

## Алгоритм Дейкстры и теория графов, как подход к анализу сирийской региональной транспортной системы

*Алсус Мухаммад Махди*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва*

*Дамасский университет, Дамаск, Сирия*

**Аннотация:** Исходя из необходимости развития транспортной сети между регионами Сирии, для поддержки процесса развития, прежде всего, необходимо было оценить эффективность существующей сети, степень ее связности, централизацию ее узлов и эффективность доступа к ней, чтобы предложить новые оси транспорта и развития, повышающие эффективность транспортной сети. Сводные математические показатели предлагаемого решения приведены на основе теории графов и алгоритма Дейкстры, а также других показателей, в дополнение к работам Н.А. Ермошина и К.Л. Комарова, в которых подчеркивается приоритетность строительства автомобильных дорог и дорожных сооружений общего пользования регионального и межмуниципального значения с учетом социально значимого экономического эффекта. Полученные результаты подтвердили необходимость развития транспортного каркаса Сирии для повышения уровня связности между ее регионами.

**Ключевые слова:** региональное планирование, развитие, регион сирийской пустыни, региональная транспортная система, доступность, теория графов, алгоритм Дейкстры.

### Введение

Транспорт является центральным аспектом национальных и глобальных производственных систем, которые постоянно перестраивают мир, что делает его изучение темой, представляющей всеобщий интерес и имеющей важное значение. По мере усложнения общества и экономических организаций, актуальность транспорта возрастает.

Решение проблем развития дорожной сети чрезвычайно важно для повышения эффективности экономики Сирии, особенно, после начавшейся в 2011 году и до сих пор не законченной войны (The World Bank, The toll of war-the economic and social consequences of the conflict in syria, 2017).

Планирование наиболее эффективной дорожной сети, являющейся основой существования и развития единой транспортной системы страны,

требует разработки методологических подходов и научно обоснованных концепций дорожного строительства.

Кроме того, дороги, связывающие сирийский регион до войны, развиты слабо и не обеспечивают установленный в мире уровень организации удобства движения.

Разрабатываемые методические подходы и концепции должны решать вопросы развития дорожной сети в интересах экономики и использования транспортно-транзитного потенциала страны (Syrian ministry of foreign affairs&quot;. Archived from the original on 11May).

Развитию теории транспортных сетей посвящены исследования ученых РФ. В работах К.Л. Комаров, В.Ю. Зыкова и М.А. Кузьмицкая, рассмотрены вопросы использования методов кластерного анализа и теории графов для обеспечения объективной оценки объектов дорожного строительства, их социально-экономической значимости применительно к местным условиям и возможностям, а также предложена программа автоматизированного расчета устойчивых кластеров.

В рамках планирования развития транспортных систем региона разработаны подходы к обоснованию приоритетности строительства автомобильных дорог и дорожных сооружений общего пользования регионального значения с учетом социально значимых экономических эффектов [1].

В работах Н.А. Ермошин и Ю.Г. Лазарев было предложено использование математической модели построения сети автомобильных дорог с возможностью моделирования дальнейшего развития дорожной инфраструктуры регионов и транспортной системы в целом для эффективного решения социально-экономических задач государства.

А также дают возможность определить минимально необходимую сеть автомобильных дорог с учетом многокритериального подхода к

---

оборудованию ее контура и состава, пропускной способности, межремонтного срока службы, допустимых скоростей движения и других важных транспортно-эксплуатационных показателей [2].

Цель работы – проанализировать структуру существующей транспортной каркаса на основе теории графов, индекса Шамбла, показателей  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\mu$ , в дополнение к алгоритму Дейкстры, и оценить степень взаимосвязанности сирийских регионов, а также уровень коммуникации и доступности.

Существующая ситуация с транспортным каркасом, связывающим сирийские регионы, была рассмотрена в предыдущих исследованиях [3,4], каждый из которых подтвердил слабость структуры существующей транспортной сети и ее негативное влияние на городские центры, особенно, в пустынном регионе, а также слабость транспортных связей между регионами, где расположены добывающие предприятия, что приводит к увеличению стоимости перевозок и препятствует оптимальному инвестированию в развитие региона.

