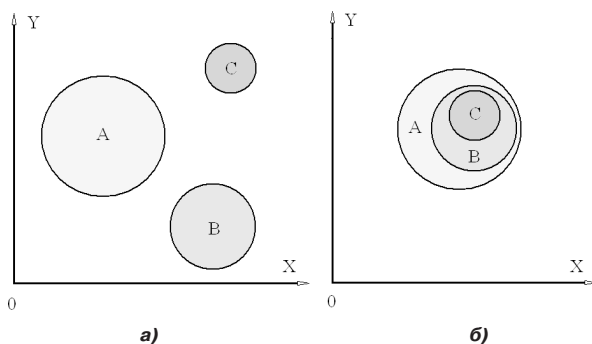


Рис. 4. Схема возможного расположения множеств А, В и С для случая трехуровневой (а) и одноуровневой (б) транспортных систем.

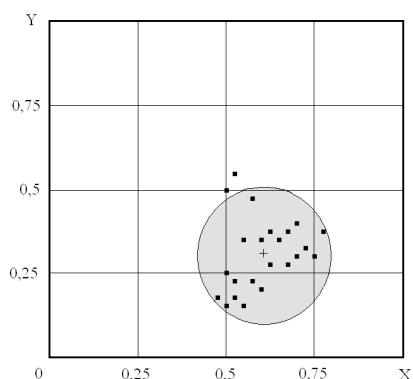


Рис. 5. Расположение на плоскости YOX элементов множества A и соответствующего круга диаметром D_A с центром в точке S_A .

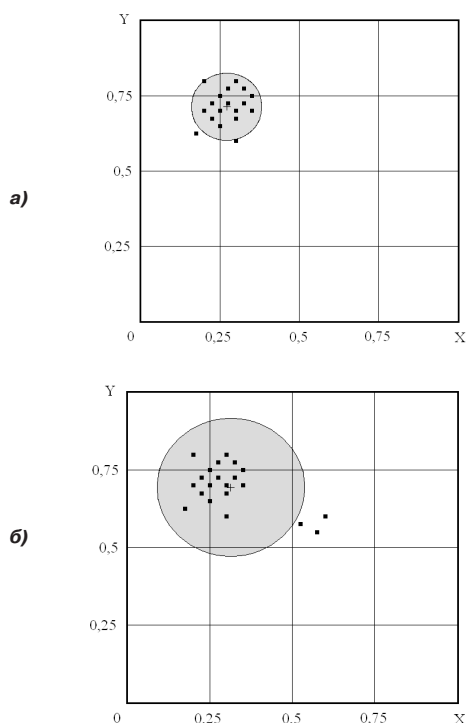


Рис. 6. Положение на плоскости YOX элементов a_i и круга диаметром D_A для множеств, содержащих 18 точек (а) и 21 точку (б).

Если же отдельные элементы расположены так, что разделить множества A , B и C затруднительно или не представляется возможным, то анализируемая система оказывается одноуровневой (рис. 4б).

Таким образом, процедура определения числа структурных уровней системы и составляющих эти уровни элементов связана с необходимостью разработки алгоритма оценки взаимного расположения множеств A , B и C на плоскости YOX .

ОБЪЕДИНЕНИЕ МНОЖЕСТВ

В дальнейшем под диаметром D_A множества A будем понимать наибольшее евклидово расстояние между его элементами, а в качестве центра множества определим центроид, каковым станет точка S_A на плоскости YOX с координатами:

$$\bar{x}_A = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} x_i^A}{N_A}, \quad \bar{y}_A = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} y_i^A}{N_A}.$$

Предположим, что множество A состоит из 23 элементов, координаты которых представлены в таблице 1. Положение круга диаметром D_A с центром в точке S_A для рассматриваемой системы данных показано на рис. 5.

Видно, что при использовании указанного алгоритма определения границ множества на плоскости за пределами диаметра D_A может находиться несколько точек.

Рассмотрим теперь в качестве примера множество A , состоящее из 18 точек на плоскости (рис. 6а).

Координаты элементов, составляющих это множество, приведены в таблице 2. Если в состав такого множества добавить три точки с координатами $a_{19}(0,6; 0,6)$, $a_{20}(0,525; 0,575)$, $a_{21}(0,575; 0,55)$, то диаметр D_A возрастет практически вдвое, а центроид S_A сместится по направлению к добав-

Таблица 1

Координаты элементов множества A

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x_i	0,7	0,625	0,675	0,775	0,55	0,6	0,65	0,725	0,7	0,75	0,625	0,675
y_i	0,4	0,375	0,375	0,375	0,35	0,35	0,35	0,325	0,3	0,3	0,275	0,275

i	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
x_i	0,5	0,525	0,575	0,6	0,475	0,525	0,5	0,55	0,5	0,575	0,525
y_i	0,25	0,225	0,225	0,2	0,175	0,175	0,15	0,15	0,5	0,475	0,55

Таблица 2

Координаты элементов множества А

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x_i	0,2	0,3	0,275	0,325	0,25	0,35	0,225	0,275	0,325	0,2	0,25	0,3
y_i	0,8	0,8	0,775	0,775	0,75	0,75	0,725	0,725	0,725	0,7	0,7	0,7

i	13	14	15	16	17	18
x_i	0,35	0,225	0,3	0,25	0,175	0,3
y_i	0,7	0,675	0,675	0,65	0,625	0,6

Таблица 3

Координаты элементов множества А

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x_i	0,55	0,575	0,65	0,625	0,6	0,675	0,7	0,775	0,725	0,75	0,75	0,85
y_i	0,975	0,975	0,95	0,925	0,9	0,925	0,9	0,875	0,825	0,825	0,8	0,8

i	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i	0,825	0,8	0,875	0,9	0,95	0,875	0,95	0,95
y_i	0,775	0,75	0,725	0,65	0,65	0,625	0,6	0,55

