

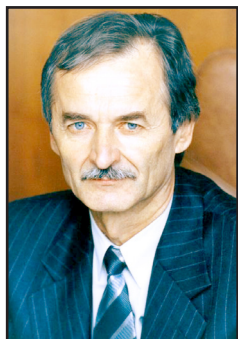


## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.21

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-1>

# О принципах расчёта транспортных узлов



Пётр КОЗЛОВ



Сергей ВАКУЛЕНКО



Валерия КОЗЛОВА



Надежда ЕВРЕЕНОВА

*Пётр Алексеевич Козлов<sup>1</sup>, Сергей Петрович Вакуленко<sup>2</sup>,  
Валерия Петровна Козлова<sup>3</sup>, Надежда Юрьевна Евреенова<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Научно-производственный холдинг «Стратег», Москва, Россия.

<sup>2, 3, 4</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ <sup>4</sup> [nevreeva@mail.ru](mailto:nevreeva@mail.ru).

## АННОТАЦИЯ

Представлена разработанная авторами методология построения, расчёта и оптимизации транспортных узлов. Основным методом является оригинальный системный подход. Использование этой методологии даст возможность более рационально строить транспортные узлы и более корректно оценивать проекты их развития.

«Система» понимается как общеприродная форма построения организованной материи, которая даёт возможность ей устойчиво функционировать в изменчивой среде. Основные принципы формулируются следующим образом: система состоит из элементов, каждый из которых тоже является системой; в системе развито активное самоподдержание, то есть активные действия, противодействующие внешним неблагоприятным воздействиям; показано, что самоподдержание обеспечивается адаптивностью, в транспортных системах – адаптивной технологией.

Возникает противоречие (диалектическое): с одной стороны, элементы – это самостоятельные системы, имеющие свои системные параметры и механизмы активного их поддержания, а с другой, они – подчинённые создания, способные гибко изменять свою работу для поддержания параметров надсистемы. Необходимо найти гармонию между уровнями развития этих противоположных свойств. С этих системных позиций рассматриваются и транспортные узлы. Приводится ряд определений узлов, ранее предложенных ведущими российскими учёными. Показано их противоречие с предлагаемым новым системным подходом.

Приводится системное определение узла как совокупности станций. Дается новая классификация транспортных узлов. Формулируются критерии рационального построения их в зависимости от классов, приводятся принципы корректного расчёта и оптимизации.

Ключевые слова: транспортный узел, система, имитационная модель, станция, адаптивность, технология, расчёт, оптимизация.

Для цитирования: Козлов П. А., Вакуленко С. П., Козлова В. П., Евреенова Н. Ю. О принципах расчёта транспортных узлов // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-1>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

В статье представлены результаты решения задачи разработки теоретических основ построения эффективных транспортных узлов, а также корректных методов их расчёта и оптимизации. Теоретической основой является оригинальный вариант *системного подхода*, где «система» понимается как природная форма построения организованной материи, которая обеспечивает ей устойчивое и эффективное функционирование в случайной среде.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Системный подход и транспортные узлы

Корректное понимание сущности транспортных узлов и методов их расчёта имеет большое значение в условиях развития транспортной инфраструктуры.

Принципы расчёта – это метод расчёта, а выбор метода – задача непростая.

По мнению Гегеля, «метод... есть не внешняя форма, а душа и понятие содержания» [1, с. 423].

Не менее авторитетная точка зрения у А. И. Герцена: «Метода в науке важнее всякой суммы знаний». «Метода вытекает из объекта, а не привносится к нему произвольно» [2, с. 134, 155].

Таким образом, чтобы выбрать принципиально новые подходы к расчёту транспортных узлов, надо ответить на вопрос: что такое транспортный узел?

Определения этого объекта содержатся в ряде исследований транспортной науки.

Академик В. Н. Образцов писал: «Железнодорожным узлом называется пункт, где соединяются между собой не менее трёх железнодо-

рожных линий (трёх направлений), относительно равнозначного магистрального характера, и где имеется одна или несколько распорядительных станций и происходит передача пассажирских и товарных поездов и вагонов, а также пересадка пассажиров и перевалка грузов на другие виды сообщений: водный, шоссейный, узкоколейный и т.д.» [3, с. 7].

