



Планирование развития дорожной сети на основе кластерного анализа



Константин КОМАРОВ
Constantine L. KOMAROV

Валерия ЗЫКОВА
Valeria Yu. ZYKOVA



Мария КУЗЬМИЦКАЯ
Maria A. KUZMITSKAYA

Комаров Константин Леонидович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системный анализ и управление проектами» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), Новосибирск, Россия. Зыкова Валерия Юрьевна — аспирант СГУПС, Новосибирск, Россия. Кузьмицкая Мария Андреевна — аспирант СГУПС, Новосибирск, Россия.

Объектом исследования является сложившаяся и перспективная дорожная сеть районов, входящих в состав Новосибирской агломерации. Методом кластерного анализа обеспечена объективная оценка дорожно-строительных объектов, их социально-экономической востребованности применительно к местным условиям и возможностям, предложена программа автоматизированного расчета устойчивых кластеров. В рамках планирования развития транспортных систем региона разработаны подходы к обоснованию очередности строительства автомобильных дорог и дорожных сооружений общего пользования регионального и межмуниципального значения с учетом общественно значимых экономических эффектов.

Ключевые слова: транспорт, регион, кластерный анализ, иерархический кластерный анализ, автомобильные дороги, дорожно-транспортная сеть, планирование развития.

Слабая развитость дорожной сети сдерживает развитие экономики российских регионов. В целом дороги вместе с используемыми транспортными средствами приносят своим территориям значительную экономическую и социальную выгоду. Опыт многих стран показывает, как, в частности, сельские дороги выполняют роль катализатора в сельскохозяйственном развитии регионов, а допустим, китайская практика прекрасно подтверждает зависимости внутри-агломерационных экономических результатов от уровня имеющегося транспортного потенциала. Между тем, до сих пор около тридцати девяти тысяч населенных пунктов в РФ лишены надежных дорожных связей с районными центрами. В результате жители не получают полноценную медицинскую помощь и другие социальные услуги. При этом, естественно, неразвитость автомобильных дорог увеличивает размеры упущенной экономической выгоды сельхозтоваропроизводителей и снижает инвестиционную активность в регионах.

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

Ежегодно при разработке и утверждении бюджета Новосибирской области, как



Рис. 1.
Новосибирская
агломерация.

и других субъектов федерации, особое внимание уделяется статьям «Дорожный фонд» или «Дорожное строительство». Это объясняется общей слабой обеспеченностью автомобильными дорогами территории страны (в области она — 56,5 км на 1000 км²).

На данный момент в строительство новых дорог, их содержание, а также разработку связанных с этим современных технологий для улучшения ситуации в регионе необходимо ежегодно вкладывать не менее 30 миллиардов рублей. В 2012 году на ремонт и строительство автомобильных дорог в области было потрачено 10,3 миллиарда рублей, а в 2013 году — почти 12 миллиардов. Однако насколько эффективна отдача от вложений и каким образом оптимизировать затрачиваемые усилия — здесь не все столь ясно и определено.

План реконструкции и строительства автодорог и дорожных сооружений составляется, как правило, на основе профессионального опыта и политической целесообразности. При этом зачастую ожидаемые эффекты, в том числе социальные, от строительства новых дорожных комплексов не достигаются.

Поскольку каждый район и каждое поселение имеют свои интересы и соответствующие предложения, которые чаще

всего не укладываются в объемы утвержденных статей бюджета, актуальной для сохранения приемлемого баланса местных и общерегиональных потребностей становится разработка рекомендаций по планированию и очередности строительства автомобильных дорог и дорожных сооружений областного и межмуниципального значения. Эта задача решалась в ходе нашего исследования на примере районов, входящих в состав Новосибирской агломерации, на базе кластерного анализа и объективной оценки социальной эффективности каждого проекта:

1) Проанализированы существующие дорожно-транспортные сети (ДТС) (рис. 1).

2) Использован кластерный подход к планированию развития дорожно-транспортной сети для разных условий и возможностей.

3) Разработана программа автоматизированного расчета устойчивых кластеров как районов с повышением транспортной доступности для жителей, проживающих в местности, выделенной соответствующим кластером.

4) Предложен метод расчета социальной эффективности реализуемых объектов с учетом количества жителей, улучшающих условия транспортной доступности, на единицу инвестиций.





	Седовозаимка	Бибиха	Зелёный мыс	Кубовая	Сосновка (Новосибирск)	Степной	Красный яр (Новосибирск)	Ломовская дача	Мочище	Воробьёвский	Кудряшёвский	Приобский
Седовозаимка	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Бибиха	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Зелёный мыс	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Кубовая	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Сосновка (Новосибирск)	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
Степной	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
Красный яр (Новосибирск)	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Ломовская дача	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
Мочище	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Воробьёвский	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Кудряшёвский	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Приобский	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Рис. 2. Фрагмент матрицы взаимодействия населенных пунктов Новосибирского района.