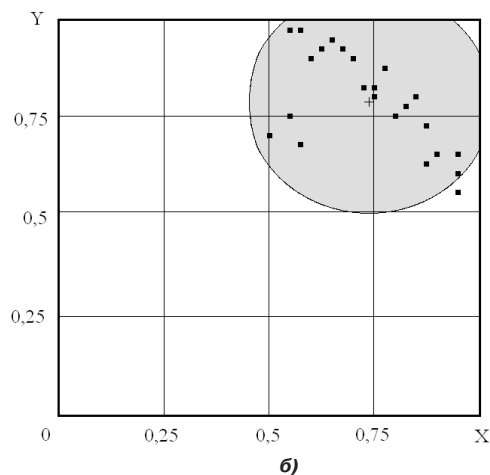
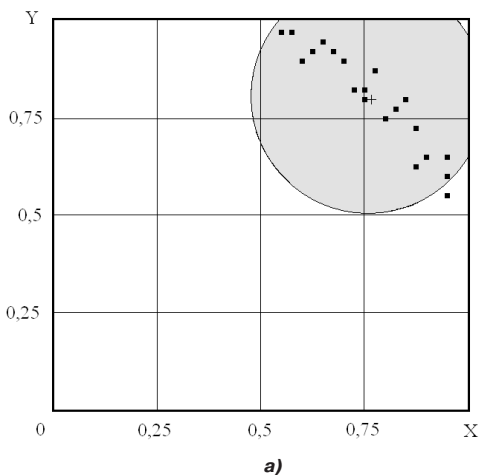


Рис. 7. Множества точек на плоскости YOX, состоящие из двадцати (а) и двадцати трех элементов (б).

ленной группе точек (рис. 6б). При этом все точки добавленной группы оказываются за пределами области, ограниченной кругом диаметром D_A .

Если дополнительно введенные точки рассматривать как «выбросы» из-за удаленности от основного состава множества А, то следует заключить, что их введение в состав множества не обязательно сопровождается увеличением диаметра D_A .

Рассмотрим теперь множество А (рис. 7а), состоящее из 20 элементов, координаты которых приведены в таблице 3.

Если в состав такого множества включить дополнительную группу из трех точек с координатами $a_{21}(0,55; 0,75)$, $a_{22}(0,5; 0,7)$

и $a_{23}(0,575; 0,675)$, то диаметр множества D_A не изменится, а центроид S_A лишь несколько сместится в направлении дополнительной группы точек (рис. 7б).

Отсюда есть основание считать, что для определения положения и границ множества на плоскости YOX использование таких характеристик, как $S_A(\bar{x}_A, \bar{y}_A)$ и D_A , является возможным и с практической точки зрения целесообразным.

Оценка взаимного расположения нескольких множеств на плоскости и характеризующих это положение областей, ограниченных диаметрами D_A , D_B и D_C для соответствующих множеств А, В и С, позволяет сделать заключение о количе-



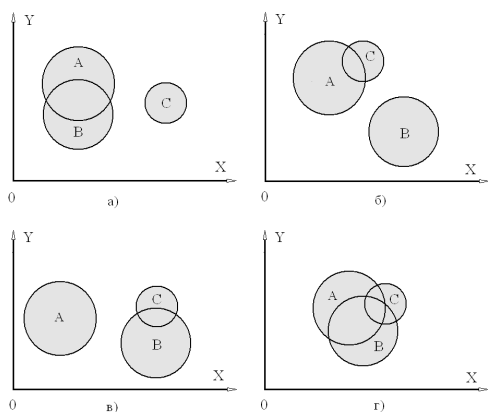


Рис. 8. Схема взаимного перекрытия множеств для двухуровневых (а, б, в) и одноуровневой (г) систем.

стве структурных уровней рассматриваемой транспортной системы. На рис. 4 уже было показано возможное расположение не перекрывающихся множеств А, В и С, подтверждающих наличие у межрегиональной транспортной системы трех уровней. При этом оговаривались условия, когда количество уровней сокращается до одного.

На рис. 8а, 8б, 8в демонстрируются возможные варианты взаимного расположения множеств, области которых частично перекрываются. Причем в этом случае возникает ситуация, позволяющая судить о наличии структурных особенностей у рассматриваемых двухуровневых систем. Если же в анализируемой системе наблюдается перекрытие всех трех множеств (рис. 8г), то её структура оценивается далее как одноуровневая.

Стоит еще раз подчеркнуть, что определение числа структурных уровней межрегиональной транспортной системы — ответственный этап структурного анализа, а оптимизация функционирования такой системы должна осуществляться путем последовательного решения соответствующих этой цели задач на каждом установленном структурном уровне.

Поскольку процедура объединения множеств предусматривает определение структурных особенностей транспортной системы, анализ возможных вариантов такого объединения представляет практический интерес и имеет свои проекции.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДВУХУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ С ОБЪЕДИНЕННЫМ МНОЖЕСТВОМ ЭЛЕМЕНТОВ А И В

Если на плоскости YOX множества А и В перекрываются, то структурные особенности системы будут связаны с наличием объединенного множества А и В с соответствующим набором элементов $(a \& b)$, общее количество которых будет $i = N_A + N_B$. Тогда сама процедура объединения окажется сопряжена с включением в состав множества А и В элементов, принадлежавших ранее местному и региональному уровням, что будет сопровождаться формированием двухуровневой системы.

Так, наличие указанных особенностей у системы, показанной на рис. 9а, приводит к тому, что множеству элементов А и В реально соответствует объединенный кластер К0 с новыми границами и составляющими его элементами (рис. 9б).

ТЕ ЖЕ ОСОБЕННОСТИ С ОБЪЕДИНЕННЫМ МНОЖЕСТВОМ А И С

Если особенности функционирования транспортной системы (рис. 10а) позволяют объединить перекрывающиеся множества А и С с последующим образованием нового множества А и С, то схема такой двухуровневой системы будет иметь вид, показанный на рис. 10б.

Видно, что в этом случае отдельные элементы кластеров К1, К2 и К3 оказываются включенными в состав транспортного коридора с транзитным движением, при этом число структурных уровней такой системы будет равно двум. Подобного рода ситуации возникают, когда объемы транзитных грузопотоков вдоль коридоров невелики и в целом соизмеримы с объемами перевозок между отдельными элементами кластеров на местном уровне.