Узлом здесь называется «пункт», в котором есть пересекающиеся линии и хотя бы одна станция. Как одна станция может быть узлом? А это вытекает из наличия пересекающихся линий (рис. 1). Это определение геометрического характера. Термин «пункт» потом стал популярным.

В. Н. Образцов давал следующее определение для транспортного узла: «Транспортный узел есть *пункт* пересечения и разветвления трасс различных видов транспорта» [4, с. 433].

Профессор П. В. Бартенев считал, что... «транспортный узел представляет собой *пункт* сосредоточения различных видов транспорта» [5, с. 452].

Профессор В. А. Персианов отмечал, что, хотя приведённые определения в основе и правильны, но они недостаточны, так как не отражают полностью всего существа транспортного узла, а в классификации транспортных узлов больше случайного, чем закономерного [6, с. 355].

В Институте комплексных транспортных проблем (находившемся в тот период в составе Академии наук) появилось более содержательное определение: «Транспортным узлом называется *комплекс транспортных устройств в пункте* стыка нескольких видов

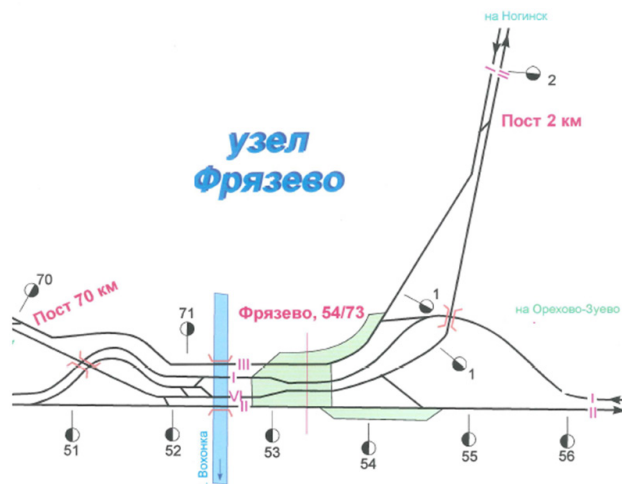


Рис. 1. «Узел» из одной станции (альбом схем железнодорожных узлов и станций, разработанных АО «ИЭРТ»).





транспорта (в том числе не менее двух видов магистрального транспорта), совместно выполняющих операции по обслуживанию транзитных, местных и городских перевозок грузов и пассажиров» [7, с. 181].

Но опять «стык», да и устройства вряд ли можно считать чем-то определённым.

В недавно вышедшей работе по узлам говорится следующее: «Железнодорожным узлом называется пункт пересечения или примыкания нескольких линий, объединяющих ряд связанных соединительными ходами станций и отдельных пунктов, работающих по единой технологии (во взаимодействии). В состав железнодорожного узла входят сортировочные, грузовые и пассажирские станции с их устройствами; главные и соединительные пути; посты и обходы; подъездные пути; все виды путепроводных развязок, расположенных в границах узла; самостоятельные производственные единицы железнодорожного транспорта (заводы, тяговые подстанции, материальные склады и др.)» [8, с. 787].

Здесь в пресловутый «пункт» входят не только «станции и заводы», но и «соединительные пути, посты и обходы, и все виды путепроводных развязок».

Если транспортный узел – это «стык», в который входят разные «устройства», то трудно определить содержание этого понятия, а, значит, трудно выбрать и адекватный метод расчёта.

Несколько десятилетий назад учёными разных специальностей широко обсуждался так называемый «системный подход». Термин «системный» часто употребляется в различных словосочетаниях и контекстах: «рассматривать с системных позиций, проблемы имеют системный характер» и др. Есть даже целый институт системных исследований. Может, стоит и транспортный узел рассматривать с системных позиций?

Посмотрим, что понимается в науке под понятием «система».

Основываясь на работах Ф. Энгельса [9, с. 392, 550, 563, 570, 585], философ А. Н. Аверьянов предложил следующее определение: «Система есть ограниченное множество взаимодействующих элементов» [10, с. 18, 24].