Кластерный анализ — совокупность математических методов, предназначенных для формирования относительно «отдаленных» друг от друга групп «близких» между собой объектов по информации о расстояниях или связях (мерах близости) между ними [2]. В нашем случае это группы населенных пунктов (ДТС), наиболее активно участвующие в транспортном взаимодействии.

Методы кластерного анализа позволяют проводить классификацию объектов с учетом признаков, отражающих сущность, природу объектов; проверять выдвигаемые предположения о наличии некоторой структуры в изучаемой совокупности объектов; выстраивать новые классификации для слабоизученных явлений, когда необходимо установить наличие связей, в данном случае транспортных, внутри совокупности населенных пунктов [1].

ФОРМАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДТС

В качестве исходных данных, взятых за основу, использованы утвержденный перечень объектов строительства автомобильных дорог и дорожных сооружений регионального и межмуниципального значения и административная карта Новосибирской области (масштаб 1:600000).

Административная карта отражает схему районов и дорожно-транспортной сети, а также графическую информацию по рассматриваемой проблеме. На этапе формализации исходных данных ДТС была представлена упрощенной системой узлов (населенных пунктов) и связей между ними

в виде федеральных трасс, проезжих частей дорог, магистралей, мостов и так далее.

Дорожно-транспортная сеть районов, входящих в состав агломерации, включает 411 существующих узлов.

На следующем этапе формализации исходных данных авторами получены бинарные матрицы для каждого района, являющиеся матрицами взаимодействия населенных пунктов ДТС. При их составлении соблюдались следующие принципы:

- число строк равно числу столбцов и, соответственно, числу узлов ДТС;
- пересечение узла «с самим собой» принимается равным «1»;
- наличие прямой связи между i и j узлами подразумевает «1» на пересечении i -столбца с j -строкой;
- отсутствие прямой связи между узлами подразумевает «0» (рис. 2).

Далее, при переходе к ситуации, связанной с введением в эксплуатацию новых автомобильных дорог или дорожных сооружений, ДТС видоизменяется:

- добавляется соответствующее число связей, возникающих с появлением той или иной дороги или сооружения (графически это отражается изменением расположения кластера);
- нейтрализуются существующие связи между узлами, если при появлении автодороги или нового сооружения образовался узел между двумя уже существовавшими ранее.

Построение матриц вслед за вносимыми в таблицу смежности изменениями, ведется от исходной матрицы посредством:

- изменения количественных параметров (размерности матриц);
- изменения качественной (содержательной) составляющей, отражающей свойства структуры новой матрицы по отношению к исходному содержанию.

Таким образом, рассмотренный процесс формального представления дорожно-транспортной сети районов, входящих в агломерацию и бинарные матрицы смежности ДТС позволяют получить все необходимые исходные данные для анализа проблемы.

ФОРМАЛЬНЫЙ АППАРАТ АНАЛИЗА

В качестве формального аппарата был выбран метод кластерного анализа по следующим мотивам:

1) Возможность обработки больших баз данных с помощью программного комплекса.

2) Естественное разбиение совокупности ДТС на области скопления объектов (кластеров).

3) Представление исходных данных в виде матрицы смежности.

4) Получение возможности анализировать группы данных и делать самостоятельные выводы в зависимости от поставленной задачи.

До сих пор отсутствуют какие-либо общепризнанные методики идентификации кластеров, тем не менее, в последнее время кластерный анализ получил достаточное признание [4], и нет оснований сомневаться в его действенности.

ПРОГРАММНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

В качестве статистического пакета для проведения необходимого анализа был выбран вариант для социальных наук — Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

Основным достоинством этого программного комплекса является то обстоятельство, что он удачно сочетается с большим количеством средств визуализации результатов обработки.

Для того чтобы выделить истинные кластеры, надо проанализировать полученные данные на «устойчивость», тем самым выявив локальные транспортные кластеры, предрасположенные к объединению в цельный кластер ранее других.

Исходными для программы SPSS в нашем случае стали матрицы смежности графа дорожно-транспортной сети районов, входящих в состав агломерации, в формате MS Excel.

В результате обработки каждой из матриц программой SPSS получены таблицы принадлежности отдельных населенных пунктов к различным кластерам (Cluster Membership).

Особенностью исследования стало то, что оценивалось «поведение» узлов в постоянно уменьшающемся числе кластеров от десяти до двух. Таким образом, из таблиц принадлежности видно, что одно и то же количество узлов, изначально разделенное на десять кластеров, поэтапно объединя-

ясь, приходит к двум крупным кластерам. В ходе разрушения исходных кластеров по мере развития ДТС частично образуются новые — укрупненные.