ТЕ ЖЕ ОСОБЕННОСТИ С ОБЪЕДИНЕННЫМ МНОЖЕСТВОМ ЭЛЕМЕНТОВ В И С

Предположим, что особенности функционирования транспортной системы обусловлены тем, что расстояния и объемы

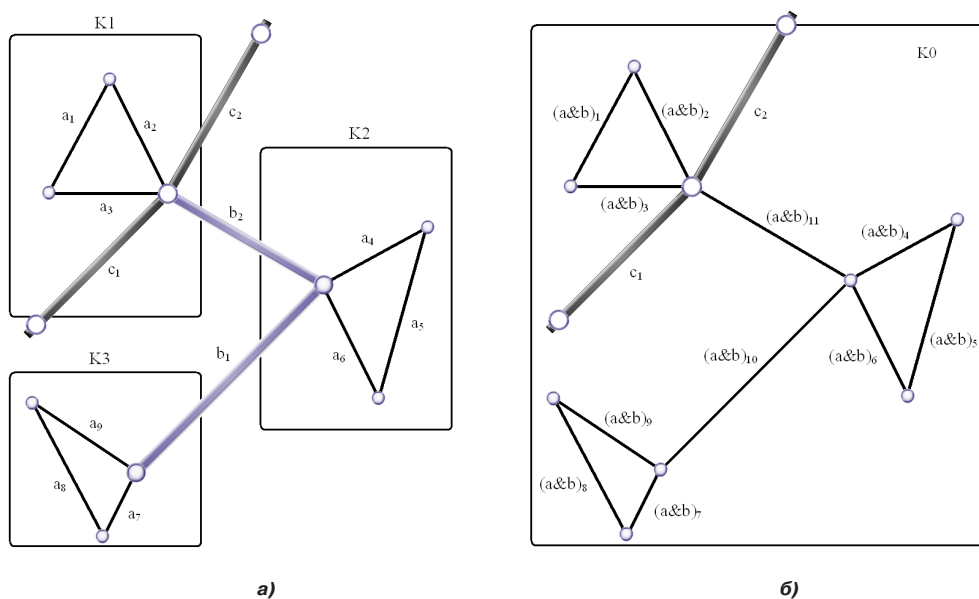


Рис. 9. Структурная схема транспортной системы до процедуры объединения кластеров K1, K2, K3 (а) и после их объединения в кластер K0 (б).

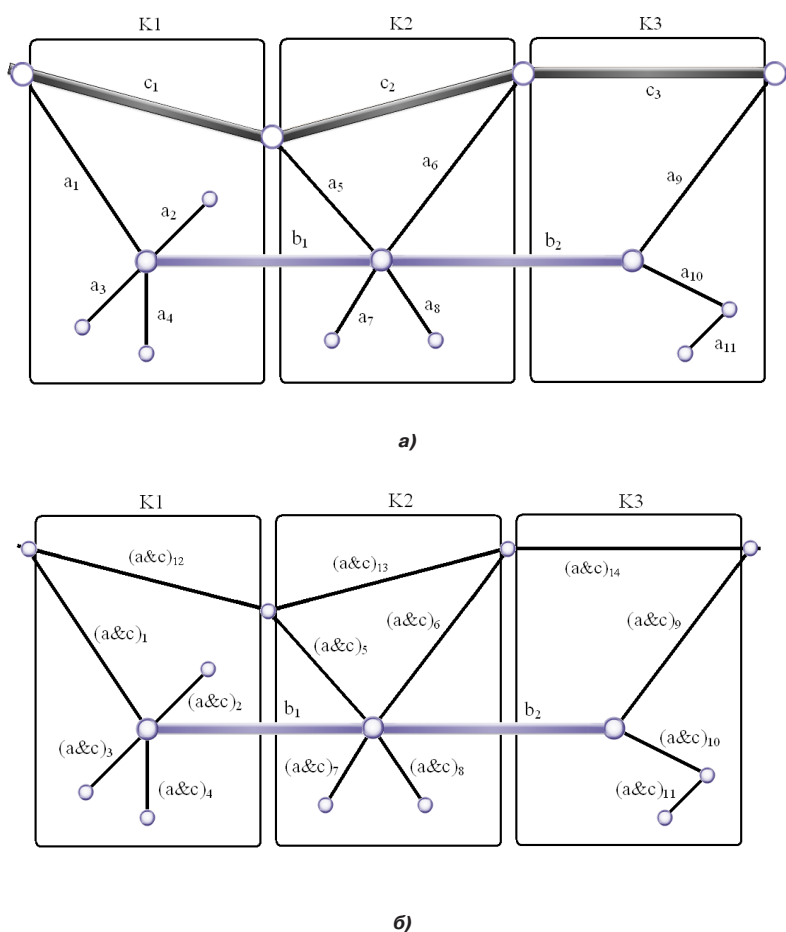


Рис. 10. Фрагмент двухуровневой транспортной системы до (а) и после (б) процедуры объединения множеств А и С.

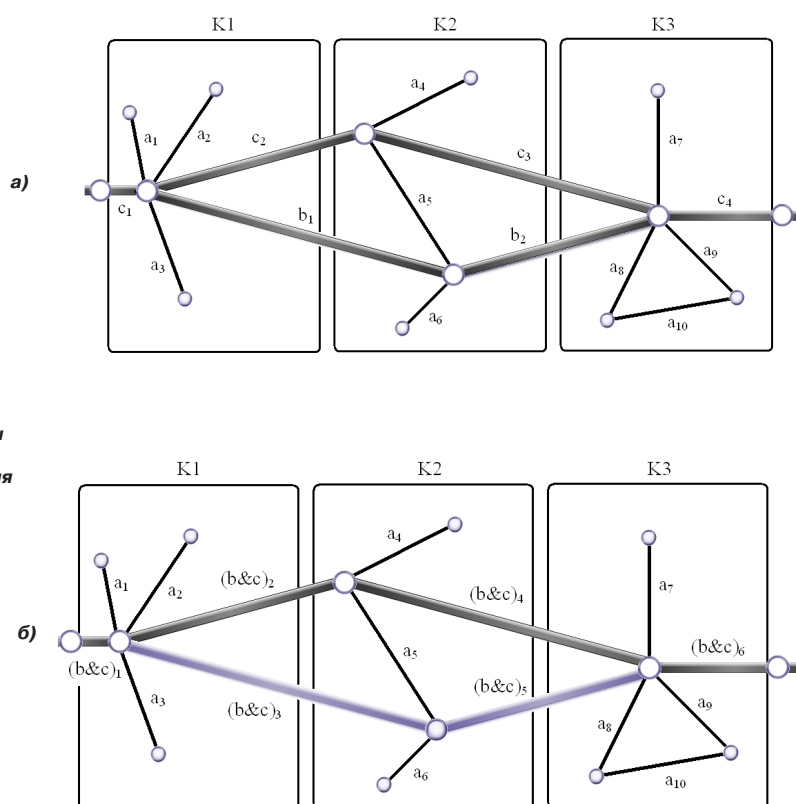


Рис. 11. Фрагмент двухуровневой транспортной системы до (а) и после (б) процедуры объединения множеств В и С.