Математик Н. Н. Моисеев считал, что «понятие «система» относится к числу тех, для которых трудно дать аккуратное определение.

Для наших целей достаточно того интуитивного понятия системы, которое имеется у каждого, изучающего предмет» [11, с. 130].

Но целая наука – теория систем – не может строиться на интуитивном понятии.

Есть и такие подходы, когда к системам относят слишком широкие классы объектов. Вот что пишет, например, в упомянутой работе А. Н. Аверьянов: «...неорганизованные совокупности... являются системами, хотя и не целостными...». И далее: «...неорганизованная совокупность состоит из элементов; элементы данной совокупности определённым образом связаны между собой, неважно, что эта связь носит внешний или случайный характер; ... важно, что она объединяет элементы в совокупность определённой формы, которую мы называем кучей, грудой, толпой и т.д. в зависимости от качества входящих в неё элементов и тех связей между элементами, которые отличают данную совокупность от окружающей её среды» [10, с. 21–22].

Но если в одно понятие входит, скажем, и транспортный узел, и куча камней, то какое содержание может иметь теория, построенная на этом понятии?

Довольно распространено мнение, что общепринятого определения понятия «система» не существует. Естественно, нет определённости и в том, какие задачи должна решать теория.

Академик А. И. Берг высказывал такое мнение: «Несмотря на широкое распространение понятия «система», до настоящего времени не существует общепринятого его определения» [12, с. 68].

В какой-то мере и сейчас продолжают попытки коснуться этой проблемы, но без выхода за пределы обычного определения понятия «система». Например, в [13] авторы пишут: «Система – настолько общее понятие, что дать ему универсальное для всех случаев жизни определение очень трудно. Системы бывают простыми, сложными и сверхсложными и др. Простая – обыкновенный оконный затвор. Сложная – персональный компьютер. Сверхсложная – экономика пассажирских перевозок».

Когда равноценными понятиями являются и «оконный затвор», и «экономика пассажирских перевозок», то теоретической основой этот подход вряд ли может являться.

Как видим, с системным подходом тоже не всё в порядке.

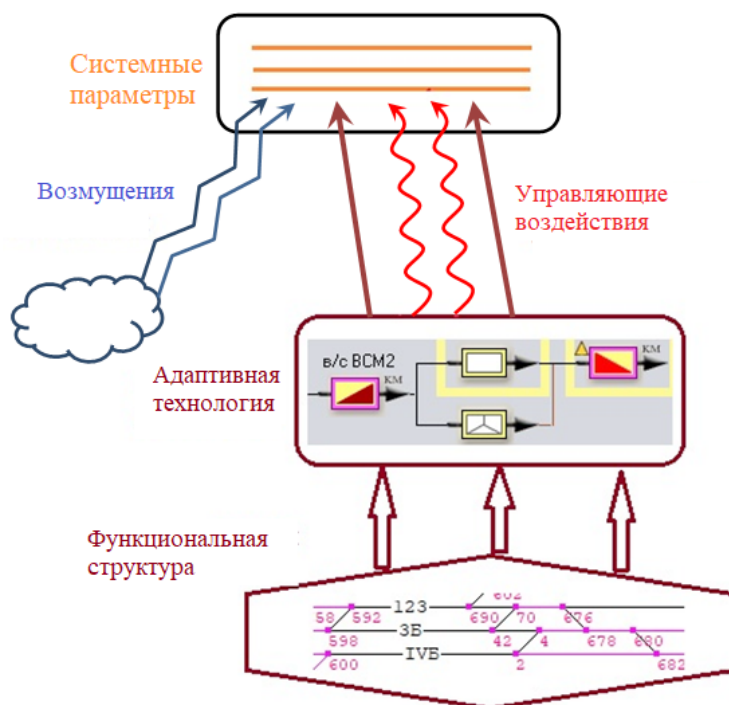


Рис. 2. Основные признаки системного построения объекта (выполнено авторами).

Новый подход к этой проблеме был предложен в работах [14; 15]: «система – это целостное образование с активным самоподдержанием, при этом его элементы также являются системами». Причём здесь «активное самоподдержание» также важно, как и «целостность». Авиценна говорил, что «жизнь даётся человеку с неперменным условием каждодневно бороться за неё» [16, с. 272]. Для искусственно создаваемых систем – это главное отличие от всех других объектов (в мясорубке, велосипеде есть целостность, но нет активного самоподдержания).

