

**Цициашвили Г. Ш., Гаврилов А. Н.**  
**G. Sh. Tsitsiashvili, A. N. Gavrilov**

## **ЗОНИРОВАНИЕ РАЙОНОВ РЕГИОНА ПО БЛИЗОСТИ К ВНЕШНЕЙ ГРАНИЦЕ**

## **ZONING OF THE REGION DISTRICTS BY PROXIMITY TO THE EXTERNAL BORDER**

**Цициашвили Гурами Шалвович** – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник института прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук (Россия, Владивосток); тел. 8(914)693-27-49. E-mail: guram@iam.dvo.ru.

**Gurami Sh. Tsitsiashvili** – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Chief Researcher, the Institute of Applied Mathematics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Russia, Vladivostok); tel. 8(914)693-27-49. E-mail: guram@iam.dvo.ru.

**Гаврилов Александр Николаевич** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией Морского государственного университета имени адм. Г. И. Невельского (Россия, Владивосток). E-mail: gavrilov@msun.ru.

**Alexandr N. Gavrilov** – PhD in Engineering, Head of the Laboratory, Maritime State University named after adm. G. I. Nevelsky (Russia, Vladivostok). E-mail: gavrilov@msun.ru.

**Аннотация.** Рассматривается карта некоторого региона с выделенными на ней районами. Проводится зонирование районов карты по минимальному числу границ между районами, которые нужно пересечь, чтобы выйти из данного района вовне региона. Такое зонирование даёт возможность уменьшения количества границ при построении маршрутов международных транспортных коридоров. Районы, попавшие в различные зоны, раскрашиваются разными цветами так, чтобы кратчайшие по числу пересекаемых границ пути из районов за пределы региона определялись переходом из района, раскрашенного одним цветом, в район, раскрашенный другим цветом. Это позволяет построить базу данных о кратчайших путях из районов за пределы региона. В основе построения такой базы данных лежит последовательность множеств районов и списков их соседей, удовлетворяющая некоторой рекуррентной последовательности. Для построения этой рекуррентной последовательности используются множества всех районов, множества граничных районов, множества внутренних районов и множества соседей каждого района. Эти множества определяются известными картографическими программами.

**Summary.** The map of a certain region with the districts highlighted on it is considered. The zoning of the map areas is carried out according to the minimum number of boundaries between the areas that need to be crossed in order to leave this area outside the region. Such zoning makes it possible to reduce the number of borders when building routes of international transport corridors. Areas that fall into different zones are painted in different colors so that the shortest paths from areas outside the region in terms of the number of borders crossed are determined by the transition from an area painted in one color to an area painted in another color. This allows you to build a database of shortest routes from areas outside the region. The basis for building such a database is a sequence of sets of districts that satisfies a certain recurrent sequence and is determined by the sets of neighbors of each individual district. To construct this recurrent sequence, sets of all districts, sets of boundary districts, sets of interior districts, and sets of neighbors of each district are used. These sets are determined by well-known cartographic programs.

**Ключевые слова:** планарный граф, зонирование районов, близость района к внешней границе, кратчайшие пути к внешней границе.

**Key words:** planar graph, zoning of districts, proximity of the district to the outer border, shortest paths to the outer border.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИПМ ДВО РАН (номер 075-01290-23-00).*

**Введение.** В современном мире необходимым условием успешного развития национальных экономик является эффективная работа транспортно-логистических систем [1; 2; 11]. На надгосударственном уровне важными инфраструктурными элементами, объединяющими транспортно-логистические системы различных стран, являются международные транспортные коридоры (МТК), представляющие собой совокупность маршрутов, проходящих по территориям государств и обеспечивающих перевозки пассажиров и грузов в международном сообщении на направлениях их наибольшей концентрации, а также совокупность технологических и организационно-правовых условий осуществления этих перевозок [3–5; 7; 9–10; 15–16].

Маршруты МТК могут пересекать несколько стран. Так, например, в работе МТК «Север – Юг» участвуют Россия, Индия, Иран, Оман, Азербайджан, Армения, Белоруссия, Казахстан, Сирия, Турция, Таджикистан, Киргизия [12, 17].

Одной из основных проблем функционирования МТК является прохождение грузами или пассажирами границы между сопредельными государствами. Как правило, на пересечение границы затрачивается значительное время. Это связано с необходимостью осуществления процедур пограничного, таможенного, санитарного и ветеринарного контроля, перегрузки на другие виды транспорта, смены колёсных пар вагонов из-за несовпадения ширины железнодорожной колеи в различных странах, с несовпадением режима работы соответствующих служб сопредельных государств и т. д. Кроме того, организация работы МТК требует заключения межправительственных соглашений, на подготовку которых могут уйти годы. Поэтому при выборе оптимального маршрута международной перевозки в рамках МТК одним из важнейших критериев оптимальности является минимум пересечений границ. Данная задача может быть сведена к задаче построения оптимального маршрута в планарном графе.