грузовых перевозок между отдельными узлами на региональном и межрегиональном уровнях близки между собой. Тогда процедура объединения множеств В и С приводит к тому, что участки, соединяющие между собой транспортные узлы отдельных кластеров, определяют одновременно и положение транспортного коридора для прохождения транзитных потоков (рис. 11). В этом случае анализируемая система также будет двухуровневой, а оптимизацию её функционирования следует выполнять последовательно, сначала на уровне кластеров, а затем на региональном и межрегиональном уровнях.

Таким образом, особенности функционирования межрегиональных транспортных систем обусловлены, с одной стороны, их сетевой структурой, а с другой — связаны с объемами осуществляемых грузовых перевозок.

ВЫВОДЫ

Разработанный метод анализа структуры и свойств межрегиональных транспортных систем основан на определении количественного состава структурных уровней с учетом особенностей взаимодействия отдельных системных элементов. Результаты структурного анализа создают предпосылки к решению задач оптимизации функционирования многоуровневых транспортных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаренко В. М., Назаренко К. С. Транспортное обеспечение внешнеэкономической деятельности. — М.: Центр экономики и маркетинга, 2000. — 512 с.
2. Троицкая Н. А. Транспортные коридоры России для международного сообщения. — М.: АСМАП, 2000. — 174 с.
3. Сергеев В. И. Формирование региональной транспортной логистической системы «Северо-Запад» // Терминал. — 1997. — № 6. — С. 24-26.
4. Мультимодальные транспортные коридоры (системный подход) / В. И. Галахов, Б. А. Лёвин, В. Н. Морозов, В. В. Шашкин. — М.: Транспорт, 2001. — 71 с.

Координаты автора: **Тарарычкин И. А.** — donbass_888@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 13.01.2015, принята к публикации 24.04.2015.

ABSTRACT

A method for analyzing the properties of inter-regional transport systems is developed, based on determining the quantitative composition of required

structural levels. It is proposed to conduct optimization of functioning of such systems consistently at every set level and taking into account the peculiarities of interaction between individual elements.

Keywords: transport system, structure, cluster, junction, freight traffic, transit.

Background. Production tides of business entities within the boundaries of certain territories are carried out on the basis of existing and developing transport systems of various levels of complexity and purpose. Systems to solve traffic problems at the local level in the process of natural development are united at the regional level, which creates prerequisites for further development of regions [1, 2].

In addition, the formation of transport systems is carried out with account of transit traffic routes, which requires making appropriate administrative decisions related to ensuring the effective functioning of complex multi-level systems [3, 4].

However, it must be noted that attempts to optimize the functioning of multi-level systems do not give the desired result. And this is due to the complexity of their structural analysis as well as the lack of organization methods available for management practice.

From this point of view the actual task is primarily to develop a method of analyzing structure and characteristics of inter-regional transport systems, identifying composition and characteristics of individual structural layers to further optimize their operation.

Objective. The objective of the author is to consider structure and features of inter-regional transport systems, using the concept of structural levels.

Methods. The author uses general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, graph construction, simulation.

Results.

Clusters and interrelations

Inter-regional transport systems are usually formed by integrating network structures of local and

regional levels, taking into account the need for promotion of freight traffic along transport corridors.

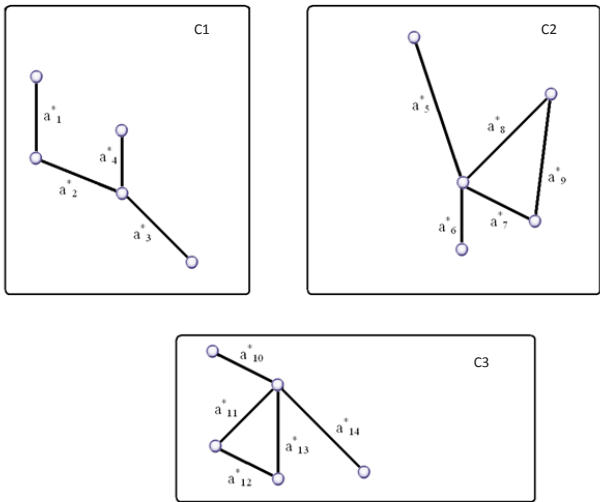
This means that the primary element of the system is a set of transport routes at the local level, the presence of which provides freight transportation between business entities within the boundaries of certain industrial clusters. Thus, Pic. 1 schematically shows an arrangement of three clusters. Each of them functions so that within its boundaries the bulk of transport operation is carried out during meeting the needs for cargo transportation between individual elements (points of the cluster).

That is, the local level of transport system is formed on the basis of clusters, each of which contains a group of manufacturing and storage facilities, interconnected via transport network to meet the needs for freight transportation. As structural elements of the network routes being used should be considered, hereinafter referred to a_i^* , where i is the integer index indicating the ordinal number of the element.

Then for shown in Pic. 1 fragment of the territory with three clusters, the total number of elements of the system at the local level will be fourteen, and the index i takes the values 1, 2, ... 14.

The totality of these elements a_i^* forms a set A^* , which characterizes the structure of the system at the local level.

Since the process of functioning of the transport system is connected with the necessity of interaction of individual components, then these clusters C1, C2 and C3 must be connected by transport routes in a proper way, such as shown in Pic. 2.



Pic. 1. Fragment of the territory in which there are three industrial clusters, each of which comprises enterprises connected with each other by transport routes.