Для того, чтобы представить предложение по развитию транспортных каркаса и осей регионального развития, необходимо было оценить текущее состояние транспортного каркаса между регионами Сирии и оценить степень связанности и легкости доступа между ними, особенно, в пустынном регионе, применяя следующие показатели и математические модели:

Бета-индикатор  $\beta$ : бета-индикатор применяется при анализе степени корреляции, и показатель рассчитывается по следующему уравнению [5]:

$$\beta = e/v \quad (1)$$

где:  $v$  - количество узлов,  $e$  - количество маршрутов

Гамма-индекс  $\gamma$ : степень взаимосвязанности городской транспортной сети, в зависимости от гамма-индекса, измеряется [6]:

---

$$\gamma = e / (3(v-2)) * 100 \quad (2)$$

где:  $v$  - количество узлов,  $e$  - количество маршрутов

Альфа-индекс  $\alpha$ : измеряет взаимосвязь между количеством закрытых сетей, представленных в сегментах сети, и максимально возможным количеством подключений в сети, показатель может быть применен с помощью следующего уравнения [7]:

$$\alpha = (e - v + 1) / (2(v - 5)) * 100 \quad (3)$$

где:  $v$  - количество узлов,  $e$  - количество маршрутов.

Матрица кратчайшего пути; относится к количеству дуг, используемых в кратчайшем пути между всеми возможными парами узлов [8,9].

Используя топологическую карту, подсчитываем минимально возможное количество дуг, которые могут быть использованы от одного узла к другому. Полученное значение записывается в поле матрицы строки против столбца.

Итоговые данные по каждой строке были суммированы, и наименьшее общее количество указывает на город [10,11], который является наиболее доступным, в то время, как наибольшее число или общее количество означает наименее доступный.

Связанное число (AN) - это количество дуг, необходимых для соединения узла с самым удаленным от него узлом [10-12].

Это самое большое число в каждой строке. Наибольшее число среди всех номеров строки для каждого рассматриваемого города является ассоциированным номером.

Строка с наименьшим значением связанного номера указывает на наиболее доступный город, в то время, как строка с наибольшим значением указывает на наименее доступный.

Индекс Шимбея (SH) выделяет общее значение для каждой строки в таблице матрицы [11,12].

Он указывает количество дуг, необходимых для соединения любого узла со всеми другими узлами в сети по матрице кратчайшего пути. Номера каждой строки добавляются для каждого города.

Город, у которого наименьшее общее количество среди всех строк, является наиболее доступным, в то время как наибольшее общее количество среди всех строк является наименее доступным [13].

Для планирования наиболее подходящей транспортной сети для пустынного региона и повышения степени связи региона с соседними регионами Сирии были использованы математические модели, уравнения и алгоритмы, такие, как алгоритм Дейкстры и теории графов [14,15], которые определяют оптимальные и самые быстрые маршруты (дуги) для перемещения между городами (узлами) в транспортной сети.

Длина транспортных дорог была принята на минимальном уровне для простоты оценки [15].

Для определения узлов существующей сети осей транспорта и развития, были обозначены основные города, которые считаются столицами регионов Сирии, как показано в таблице 1.

Таблица № 1

Города, составляющие основную транспортную сеть

№	Город	Регион
1	Палмира	Пустынный регион
2	Хомс	Средний регион
3	Дамаск	Дамаск
4	Дараа	Южный регион
5	Букамал	Восточный регион
6	Дер Элзор	Восточный регион
7	Халаб	Северный регион
8	Латакия	Прибрежные регион

На рис. 1 было определено расположение исследуемых узлов, а также соединительные пути между ними и их длины, что также представлено в табл. 2. Длины осей были определены пропорционально друг другу, чтобы перейти к процессу оценки.