**Рекуррентный алгоритм зонирования районов по карте региона.** Рассматривается карта некоторого региона с выделенными на ней районами. Требуется провести зонирование районов региона по степени близости к внешней границе региона – минимальному числу межрайонных границ, которые следует пересечь, чтобы из него достичь внешней границы региона. Предполагается, что регион представлен на карте планарным графом, состоящим из многоугольников [6; 14].

Предположим, что имеется конечное множество  $U_0 = \{u\}$  ограниченных многоугольников на плоскости. Предполагаем, что эти многоугольники могут между собой иметь/не иметь только общие границы или их части. Тогда границы этих многоугольников образуют планарный граф  $\Gamma$ , вершинами которого являются точки излома граничных ломаных, а рёбрами – прямолинейные куски ломаных.

В результате такого построения сами многоугольники становятся гранями планарного графа  $\Gamma$  [9]. Вследствие ограниченности многоугольников из множества  $U_0$  внешняя грань графа  $\Gamma$  не входит в  $U_0$ . Каждой грани  $u \in U_0$  сопоставляется подмножество граней  $S(u) \subseteq U_0$ , соприкасающихся границами с гранью  $u$ . Назовём  $S(u)$  множеством соседей грани  $u$ . Грань, соседствующую с внешней гранью, назовём граничной, а не соседствующую с внешней гранью – внутренней.

Обозначим  $V_0 \subseteq U_0$  множество граничных граней и  $U_1 = U_0 \setminus V_0$  – множество внутренних граней. Рекурсивно определим алгоритм последовательного зонирования граней:

$$U_{k+1} = \{u \in U_k : S(u) \subseteq U_k\}, \quad V_k = U_k \setminus U_{k+1}. \quad (1)$$

Данную рекурсию продолжаем до того шага  $n$ , когда впервые  $U_{n+1} = \emptyset$ . В результате получим соотношения  $U_0 \supset U_1 \supset \dots \supset U_n$  и определим множества граней  $V_k = U_k \setminus U_{k+1}$ ,  $k = 0, 1, \dots, n-1$ ,  $V_n = U_n$ , тогда  $U_k = \bigcup_{j=k}^n V_j$ ,  $k = 0, \dots, n$ .

**Замечание 1.** Из формулы (1) следует, что для  $\forall k \leq n$  справедливы соотношения

$$\forall u_k \in V_k \exists u_{k-1} \in S(u_k) \cap V_{k-1}; \forall j > 1 S(u_k) \cap V_{k-j} = \emptyset.$$

Доказательство данного утверждения проведём от противного. Для любой грани  $u_k \in U_k$ ,  $k > 0$ , существует такое  $\varepsilon > 0$ , что  $\varepsilon$  окрестность грани  $u_k$  целиком содержится во множестве  $u_k \cup S(u_k)$ . Поскольку множество граней  $U_k$ ,  $k > 0$ , является совокупностью ограниченных многоугольников, то можно определить максимальную точку  $x_k$  её проекции на ось абсцисс. Пусть эта максимальная точка принадлежит проекции на ось  $x$  грани  $u_k \in U_k$ . Но тогда грань  $u_k$  соседствует с гранями множества  $S(u_k) \subseteq U_k$ , и значит  $\varepsilon$  окрестность грани  $u_k$  содержится во множестве граней  $U_k$ . Последнее утверждение приводит к тому, что  $x_k$  не может быть максимальной точкой проекции множества граней  $U_k$  на ось абсцисс.

**Следствие 1.** Минимальное число границ, которые необходимо пересечь, чтобы из грани  $u_k \in V_k$  провести кусочно-линейный непрерывный путь до какой-либо граничной грани, равно  $k$ .

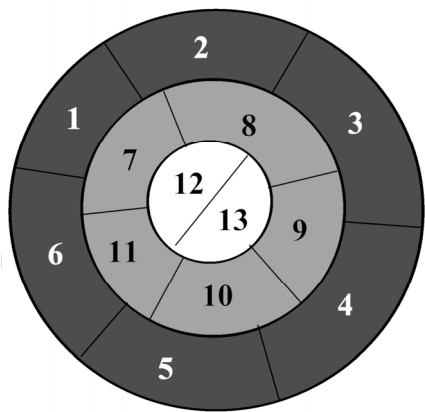


Рис. 1. Пример планарного графа  $\Gamma$  с выделенными на нём гранями

**Замечание 2.** Данный алгоритм обобщается на многомерный случай, когда плоские многоугольники заменяются на  $s$ -мерные многогранники.

На рис. 1 представлен идеализированный пример карты (планарного графа  $\Gamma$ ), в которой множества  $V_0, V_1, V_2$  удовлетворяют равенствам

$$V_0 = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}, V_1 = \{7, 8, 9, 10, 11\}, V_2 = \{12, 13\}.$$

В табл. 1 приведены списки меток у граней графа  $\Gamma$ . Первая метка у грани  $u \in V_k$  характеризует минимальное число границ, которые нужно пересечь, чтобы выйти из грани  $u$  во внешнюю грань. Вторая метка характеризует соседние с  $u$  грани, содержащиеся в множестве  $V_{k-1}$ .

