

## Операционный анализ вариантов организации строительства транспортных обходов городов на целевых и технологических графах

А. В. Кабанов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Кабанов А. В. Операционный анализ вариантов организации строительства транспортных обходов городов на целевых и технологических графах // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 69–76. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-69-76

### Аннотация

**Цель:** Научно-практические предложения по синхронизации комплексных строительных потоков при строительстве транспортных обходов (КАД). Определение порядковых и транзитивных соотношений темпов комплексных потоков в зависимости от приоритетов ввода в эксплуатацию участков КАД и выделения ресурсов по этим фронтам работ. Увязка специализированных потоков строительства автодорожного комплекса выполняется по линейным и сетевым графикам, с учетом критического пути и соотношения темпов потоков. Приоритеты темпов определяются по целевому графу. Получение эффективного варианта организации строительства автодороги по соотношению: «многоуровневая межобъектная взаимоувязка темпов потоков — эффективные эксплуатационно-целевые показатели законченного транспортного обхода». **Методы:** Построение многоуровневой целевой иерархической модели строительства транспортного обхода. Определение множества темпов строительных потоков для всех видов работ и объектов и их отражения на множестве эксплуатационно-целевых показателей при сооружении автодорожного обхода мегаполиса. Операционный анализ вариантов сочетаний темпов строительных потоков. Определение эффективного варианта сочетания темпов для достижения генеральной цели строительства. **Результаты:** Указана необходимость учета взаимосвязи темпов многоуровневых строительных потоков и эксплуатационно-целевых показателей промежуточной и полной готовности автодороги. Получена возможность эффективных вариантов организации строительства транспортных обходов по целевым приоритетам. **Практическая значимость:** Предлагаемые расчеты могут быть рекомендованы для получения эффективных организационно-технологических решений при проектировании и строительстве транспортных обходов городов.

**Ключевые слова:** Транспортные обходы городов, проект организации строительства, теория множеств, линейный оператор, теория графов, целевой граф, технологический граф, приоритет, тип строительных потоков, фронты работ.

Пятилетний план автодорожного строительства (2023–2027 гг.) является непосредственной реализацией целей национальных проектов Российской Федерации и федеральных программ [1–4]. Общий объем финансирования плана составляет 13,2 трлн руб. На этот период одним из ключевых объектов развития дорожно-транспортного комплекса страны является строительство таких автодорожных коммуникаций, как транспортные обходы городов (кольцевые автодороги — КАД).

В ближайшие 5 лет планируется завершить строительство 46 транспортных обходов мегаполисов, средняя длина каждого составляет 70–200 км. Поэтому исследование и разработка эффективных организационно-технологических решений строительства КАД является актуальным и перспективным направлением.

Целями строительства транспортных обходов городов являются:

1. Повышение уровня экономической связанности территорий страны в рамках развития федеральной магистральной сети.
2. Развитие стратегических транспортных коридоров «Север — Юг», «Запад — Восток».
3. Перенаправление логистических маршрутов в сторону предсказуемых для РФ торговых партнеров.
4. Разгрузка транспортных узлов мегаполисов за счет перенаправления грузопотоков и увеличения их скорости движения, за счет выведения за городскую черту автомобильных потоков и снижения нагрузки на городскую дорожную сеть.
5. Развитие транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области.
6. Обеспечение круглогодичной связи жителей северных и удаленных районов РФ.
7. Расширение существующих транспортно-логистических и создание новых грузовых транспортных коридоров.
8. Создание единых скоростных транспортных коридоров.
9. Развитие инфраструктуры прилегающих территорий.

Реализация целей народно-хозяйственного планирования развития автодорожных комплексов предполагает выполнение строительно-монтажных работ в установленные Правительством Российской Федерации директивные сроки строительства. Для решения поставленной задачи будущий автодорожный комплекс разделяется на очереди (в зависимости от возможности финансирования); этапы в зависимости от схемы ввода в эксплуатацию; на фронты работ (в зависимости от организационно-технологических решений проекта организации строительства ПОС); на лоты (по схеме конкурсного подбора подрядчиков) (рис. 1).

Размеры участков (лотов) определяются, как правило, от «развязки до развязки». Поэтому выполнение работ и сдача участка в эксплуатацию происходят в определенной очередности — по срокам самостоятельной эксплуатационной готовности [5–7]. Сроки сдачи в эксплуатацию участков определяют директивные темпы ( $V_i$ ) полотовых строительных потоков.