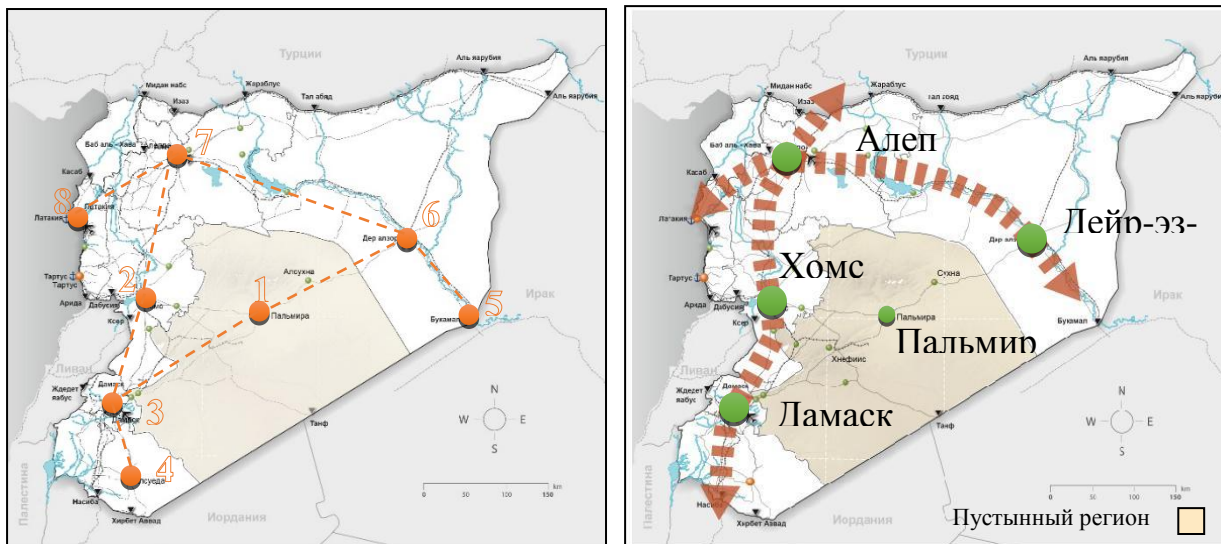


Рис.1. Главные города сирийских регионов (Перед предложением).  
 Схема автора.

Таблица № 2

Относительная длина оси

№ Ось	Отосительная длина оси
1-3	3
2-6	3
2-3	2
2-7	3
3-4	1
5-6	1
6-7	4
7-8	2

По формулам (1-3) вычслим:

Бета-индикатор  $\beta$ :

$$\beta = \frac{8}{8} = 1$$

Гамма-индекс  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{8}{3(8-2)} * 100 = 44.4\%$$

Альфа-индекс  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{8-8+1}{2(8-5)} * 100 = \%16.6$$

Расчет индексов  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\alpha$  показывает, что, в соответствии с индексом Бета, к каждому узлу вела 1 дорога, в то время, как Гамма указывала на коэффициент связности (44.4%), а альфа-индексы указывали на коэффициент связности (16.6%).

Язык программирования C++ был использован для написания программы применяется по программе Notepad++, которая вычисляет кратчайший путь на основе алгоритма Дейкстры, учитывая длины путей. Результаты представлены, в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3

Матрица кратчайших путей транспортных сетей

	Города	1	2	3	4	5	6	7	8	Итого	AN	SH
1	Пальмира	0	5	3	4	4	3	7	9	35	9	35
2	Хомс	5	0	2	3	8	7	3	5	33	8	33
3	Дамаск	3	2	0	1	7	6	5	7	31	7	31
4	Дараа	4	3	1	0	8	7	6	8	37	8	37
5	Букамал	4	8	7	8	0	1	5	7	40	8	40
6	Дер Элзор	3	7	6	7	1	0	4	6	34	7	34
7	Алеппо	7	3	5	6	5	4	0	2	32	7	32
8	Латакия	9	5	7	8	7	6	4	0	46	9	46

Соответствующее число (AN) также указывало, что г.Дамаск, г.Дейр-эз-Зор и г.Алеппо являются наиболее доступными городами со значением 7 каждый, в то время, как г. Латакия, г. Пальмира, были наименее доступными городами со значением 9 каждый.

Аналогичным образом, значение Шимбелла (SH) в таблице матрицы показало, что г. Дамаск был наиболее доступным городом со значением 31. Далее следуют г.Алеппо, г.Хомс, г.Пальмира, со значением 32-33-34, соответственно. В то же время, г. Букамал и г. Латакия имеют самые высокие значения: 40-46, что делает Латакию наименее доступным городом в регионе.

## Выводы

На основе применения математических моделей, алгоритма Дейкстры и теории графов, была оценена нынешняя ситуация транспортного каркаса, связывающего сирийские регионы, и было установлено, что существует слабая степень связанности и доступа к основным внутренним городам, которые следует рассматривать, как основные транспортные узлы, соединяющие сирийские регионы, поэтому изменения и дополнительные транспортные оси должны быть введены для повышения степени доступа и подключения, особенно для этих важных городов.

## Литература

1. Комаров К.Л., Зыкова В.Ю. Развитие дорожной сети на основе кластерного анализа // Мир транспорта. 2014. Том: 12, №4 (53). С.108-117.
2. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г., Математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве «взвешенных» графов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2018. №3. С. 35-44.
3. Алсус М.М., Щербина Е.В. Особенности регионального планирования пустынного региона Сирийской Арабской Республики, диссертация. МГСУ. Москва. 2022. С. 107-113.
4. Алсус М.М., Щербина Е.В. Обоснование развития транспортной сети пустынного региона Сирийской Арабской Республики, Инновации и инвестиции. 2023. №4. С. 461-464.
5. Комаров К.Л., Зыкова В.Ю., Кузьмицкая М.А. Планирование развития дорожной сети на основе кластерного анализа, Мир транспорта Российский университет транспорта (МИИТ). 2014. Том: 12. Номер: 4 (53). С.108-117.