Таблица 1

Списки граней планарного графа  $\Gamma$

| Грани  | 12          | 13              | 7          | 8       | 9       | 10      | 11      | 1, 2, 3, 4, 5, 6 |
|--------|-------------|-----------------|------------|---------|---------|---------|---------|------------------|
| Списки | 3; 7, 8, 11 | 3; 8, 9, 10, 11 | 2; 1, 2, 6 | 2; 2, 3 | 2; 3, 4 | 2; 4, 5 | 2; 5, 6 | 1                |

**Замечание 3.** В планарном графе наличие нескольких вершин у второй метки списка является довольно распространённым явлением. Более того, в картографических приложениях нет необходимости выписывать вторые метки, достаточно указать множества  $V_0, \dots, V_n$  и закрасить эти множества граней каждой своим цветом.

**Заключение.** Алгоритм, представленный в данной статье, требует для своей реализации знания списков граней  $S(u)$ ,  $u \in U$ . Поэтому представленный алгоритм необходимо сочетать с известными алгоритмами, применяемыми в картографии (см., например, [13]).

# ЛИТЕРАТУРА

1. Азимов, П. Х. Основные подходы к формированию транспортно-логистических систем в международной теории и практике / П. Х. Азимов // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о человеке, обществе и культуре. – 2024. – № IV (76). – С. 81-87.

2. Габов, М. Ю. Эффективность развития транспортной системы региона / М. Ю. Габов, Т. А. Яковлева // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о человеке, обществе и культуре. – 2019. – № II-2 (38). – С. 118-122.
3. Карташова, О. И. Развитие региональной транспортной инфраструктуры во взаимодействии с международными транспортными коридорами / О. И. Карташова // Актуальные решения проблем водного транспорта: сборник материалов I Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 28 апреля 2022 года. – Астрахань: ИП Сорокин Роман Васильевич, 2022. – С. 198-203.
4. Квитко, К. Б. Сравнительный анализ международных транспортных систем: инфраструктура, рейтинги, транспортные коридоры / К. Б. Квитко // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 15-29.
5. Комов, М. С. Современные тенденции развития и значение международных транспортных коридоров на рынке транспортных услуг / М. С. Комов // Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 6 (143). – С. 243-246.
6. Математическая энциклопедия. В 5 т. Т. 3 / гл. ред. И. М. Виноградов. – М.: Советская Энциклопедия, 1982. – 1182 с.
7. Овчинникова, С. В. Проблемы развития транспортной системы и международных транспортных коридоров в России / С. В. Овчинникова, Е. Е. Попова // Проблемы теории и практики управления. – 2023. – № 8. – С. 50-59.
8. Прасолов, В. В. Элементы комбинаторной и дифференциальной топологии / В. В. Прасолов. – М.: МЦНМО, 2004. – 352 с.
9. Рахимов, А. Р. Международный транспортный коридор «Европа – Западный Китай» как основа развития транспортной системы страны / А. Р. Рахимов // Вестник экономики, права и социологии. – 2019. – Т. 2. – № 3. – С. 139-143.
10. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р // Официальное опубликование правовых актов. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112030006> (дата обращения: 12.09.2024). – Текст: электронный.
11. Шевырин, Е. И. Интермодальные транспортно-логистические комплексы в России и за рубежом / Е. И. Шевырин // Экономика и управление. – 2011. – № 3 (65). – С. 50-54.
12. Belov Yurtaev, V. I. India, Russia and Iran: a New Study on «North – South» International Transport Corridor / V. I. Belov Yurtaev, Binish // Информация и инновации. – 2021. – Vol. 16. – No. 4. – P. 18-25.
13. Bocharnikov, V. N.; Fomenko, P. V.; Krasnopeev S. M. Assessment of dynamics of Amur Tiger habitat quality influenced by natural and anthropogenic factors // Integrated Tools for Natural Resources Inventories in the 21-st Century. August 16-20, 1998. Boise, Idaho. 1998. P. 51-55.
14. Harary, F.; Norman, R. Z.; Cartwright, D. Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graphs. Wiley: New York, 1965.
15. Konfino, K. V. Topical issues of development of international transport corridors and realization of transport potential of Russia / K. V. Konfino // Labour and Social Relations Journal. – 2019. – Vol. 30, No. 5. – P. 101-108.
16. Mirali, S. The Evolution of the importance of international transport corridors in modern world politics / S. Mirali // Вестник общественных и гуманитарных наук. – 2024. – Vol. 5. – No. 1. – P. 30-34.
17. Zakharov, A. The International North-South Transport Corridor: The Prospects and Challenges for Connectivity between Russia and India / A. Zakharov // MGIMO Review of International Relations. – 2023. – Vol. 16. – No. 2. – P. 216-234.