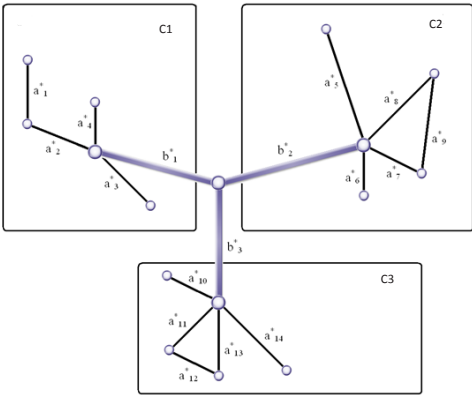


Table 1

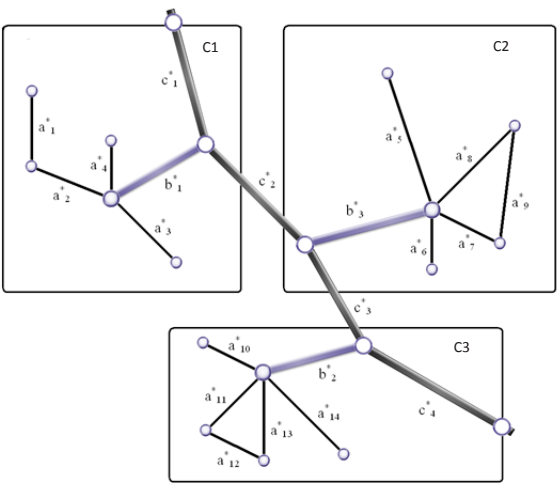
Coordinates of elements of the set A

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x_i	0,7	0,625	0,675	0,775	0,55	0,6	0,65	0,725	0,7	0,75	0,625	0,675
y_i	0,4	0,375	0,375	0,375	0,35	0,35	0,35	0,325	0,3	0,3	0,275	0,275

i	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
x_i	0,5	0,525	0,575	0,6	0,475	0,525	0,5	0,55	0,5	0,575	0,525
y_i	0,25	0,225	0,225	0,2	0,175	0,175	0,15	0,15	0,5	0,475	0,55



Pic. 2. Fragment of the territory, in which three industrial clusters are linked by a common transport network.



Pic. 3. Fragment of three-level inter-regional transport system.

Transport routes b_1^* , b_2^* and b_3^* , designed to form regional level of the system, form a set of elements B^* and provide the delivery of goods in the interaction of enterprises located in various clusters.

In this case, formed on the basis of clusters C1, C2 and C3 transport system is a two-level system, and it comprises 14 elements of the local level (a_1^* , a_2^* , ..., a_{14}^*), and three elements of the regional level (b_1^* , b_2^* , b_3^*).

If q is the volume of total freight traffic in two opposite directions, observed in the operation of the

element being analyzed for a predetermined time period, and l is actual length of the element (transport route), each of these elements of the system can be considered as a point with coordinates q [t / d] and l [km] on a plane qO_l .

If the fragment of the transport system should ensure the passage of transit cargo flows, the character of connection of clusters may be different, taking into account the need to form inter-regional level and relevant corridor, providing transit traffic.

Thus, Pic. 3 shows a fragment of a three-level interregional transport system, which except for the elements a_i^* ($i = 1, 2, \dots, N_A$) and b_i^* ($i = 1, 2, \dots, N_B$)

Table 2

Coordinates of the elements of the set A

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x_i	0,2	0,3	0,275	0,325	0,25	0,35	0,225	0,275	0,325	0,2	0,25	0,3
y_i	0,8	0,8	0,775	0,775	0,75	0,75	0,725	0,725	0,725	0,7	0,7	0,7

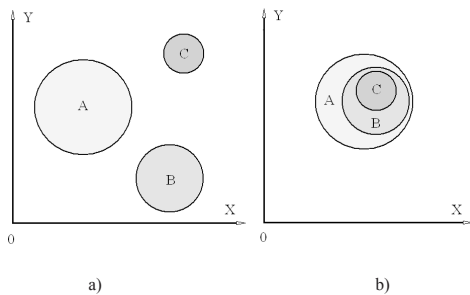
i	13	14	15	16	17	18
x_i	0,35	0,225	0,3	0,25	0,175	0,3
y_i	0,7	0,675	0,675	0,65	0,625	0,6

Table 3

Coordinates of the elements of the set A

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x_i	0,55	0,575	0,65	0,625	0,6	0,675	0,7	0,775	0,725	0,75	0,75	0,85
y_i	0,975	0,975	0,95	0,925	0,9	0,925	0,9	0,875	0,825	0,825	0,8	0,8

i	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i	0,825	0,8	0,875	0,9	0,95	0,875	0,95	0,95
y_i	0,775	0,75	0,725	0,65	0,65	0,625	0,6	0,55



Pic. 4. Scheme of possible location of sets A, B and C in the case of a three-level (a) and single-level (b) transport systems.

contains in its structure elements c_i^* ($i = 1, 2, \dots, N_c$) forming a set C^* and providing an opportunity to the functioning of the transport corridor.

Thus, in general, inter-regional transport system is characterized by the presence of interrelated elements a_i^* , b_i^* and c_i^* , determining the properties of the system at local, regional and interregional levels.

Determination of the number of levels

The characteristic of each element of the system is the total value of the observed traffic flow q and the length of the route l . This means that the set of all elements of the transport system can be described using the following sets of characteristics:

$$\begin{cases} a_i^* (l_i^{A^*}, q_i^{A^*}) & (i=1, 2, \dots, N_A) \\ b_i^* (l_i^{B^*}, q_i^{B^*}) & (i=1, 2, \dots, N_B) \\ c_i^* (l_i^{C^*}, q_i^{C^*}) & (i=1, 2, \dots, N_C). \end{cases}$$

Let's $l_{\max}$ is a maximum length of the transport route among all the elements $l_i^{A^*}$, $l_i^{B^*}$, $l_i^{C^*}$;

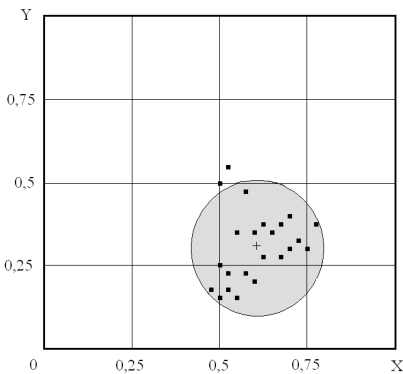
$l_{\min}$ is a minimum length of the route;

$q_{\max}$ is a maximum value of freight traffic among all the elements $q_i^{A^*}$, $q_i^{B^*}$, $q_i^{C^*}$;

$q_{\min}$ is a minimum value of freight traffic.