Диаграммы устойчивости кластеров (таблица 1) позволяют определить «жизненные циклы» каждой из первоначальной совокупности узлов до их укрупнения, выделяя таким образом наиболее устойчивые. Для наглядности каждому кластеру присвоен порядковый номер от одного до десяти. «Жизненные циклы» соответственно составляют от одного (наименее устойчивый) до десяти (наиболее устойчивый) этапов. С правой стороны диаграммы имеются четыре дополнительных столбца:

- «Выносятся на график»;
- «Число узлов в кластере (1)»;
- «Число узлов в кластере (2)»;
- «№№ узлов, входящих в кластер».

Первый столбец показывает наиболее устойчивые кластеры (в порядке возрастания устойчивости от пяти до одного) и их порядковые номера (по номеру строки), которые выносятся на схему ДТС.

Столбец «Число узлов в кластере (1)» характеризует общее число узлов в каждом кластере (при разбивке на десять кластеров) — в частности, суммированием по столбцу выполняется проверка (число узлов в диаграмме должно совпадать с числом строк и столбцов в матрице).

Столбец «Число узлов в кластере (2)» отражает число узлов в кластерах, отображенных по критерию устойчивости и вынесенных на схему, а суммированием числа узлов по данному столбцу получаем первичный критерий оценки очередности строительства автомобильных дорог в районах Новосибирской агломерации. Имеется в виду охват определенных населенных пунктов наиболее устойчивыми кластерами. Именно по этому критерию производится первичная оценка и сравнение конкурирующих вариантов. Предпочтительной с точки зрения данной методики является та автодорога, при которой пять наиболее устойчивых кластеров охватывают наибольшее число узлов (населенных пунктов).

Четвертый столбец «№№ узлов, входящих в кластер» помогает выявить и нанести на схему кластеры по номерам узлов, входящих в него.



Пример диаграммы устойчивости кластеров ДТС Новосибирского района

10	9	8	7	6	5	4	3	2	Выносятся на график	Число узлов в кластере (1)	Число узлов в кластере (2)	№№ узлов, входящих в кластер
1	1	*9								35		
2	2	2	2	2	2	*1			3	4	4	5,6,8,40
3	3	3	3	3	*1				4	4	4	7,9,41,42
4	*5									4		
5	*4									4		
6	6	6	*1							5		
7	7	7	7	*1					5	6	6	43,44,61,62,64,65
8	8	8	8	8	8	8	8	8	1	1	1	47
9	9	*1								3		
10	10	10	10	10	10	10	*1		2	5	5	58,59,60,63,66
Итого охват										71	20	

Таким образом, программно-аналитический комплекс SPSS позволяет обработать исходные данные методом иерархического кластерного анализа и интерпретировать полученные результаты в виде выводов для первичной оценки очередности строительства автомобильных дорог регионального и межмуниципального значения.

ОБОСНОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОСТИ

На основе анализа полученных диаграмм устойчивости были выявлены пять наиболее устойчивых кластеров по графу каждого из районов. После чего получена количественная первичная оценка очередности строительства автодорог и дорожных сооружений по принципу максимальной устойчивости системы.

В Новосибирском районе согласно перспективному плану строительства проанализирована эффективность четырех объектов:

1. Подъездные дороги к промышленно-логистическому парку (ПЛП).

2. Автомагистраль Барышево—Орловка—Кольцово, располагающая автодорожным тоннелем, совмещенным с железной дорогой.

3. Транспортная развязка и подъездные пути к выставочному комплексу «Сибирь Экспоцентр».

4. Автомобильная дорога от с. Криводановка до Северного обхода г. Новосибирска.

На основании проведенного анализа первичная эффективность автодорог подвергалась сравнительной оценке за счет количества охваченных узлов (населенных пунктов) пятью наиболее устойчивыми кластерами.

Чтобы определить оптимальную очередность плана реализации дорожно-строитель-

ных работ, авторами введен социальный коэффициент ($K_{соц}$).

С его участием оценивается социальная эффективность проектов на основе количества жителей, улучшающих условия транспортной доступности, и подушевого расхода инвестиций:

$$K_{соц} = K_{пр} / C \cdot 10^3, \quad (1)$$

где $K_{пр}$ — количество проживающих жителей в кластере (чел.); C — стоимость проекта (млн руб.).

Сообразно полученным данным разработана следующая очередность строительства в Новосибирском районе:

1) Подъездные автомобильные дороги к промышленно-логистическому парку.

2) Автодорога от с. Криводановка до Северного обхода г. Новосибирска.