6. Kansky K. J. Structure of transportation networks relationships between network geometry and regional characteristics. University of Chicago. 1963. pp. 13-28.
  7. Абдо С. Основы географии транспорта. Издательство Wael, Иордания. 2002. С. 115-120.
  8. Ittai A., Amos F., Andrew V., Renato F. Highway Dimension, Shortest Paths, and Provably Efficient Algorithms. ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. 2010. Pp. 782–793.
  9. Ittai A., Goldberg D.; Andrew V., Renato F. A Hub-Based Labeling Algorithm for Shortest Paths on Road Networks. Symposium on Experimental Algorithms. 2011. Pp. 230–241.
  10. Nicola B., Ángel C., Isaac P., Miguel R. European Journal of Operational Research. Volume 300. Issue 3. 1 August 2022. Pp. 837-851.
  11. Dinda S., Ghosh S., Jana N. An analysis of transport suitability, modal choice and trip pattern using accessibility and network approach: a study of Jamshedpur city, India. Spatial Information Research. 2019. 27. Pp. 169-186.
  12. Awasthi A., Chauhan S. S. Using AHP and Dempster–Shafer theory for evaluating sustainable transport solutions. Environmental Modelling and Software. 2011. 26(6), Pp. 787–796.
  13. Zito, P., & Salvo, G. European Transportation Research Review. 2011. 3(4), Pp. 179–195.
  14. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г., Егшин А.М., Змеев А.Т. Проблемы и методологические аспекты организации дорожной деятельности в интересах военной безопасности государства: монография, ВАМТО. СПб.: Р-копи. 2017. С. 164.
  15. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г. Автоматическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве «взвешенных» // Транспортные сооружения. Экология, 2018, № 3. С. 35.
-

## References

1. Komarov K.L., Zy`kova V.Yu. Mir transporta, 2014 Tom: 12, №4 (53). Pp.108-117.
  2. Ermoshin N.A., Lazarev Yu.G., Transport. Transportny`e sooruzheniya. E`kologiya. 2018. №3. Pp.35-44.
  3. Alsous M.M., Shherbina E.V. Osobennosti regional`nogo planirovaniya pusty`nnogo regiona Sirijskoj Arabskoj Respubliki. [Features of regional planning of the desert region of the Syrian Arab Republic]. Dissertaciya. MGSU. Moskva 2022. Pp. 107-113.
  4. Alsous M.M., Shherbina E.V. Innovacii i investicii. 2023, №4. Pp. 461-464.
  5. Komarov K.L., Zy`kova V.Yu., Kuz`miczkaya M.A. Mir transporta Rossijskij universitet transporta (MIIT). 2014. Tom: 12. Nomer: 4 (53). Pp.108-117.
  6. Kansky K. J. Structure of transportation networks relationships between network geometry and regional characteristics. Kniga University of Chicago. 1963. Pp.13-28.
  7. Abdo S. Osnovy` geografii transporta [Fundamentals of Geography of Transportation], Izdatel`stvo Wael, Iordaniya. 2002. Pp. 115-120.
  8. Ittai A., Amos F., Andrew V., Renato F. Highway Dimension, Shortest Paths, and Provably Efficient Algorithms. ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. 2010. Pp. 782–793.
  9. Ittai A., Goldberg D.; Andrew V., Renato F. A Hub-Based Labeling Algorithm for Shortest Paths on Road Networks. Symposium on Experimental Algorithms. 2011. Pp. 230–241.
  10. Nicola B., Ángel C., Isaac P., Miguel R. The min-max close-enough arc routing problem” European Journal of Operational Research. Volume 300. Issue 3. 1 August 2022. Pp. 837-851.
-



11. Dinda S., Ghosh S., Jana N. Spatial Information Research. 2019. № 27. Pp. 169-186.
12. Awasthi A., Chauhan S. S. Environmental Modelling and Software. 2011. 26(6), Pp. 787–796.
13. Zito, P., & Salvo, G. European Transportation Research Review. 2011. 3(4), Pp.179–195.
14. Ermoshin N.A., Lazarev Yu.G., Egoshin A.M., Zmeev A.T. Problemy` i metodologicheskie aspekty` organizacii dorozhnoj deyatel`nosti v inte-resax voennoj bezopasnosti gosudarstva: monografiya [Problems and methodological aspects of organization of road activity in the interests of military security of the state: monograph] VAMTO. SPb.: R-kopi. 2017. P. 164.
15. Ermoshin N.A., Lazarev Yu.G. Transportny`e sooruzheniya. E`kologiya, 2018, № 3. P. 35.