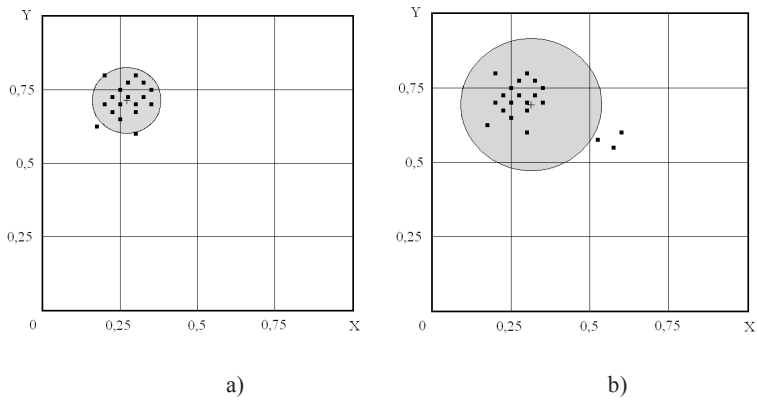
Let's convert coordinates of individual elements in accordance with the following dependencies:

$$\begin{cases} x_i^A = \frac{l_i^{A^*} - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \\ y_i^A = \frac{q_i^{A^*} - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}}; \\ x_i^B = \frac{l_i^{B^*} - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \\ y_i^B = \frac{q_i^{B^*} - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}}; \end{cases}$$

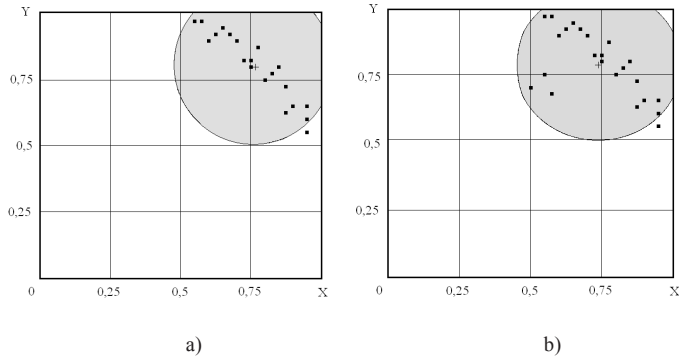


Pic. 5. Position on the plane YOX of elements of the set A and the corresponding circle of diameter D_A centered at S_A .

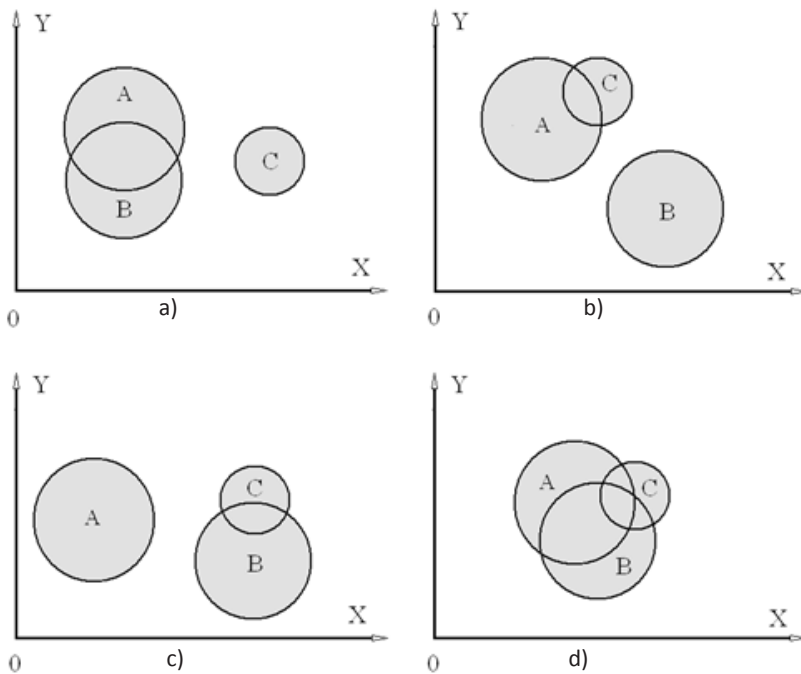




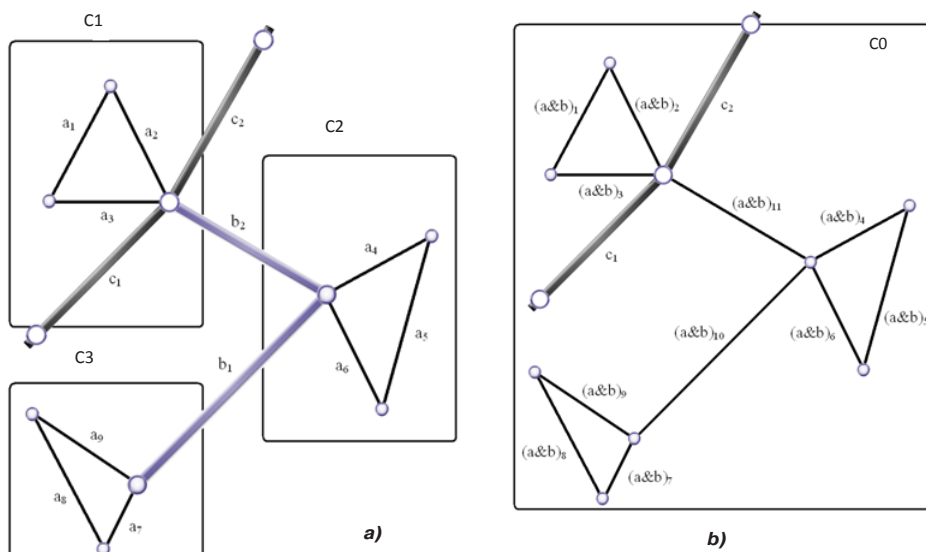
Pic. 6. Location on the plane YOX of elements a_i and circle of the diameter D_A for sets containing 18 points (a) and 21 points (b).



Pic. 7. The sets of points on the plane YOX , consisting of twenty (a) and twenty-three elements (b).