3) Транспортная развязка и подъездные пути к выставочному комплексу «Сибирь Экспоцентр».

4) Проект автодороги «Барышево—Орловка—Кольцово с автодорожным тоннелем с железной дорогой».

В Искитимском районе согласно перспективному плану строительства автодорог и дорожных сооружений проанализирована эффективность четырех объектов:

1) Автомобильная дорога Гусельниково—Линево.

2) Мостовой переход через р. Каракан на 55-м км дороги Завьялово—Факел Революции.

3) Автодорога и мостовой переход через р. Ик на дороге Верх-Ики—Новососедово.

4) Автодорога Н-0809—Харино.

По итогам анализа первый кластер охватил 25 населенных пунктов, второй — 22, третий — 22, четвертый — 19.

Таблица 2

Показатели социальной эффективности объектов дорожного строительства
в Новосибирской агломерации в 2014 году

Районы, в которых реализуется проект	Название дорожно-строительного проекта	Стоимость проекта (млн руб.)	Количество проживающих жителей в кластере (млн чел.)	$K_{\text{соц}}$ (млн чел./млн руб.) · 10 ³	Рекомендуемая очередность плана реализации дорожно-строительных работ
Новосибирский район	А/д Барышево–Орловка–Кольцово с автодорожным тоннелем с железной дорогой	775	1,550030	2,00	4
	Подъездные автомобильные дороги в промышленно-логистическом парке Новосибирского района	187	1,526959	8,17	1
	Транспортная развязка и подъездные пути к выставочному комплексу «Сибирь Экспо-центр»	400	1,538621	3,85	3
	А/д от с. Криводановка до Северного обхода г. Новосибирска	285	1,530180	5,37	2
Искитимский район	А/д Гусельниково–Линёво	280	0,077552	0,28	4
	Мостовой переход ч/р Каракан на 55-м км дороги Завьялово–Факел Революции»	75	0,073705	0,98	2
	А/д и мостовой переход ч/р Ик на дороге Верх-Ики–Новососедово	70,639	0,073705	1,04	1
	А/д Н-0809 – Харино	95	0,074318	0,78	3
Ордынский район	Трасса 118-й км а/д К-17р – Камень-на-Оби на участке Кирза – граница Алтайского края	1531,153	0,027762	0,018	2
	Обход р. п. Ордынское	435	0,028725	0,066	1

На основании полученных данных в этом районе предлагается следующая очередность строительства:

- 1) Автодорога и мостовой переход через р. Ик.
- 2) Мостовой переход через р. Каракан.
- 3) Автодорога Н-0809–Харино.
- 4) Автодорога Гусельниково–Линево.

В Ордынском районе тем же методом проанализирована эффективность двух объектов строительства:

- 1) Трасса 118-й км автодороги К-17р – Камень-на-Оби на участке Кирза – граница Алтайского края;
- 2) Обход районного поселка Ордынское.

По итогам анализа к первому кластеру отнесен 21 населенный пункт, ко второму – 18.

Оценка полученной совокупности данных закрепила приоритет в очередности за обходной дорогой поселка Ордынское, а второму объекту придется подождать.

Расчетные показатели социальной эффективности объектов дорожного строительства в 2014 году представлены в таблице 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мнению авторов, подход, разработанный к рекомендациям по очередности строительства автомобильных дорог, и полученные в процессе кластерного анализа результаты могут служить подтверждением

объективности метода сравнения конкурирующих транспортных проектов и способствовать формализации процедур при подготовке комплексного управленческого решения.

Исходные данные для исследования предоставлены министерством транспорта Новосибирской области, а его результаты одобрены руководством ведомства и областной администрацией, депутатами Законодательного собрания субъекта федерации. И с этой точки зрения предложенные инструменты планирования и анализа можно считать прошедшими достаточно начальную адаптацию и проверку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лабодский В. В. Управление знаниями. – М.: Современная школа, 2006. – 392 с.
2. Новорожкина Л. И., Арженовский С. В. Многомерные статистические методы в экономике // Учебник. – М.: Дашков и К^о; Ростов н/Д: Наука-Спектр, 2007–224 с.
3. Сбитнев А. Е. Концептуальные проблемы определения общественной эффективности инвестиционных проектов в дорожном строительстве//Проблемы современной экономики. – 2011. – № 2. – С.280–283.
4. Пятаев М. В. Оценка эффективности формирования региональных транспортно-логистических кластеров (на примере Новосибирской области) / Дис... канд. экон. наук. – Новосибирск, 2010. – 179 с.
5. Мاستилин А. Е. Системообразующие элементы транспортной системы мегаполиса // Регион: экономика и социология. – 2008. – № 4. – С. 265–272. ●