В целевой постановке готовый автодорожный обход характеризуется эксплуатационно-целевыми показателями ( $P_{эц}$ ), достижение которых является основной задачей проектных, подрядных и эксплуатационных организаций:

- общая протяженность обхода, км;
- пропускная способность, тыс.авт/сутки;
- срок строительства, мес.;
- темп строительства, км/мес.

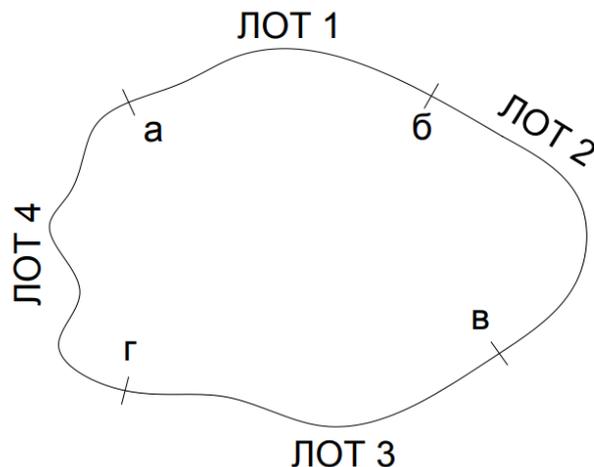


Рис. 1. Типовая схема определения фронтов работ при строительстве транспортных обходов (КАД):  
 лоты 1–4 — участки КАД, выделяемые на конкурсной основе подрядным организациям; а–г — транспортные развязки по линии КАД

Достижение генеральной цели строительства (с показателем  $P_{эц}$ ) является результатом реализации множества организационно-технологических решений  $Y_i$ , обеспечивающих темпы строительных потоков  $V_i$ .

Множество организационно-технологических решений « $Y_i$ » формируется на технологическом графе возведения объектов (рис. 2).

Темпы работ на уровне специализированных потоков определяются на моделях технологических графов организации строительства отдельных видов работ, частных, объектных и специализированных потоков.

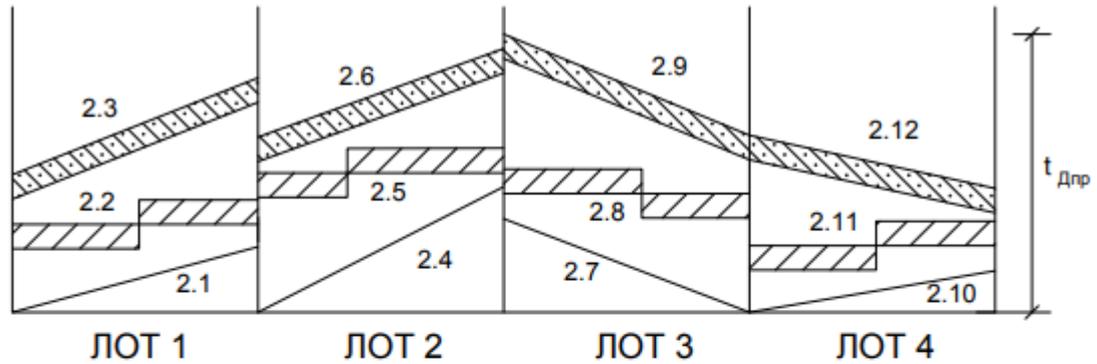
Применение сетевых технологических графиков и современных программных комплексов (Microsoft Project) [7] определяет приоритетный строительный поток с приоритетным темпом по методу критического пути. К сожалению, это не дает возможности синхронизировать развертывание потоков низового уровня (объектных, частных) с целевыми установками по всей стройке.

Синхронизация комплексных потоков (полотовых) необходима ввиду:

а) различной степени сложности участка:

- объем земляных работ на 1 км;
- количество искусственных сооружений на 1 км;
- наличие барьерных сооружений (больших мостов, тоннелей и т. д.);
- коэффициент логистичности для доставки материалов (расположения карьеров, асфальтобетонных заводов, щебеночных заводов и т. д.);
- объемы переноса инженерных сетей;

б) наличие приоритетов для отдельных участков (лотов) по срокам ввода в эксплуатацию. Например, социально-экономическая необходимость ввода участка и транспортных развязок, примыкающих к нему. При этом очередность, этапность



Реализация специализированных строительных потоков по:

- земляному полотну - 2.1, 2.4, 2.7, 2.10;
- искусственным сооружениям - 2.2, 2.5, 2.8, 2.11;
- дорожным одеждам - 2.3, 2.6, 2.9, 2.12.