Pic. 8. Scheme of mutual overlapping of sets for two-level (a, b, c) and single-level (d) systems.



Pic. 9. The block diagram of the transport system prior to a procedure of combining clusters C1, C2, C3 (a) and after their combining into a cluster C0 (b).

$$\begin{cases} x_i^C = \frac{l_i^{C*} - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \\ y_i^C = \frac{q_i^{C*} - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}} \end{cases}$$

Then converted elements $a_i(x_i^A, y_i^A)$ may be regarded as belonging to some set A and elements $b_i(x_i^B, y_i^B)$ – as belonging to set B. Likewise, the set C

will contain a set of elements $c_i(x_i^C, y_i^C)$. The converted elements a_i, b_i, c_i with dimensionless coordinates form on the plane YOX three sets A, B and C, fully characterizing the composition and properties of the analyzed transport system. Using obtained as a result of transformations of the system elements with dimensionless characteristics simplifies further analysis and determination of the number of levels of transport systems.

If obtained as a result of transformations elements a_i, b_i and c_i form on the plane YOX three non-overlapping sets, which can be visually differentiated, then the system is considered further as three-level (Pic. 4a).

If individual elements are located so that to split sets A, B and C is difficult or not possible, the analyzed system is a single-level (Pic. 4b).

Thus, the procedure for determining the number of structural levels of the system and constituent elements of these levels is associated with the need to develop algorithm for estimation of mutual location of sets A, B and C on the plane YOX.

Union of sets

In the future, under the diameter D_A of the set A we mean the largest Euclidean distance between its elements, as well as we determine the center of the set as a centroid, what would be the point S_A on the plane YOX with coordinates:

$$\bar{x}_A = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} x_i^A}{N_A}; \quad \bar{y}_A = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} y_i^A}{N_A}.$$

Suppose that the set A consists of 23 elements, the coordinates of which are presented in Table 1. The position of the circle of the diameter D_A centered at S_A for considered data system is shown in Pic. 5.

It can be seen that when using the algorithm for determination of boundaries of the set several points may be located on the plane outside the diameter D_A .

Let's consider now as an example a set A consisting of 18 points on the plane (Pic. 6a).

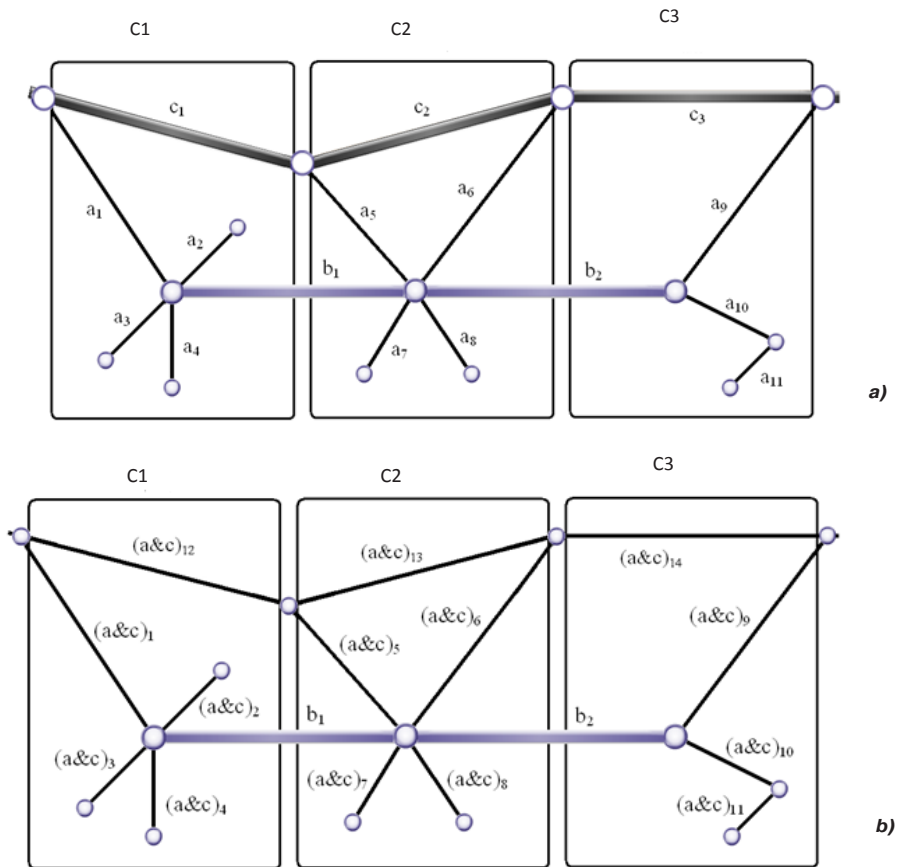
The coordinates of the elements constituting this set are shown in Table 2. If in the composition of the set three points are added with coordinates $a_{19}(0, 6; 0, 6)$, $a_{20}(0, 525; 0, 575)$, $a_{21}(0, 575; 0, 55)$, then the diameter D_A will increase by almost twice, and centroid S_A will shift towards added group of points (Pic. 6b). At the same time all the points of the added group are outside the region bounded by a circle with a diameter D_A .

If added points are considered as «outliers» because of the remoteness from the basic structure of the set A, then we must conclude that their introduction into the set is not necessarily accompanied by an increase in the diameter D_A .

Let's consider now the set A (Pic. 7a) consisting of 20 elements, the coordinates of which are given in Table 3.

If the composition of such a group includes an additional group of three points with coordinates $a_{21}(0, 55; 0, 75)$, $a_{22}(0, 5; 0, 7)$ and $a_{23}(0, 575; 0, 675)$, then the diameter D_A of the set will not change, and centroid S_A will slightly shift towards additional groups of points (Pic. 7b).

Hence, there is reason to assume that to determine the position and boundaries of set on the plane



Pic. 10. Fragment of two-level transport system before (a) and after (b) combining the sets A and C.

YOX the use of characteristics such as $S_A(\bar{x}_A, \bar{y}_A)$ and D_A is possible and appropriate from a practical point of view.

Evaluation of mutual arrangement of several sets on the plane and characterizing this location of areas, limited by the diameters D_A , D_B and D_C for corresponding sets A, B and C, allows to conclude on the number of structural levels of the considered transport system. Pic. 4 has already shown possible arrangement of not overlapping sets A, B and C, confirming the presence of three levels of inter-regional transport system. This specifies the conditions when the number of levels reduces to one.