То есть *система* – это форма построения организованной материи, позволяющая ей устойчиво (и эффективно, то есть без больших статических резервов, а за счёт адаптивности) существовать в среде с дезорганизацией. Такая форма была выработана природой. Эту форму надо изучить, чётко сформулировать и затем использовать для построения устойчивых и эффективных транспортных систем.

Активное самосохранение обеспечивает адаптивность. Для технических систем это будет адаптивная технология.

Из понятия системы вытекает и сущность системного анализа. Он должен использовать следующие этапы:

- определить общую функцию и параметры, её характеризующие;
- сформулировать функцию и системные параметры элементов;
- исследовать неблагоприятные воздействия на систему в целом и на её элементы как системы;
- определить механизмы активного противодействия этим дезорганизующим воздействиям.

## Определения

*Транспортный узел* – инфраструктурно- и технологически связанная группа систем различных видов транспорта, совместно выполняющая переработку потоков в некотором районе.

*Железнодорожный узел* – инфраструктурно- и технологически связанная группа станций, совместно выполняющая переработку потоков в некотором районе.

*Район* – некоторая выделенность, целостность – в социальном (населённый пункт), промышленном (завод) или транспортном отношении. В последнем случае – это выполнение некоторой транспортной задачи по единому плану – согласованное транспортное обслуживание разнородных объектов в районе, переработка потока при передаче его с одной линии на другую и др.







### Переработка потоков:

- расформирование и формирование составов;
- погрузка, выгрузка, перегрузка;
- посадка, высадка, пересадка пассажиров.

Признаки термина «совместно» следующие: дополнительно присутствует оперативное управление, то есть существует гибкое взаимодействие входящих в узел систем (это более высокий уровень).

Узел является системой только тогда, когда есть общая функция для узла в целом и есть параметры, характеризующие функцию и механизмы активного их поддержания при наличии возмущающих факторов (рис. 2). Иначе – это не система.

В зарубежной практике выделим следующие работы как примеры исследований, посвящённых анализу и расчёту транспортных узлов, железнодорожных станций, полигонов [17–21].

Итак, что характеризует систему:

- *есть общая функция и параметры*, характеризующие её, при этом для параметров существуют допустимые границы;
- *существуют разрушающие воздействия*, которые могут вывести параметры за допустимые границы;
- *на каждый набор разрушающих воздействий есть активные реакции*, нейтрализующие вредные воздействия;
- активные реакции обеспечиваются, в основном, за счёт *адаптивной технологии*;
- *структура* должна в значительной мере определяться функцией, то есть структура должна быть *функциональной*.

Отличия от существующих определений:

- здесь *узел* – это *система более высокого организационного уровня*, элементами которого являются системы предыдущего уровня, а не соединительные пути, разъезды, развязки, причалы и пр.;
- главным здесь является *характер взаимодействия* входящих в узел систем, а не его *геометрические характеристики*, которые напрямую зависят от местности и расположения обслуживаемых транспортом объектов.

С этих позиций транспортные узлы явно подразделяются на два класса:

- класс *A*, узлы *являются* системами;
- класс *B*, узлы *не являются* системами.

Значит, при исследовании узлов первого класса следует применять системный подход, а ко вторым – какую-то другую технологию.

Анализ показывает, что к классу *A* можно отнести только промышленные и припортовые транспортные узлы.

Там структура действительно является, что называется, «застывшей функцией». Эти узлы обладают функциональной целостностью, имеют общесистемную функцию и механизмы её поддержания. Сильно влияет близость к производственным грузовым фронтам.

Транзитные узлы (класс *B*) считать полноценными системами нельзя. Какая есть общая функция у узла, включающего, скажем, пассажирскую, грузовую и сортировочную станцию? Каждая станция имеет свою индивидуальную функцию, и никакого адаптивного взаимодействия между ними нет. Они, как правило, располагаются у крупного населённого пункта – иначе нет возможности найти необходимое количество работников.