Рис. 2. График строительства транспортного обхода

развертывания строительных потоков по лотам синхронизируются целевым графиком строительства (рис. 3) транспортного обхода [8–10].

Разработка целевого графа (рис. 3) позволяет осуществить основные решения по синхронизации потоков на уровне лотов (комплексные потоки и ранговые цели строительства; специализированные потоки).

### Постановка задачи:

Множество эксплуатационно-целевых показателей ( $P_{эцц}$ , уровень 0) является отображением (оператором) множества темпов строительных потоков ( $V_i$  — уровни 1,2).

Интегральным оператором ( $L$ ) преобразования множество организационно-технологических решений ( $F(y)$ ) на уровне ранговых целей в критерии вершин целевого графа  $P_{эцц}(g)$  (оценивающий уровень достижения цели) является темп соответствующего строительного потока:

$$L / F \rightarrow g.$$

Оператор  $L_i$  по каждому ребру целевого графа преобразует функцию  $F \in y$ , принадлежащую множеству организационно-технологических решений в функции  $L(y) \in g$  на множестве критериев соответствующей вершины целевого графа. В случае появления предпочтения одному из операторов  $L_1 - L_4$  ( $\vartheta_1 - \vartheta_4$ ) на основе назначения приоритетов [8, 11–13] одному из лотов, например по степени

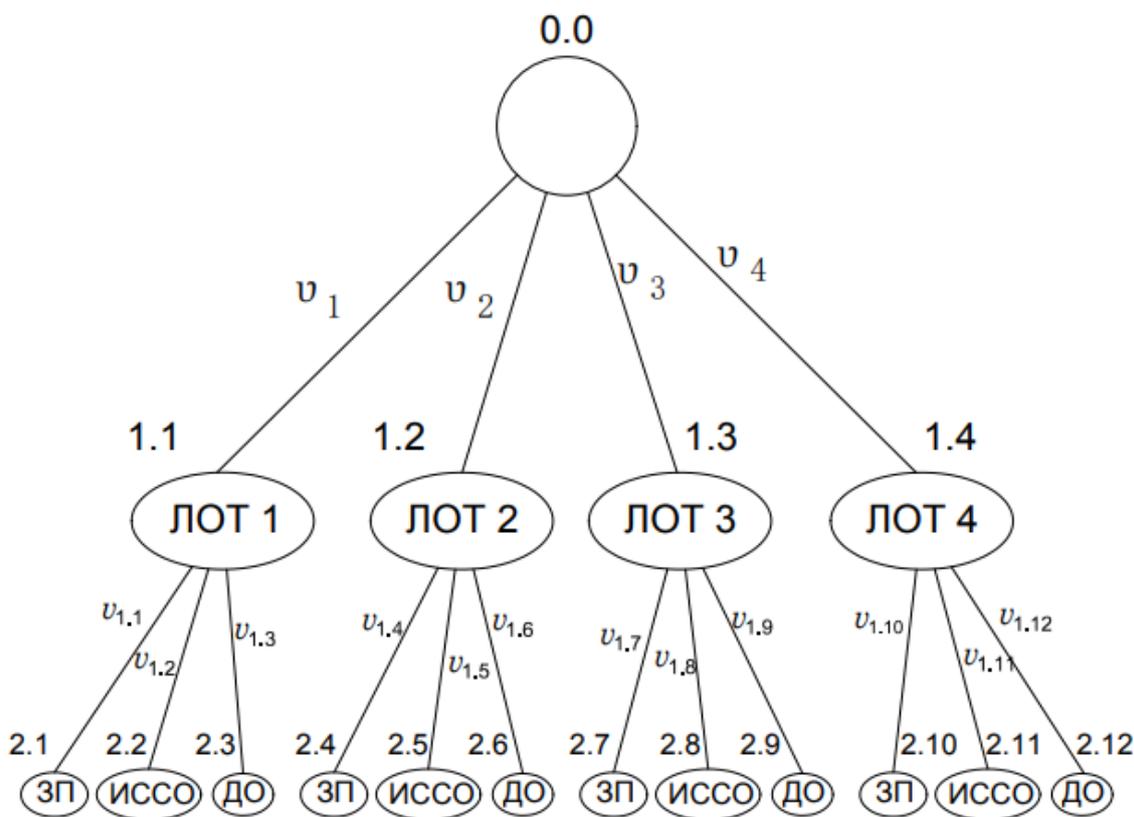


Рис. 3. Целевой граф строительства транспортных обходов (КАД):