Pic. 8a, 8b, 8c show possible options of mutual position of the sets, the areas of which overlap partially. And in this case there is a situation that allows to judge on the presence of structural features of considered two-level systems. If in the system under analysis overlapping of all three sets is observed (Pic. 8d), its structure is evaluated further as one level.

It is necessary to stress once again that the definition of the number of structural levels of inter-regional transport system is an important stage of structural analysis and optimization of functioning of such a system should be carried out by successive solution of tasks relevant to this purpose at each established structural level.

Since the procedure of uniting sets involves determining structural features of the transport system,

the analysis of possible options for such a union is of practical interest and has its own projections.

Structural features of two-level systems with a united set of elements A and B

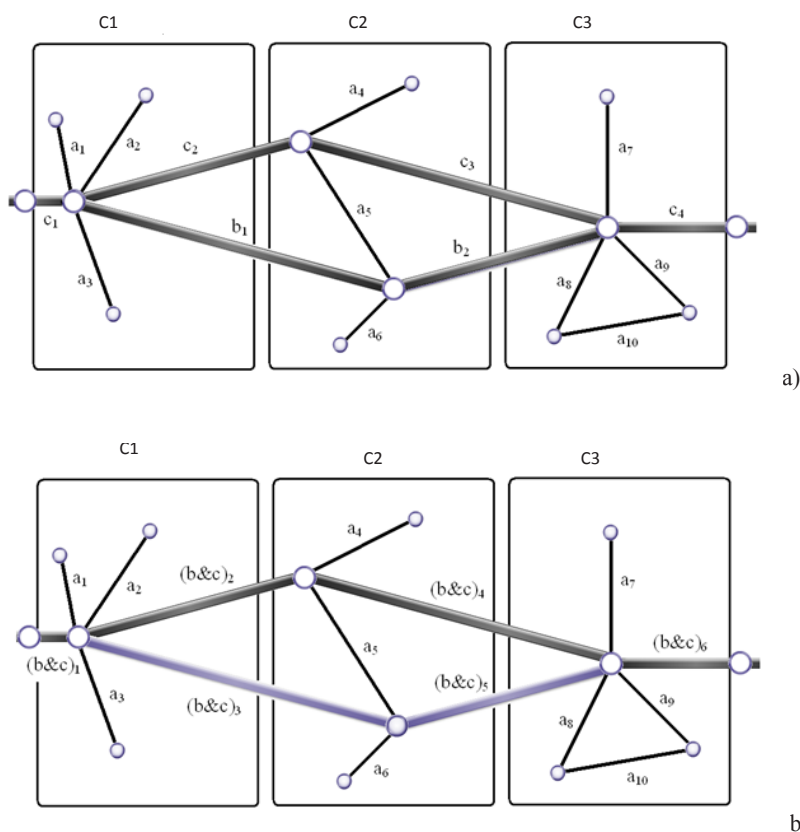
If on the plane YOX the sets A and B overlap, then structural features of the system will be associated with the presence of united sets A and B, with a corresponding set of elements $(a \& b)_i$, the total number of which is $i = N_A + N_B$. Then the procedure of uniting will be interfaced with the inclusion in the sets A and B of elements, formerly belonging to local and regional levels, which will be followed by the formation of a two-level system.

Thus, the presence of these features in the system, shown in Pic. 9a, leads to the fact that the set A and B actually correspond to the combined cluster C0 with new boundaries and its components (Pic. 9b).

The same features with united set A and C

If the features of the functioning of the transport system (Pic. 10a) allow combining overlapping sets A and C, followed by the formation of a new set A and C, the scheme of such a two-level system will have a form shown in Pic. 10b.

It is evident that in this case individual elements of clusters C1, C2 and C3 are included in the transport corridor with transit traffic, the number of structural levels of this system will be equal to two. Such situations occur when the volume of transit traffic along the corridors are small and generally commensurate with the volume of traffic between individual elements of clusters at the local level.



Pic. 11. Fragment of two-level transport system before (a) and after (b) combining the sets B and C.

The same features with united set of elements B and C

Assume that the features of functioning of the transport system are due to the fact that the distance and the volume of freight transportation between individual junctions at the regional and interregional levels close to each other. Then the procedure of uniting the sets B and C leads to the fact that sections interconnecting the transport junctions of individual clusters, determine simultaneously the position of the transport corridor for transit flows (Pic. 11). In this case, the system under analysis will also be two-level, and optimization of its functioning should be carried out in sequence, first at the cluster level, and then at regional and interregional levels.

Thus, features of the functioning of inter-regional transport systems are due, on the one hand, to their network structure, and on the other hand they are associated with the volume of freight traffic carried.

Conclusions. The developed method of analysis of the structure and properties of inter-regional transport systems is based on determining the number of structural levels, taking into account peculiarities of

the interaction of individual system elements. The results of the structural analysis create preconditions for solution of the task to optimize functioning of multi-level transport systems.

REFERENCES

1. Nazarenko, V. M., Nazarenko, K. S. Transport support of foreign economic activity [*Transportnoe obespechenie vneshneekonomicheskoy deyatel'nosti*]. Moscow, Center for Economics and Marketing, 2000, 512 p.
2. Troitskaya, N. A. Russian transport corridors for international communication [*Transportnye koridory Rossii dlya mezhdunarodnogo soobshheniya*]. Moscow, ASMAP publ., 2000, 174 p.
3. Sergeev, V. I. Formation of regional transport logistics system «North-West» [*Formirovanie regional'noj transportnoj logisticheskoy sistemy «Severo-Zapad»*]. Terminal, 1997, Iss. 6, pp. 24–26.
4. Galakhov, V. I., Lievin, B. A., Morozov, V. N., Shashkin, V. V. Multimodal transport corridors (system approach) [*Mul'timodal'nye transportnye koridory (sistemnyj podhod)*]. Moscow, Transport publ., 2001, 71 p.

Information about the author:

Tararychkin, Igor A. – D.Sc. (Eng.), professor at the department of Transport systems of East-Ukrainian National University n.a. V. Dahl, Lugansk, Ukraine, donbass_888@mail.ru.

Article received 13.01.2015, accepted 24.04.2015.