- а) 0.0 — генеральная цель строительства КАД;  
 б) 1.1–1.4 — ранговые цели строительства подрядчиком на участках по лотам (комплексные строительные потоки); в) 2.1–2.12 — реализация специализированных строительных потоков по земляному полотну (ЗП); искусственным сооружениям (ИССО); дорожным одеждам (ДО); г)  $\vartheta_1 - \vartheta_4$  — темпы комплексных потоков;  $\vartheta_{1.1} - \vartheta_{1.12}$  — темпы специализированных потоков

сложности (см. п. а), производится соответствующее перераспределение ресурсов для производства работ.

Совместное использование целевого графа и множества календарных графиков по объектам КАД позволяет синхронизировать соотношение темпов по ранговым целям (определяем доминирующие и подчиненные темпы комплексных потоков) и темпов специализированных и объектных потоков.

Это повышает эффективность принимаемых организационно-технологических решений за счет:

- определения приоритетов в развертывании строительных потоков;
- более целенаправленного распределения ресурсов;
- сокращения перерывов между смежными комплексными потоками;
- сокращения сроков производств работ.

## Библиографический список

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р «О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года». — 285 с.
2. Национальный проект «Безопасные качественные дороги». — URL: [bkdrf.ru](http://bkdrf.ru).
3. Перечень мероприятий по осуществлению дорожной деятельности в 2023–2027 годах в отношении автомобильных дорог общего пользования федерального значения, находящихся в доверительном управлении Государственной компании «Российские автомобильные дороги». Утвержден Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 июня 2022 г. № 1601. — URL: <http://government.ru/docs/45794/>.
4. Федеральный проект «Развитие федеральной магистральной сети». — URL: <http://government.ru/docs/45794/>.
5. Орешкин Б. М. Организация производства земляных работ при строительстве автомобильных дорог / Б. М. Орешкин. — М.: Высшая школа, 1961. — 208 с.
6. Строительство автомобильных дорог: учебник / Коллектив авторов; под ред. В. В. Ушакова, В. М. Ольховикова. — М.: 2013. — 576 с.
7. Колос А. Ф. Управление строительными проектами: учеб. пособие / А. Ф. Колос, А. В. Кабанов, А. А. Конон. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017. — 67 с.
8. Бурбаки Н. Основные структуры анализа. Книга 1. Теория множеств / Н. Бурбаки. — М.: Книга по требованию, 2013. — 460 с.
9. Садовничий В. А. Теория операторов / В. А. Садовничий. — 2е изд. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. — 368 с.
10. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. — М.: Наука, 1981. — 320 с.
11. Абраменко Г. В. Практические рекомендации по применению системного анализа к проектированию сложных технических систем / Г. В. Абраменко. — М.: Оргсервис, 2015. — 265 с.
12. Бусленко Н. П. Лекции по теории сложных систем / Н. П. Бусленко. — М.: Советское радио, 1973. — 286 с.
13. Горлушкина Н. Н. Системный анализ и моделирование информационных процессов и систем / Н. Н. Горлушкина. — СПб.: ИТМО, 2016. — 121 с.

Дата поступления: 23.01.2023

Решение о публикации: 25.02.2023

### Контактная информация:

КАБАНОВ Александр Васильевич — канд. техн. наук, доц.; [avkabanov07@inbox.ru](mailto:avkabanov07@inbox.ru)

# Operational Analysis of Options for Construction Organization of City Transport Bypasses on the Basis of Target and Technological Graphs

A. V. Kabanov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Kabanov A. V. Operational Analysis of Options for Construction Organization of City Transport Bypasses on the Basis of Target and Technological Graphs. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 1, pp. 69–76. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-69-76

## Summary

**Purpose:** Scientific and practical proposals for the synchronization of complex construction flows (belt-way). Determination of ordinal and transitive ratios of complex flow paces, depending on the priorities of commissioning of belt-way sections and resources allocation on these fronts of work. The linking of specialized flows of highway complex construction is carried out according to linear and network schedules, taking into account critical path and the ratio of the paces of flows. Pace priorities are determined by target graph. Obtaining productive option for highway construction organization according to the ratio: “multilevel inter-object interconnection of flow paces — productive exploitational-target indicators of completed transport bypass” **Methods:** Building of multi-level target hierarchical model for transport bypass construction. Determination of construction flow pace set for all kinds of works and facilities and their reflection on the set of exploitational-target indicators at megapolis highway bypass construction. Operational analysis of options for combinations of construction flow paces. Determination of effective pace combination option to achieve construction general goal. **Results:** The necessity to take into account the interconnection between the paces of multilevel construction flows and exploitational-target indicators of intermediate and full readiness of a highway is indicated. The possibility to find productive options for organizing transport bypass construction by target priorities has been obtained. **Practical significance:** The proposed calculations can be recommended for obtaining effective organizational-technological solutions at projection and construction of city transport bypasses.

**Keywords:** City transport bypasses, construction organization project, set theory, linear operator, graph theory, target graph, technological graph, priority, construction flow type, work fronts.

## References

1. *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 27 noyabrya 2021 goda № 3363-r “O Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda”* [Decree of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 № 3363-r “On the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035”]. 285 p. (In Russian)
2. *Natsional'nyy proekt “Bezopasnye kachestvennyye dorogi”* [National project “Safe quality roads”]. Available at: bkdrf.ru. (In Russian)
3. *Perechen' meropriyatiy po osushchestvleniyu dorozhnoy deyatelnosti v 2023–2027 godakh v otnoshenii avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniya federal'nogo znacheniya, nakhodyashchikhsya v doveritel'nom upravlenii Gosudarstvennoy kompanii “Rossiyskie avtomobil'nye dorogi”*. Uтвержден Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 июня 2022 г.

№ 1601 [List of measures for the implementation of road activities in 2023–2027 in relation to public roads of federal significance, which are in trust management of the State Company “Russian Highways”. Approved by Decree of the Government of the Russian Federation of June 20, 2022 № 1601]. Available at: <http://government.ru/docs/45794/>. (In Russian)

4. *Federal'nyy proekt “Razvitie federal'noy magistral'noy seti”* [Federal project “Development of the federal backbone network”]. Available at: <http://government.ru/docs/45794/>. (In Russian)

5. Oreshkin B. M. *Organizatsiya proizvodstva zemlyanykh rabot pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog* [Organization of earthworks in the construction of highways]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1961, 208 p. (In Russian)

6. *Stroitel'stvo avtomobil'nykh dorog: uchebnik. Kollektiv avtorov; pod red. V. V. Ushakova, V. M. Ol'khovikova* [Road construction: textbook. Team of authors; ed. V. V. Ushakova, V. M. Olkhovikova]. Moscow, 2013, 576 p. (In Russian)

7. Kolos A. F., Kabanov A. V., Konon A. A. *Upravlenie stroitel'nymi proektami: ucheb. posobie* [Management of construction projects: tutorial]. St. Petersburg: FGBOU VO PGUPS Publ., 2017, 67 p. (In Russian)

8. Burbaki N. *Osnovnye struktury analiza. Kniga 1. Teoriya mnozhestv* [Basic structures of analysis. Book 1. Set Theory]. Moscow: Kniga po trebovaniyu Publ., 2013, 460 p. (In Russian)

9. Sadovnichiy V. A. *Teoriya operatorov, 2e izd.* [Operator Theory, 2nd ed.]. Moscow: Mosk. un-t Publ., 1986, 368 p. (In Russian)

10. Moiseev N. N. *Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza* [Mathematical problems of system analysis]. Moscow: Nauka Publ., 1981, 320 p. (In Russian)

11. Abramenko G. V. *Prakticheskie rekomendatsii po primeneniyu sistemnogo analiza k proektirovaniyu slozhnykh tekhnicheskikh sistem* [Practical recommendations on the application of system analysis to the design of complex technical systems]. Moscow: Orgservis Publ., 2015, 265 p. (In Russian)

12. Buslenko N. P. *Lektsii po teorii slozhnykh sistem* [Lectures on the theory of complex systems]. Moscow: Sovetskoe radio Publ., 1973, 286 p. (In Russian)

13. Gorlushkina N. N. *Sistemnyy analiz i modelirovanie informatsionnykh protsessov i sistem* [System analysis and modeling of information processes and systems]. St. Petersburg: ITMO Publ., 2016, 121 p. (In Russian)

Received: January 23, 2023

Accepted: February 25, 2023

#### **Author's information:**

Aleksandr V. KABANOV — PhD in Engineering, Associate Professor; [avkabanov07@inbox.ru](mailto:avkabanov07@inbox.ru)