Но здесь появляется другая проблема взаимодействия станций. Возникает пересечение потоков, и с ним необходимость строить дорогостоящие развязки в разном уровне.

Здесь, скорее, стоит проблема построения узла с минимальными и функциональными потерями в конкретных географических условиях. Из-за этих условий и возникают различные схемы узлов. Но некоторые принципы их рациональной организации можно сформулировать:

а) станции должны располагаться как можно ближе к обслуживаемым объектам:

$$\forall_i \forall_j |l_{ij}| \rightarrow \min,$$

где  $l_{ij}$  – расстояние  $i$ -й станции от  $j$ -го терминала;

б) инфраструктурное расположение станций должно быть таким, чтобы обеспечивались:

– минимум пересекающихся потоков:

$$\sum_i \sum_j u_{ij} = \min,$$

где  $i$  – точка начала внутриузловых потоков;

$j$  – точка пересечения;

в) минимум внутриузловых пробегов:

$$\sum_i \sum_j u_{ij} l_{ij} = \min,$$

где  $u_{ij}$  – транспортный поток между  $i$ -й и  $j$ -й станцией узла;

$l_{ij}$  – длина пробега составов  $u_{ij}$ .

В дальнейшем вступают в силу ограничения географического характера и творчество проектировщиков.

Для расчёта транспортных узлов обоих классов следует использовать двухэтапный подход.

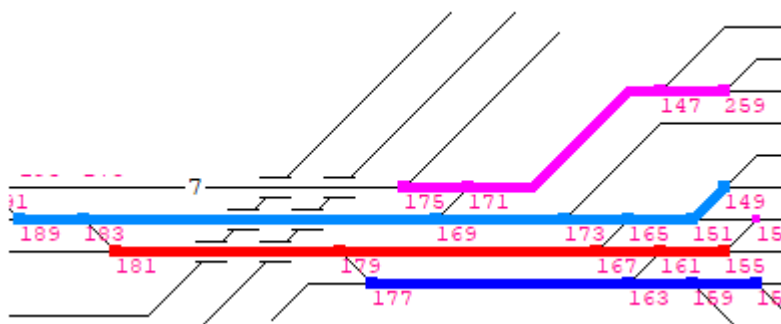


Рис. 3. Структурные каналы в горловине (выполнено авторами).

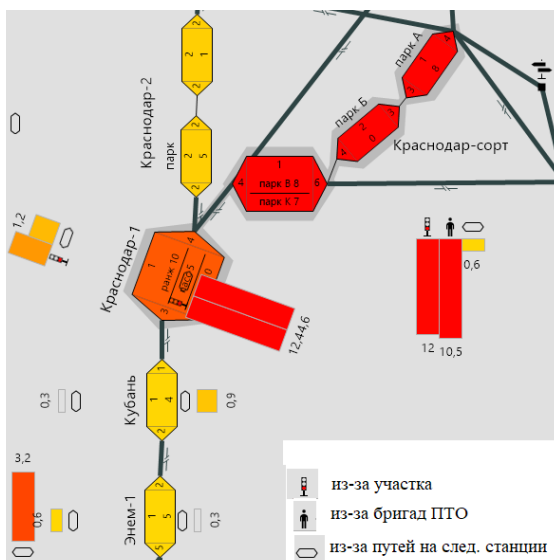


Рис. 4. Возможные причины задержек поездов на станциях узла (выполнено авторами).

Задачами первого этапа будут:

- определение общих параметров узла;
- оценка межстанционного взаимодействия, то есть структурных и функциональных связей станций;
- определение проблемных станций.

На втором этапе задачей будет детальное и всестороннее исследование проблемных станций.

Двухэтапный подход сократит затраты на исследование и ускорит весь процесс.

На первом этапе целесообразно применять укрупненное моделирование, а на втором – подробные имитационные модели.

Укрупнённое исследование можно проводить:

- на оптимизационных потоковых моделях;
- на укрупнённых имитационных моделях.

На потоковых моделях можно в общем случае решать три задачи:

- укрупнённо оценивать пропускную и перерабатывающую способность станций;
- оценивать пропускную способность и задержки в межстанционных структурных связях;
- оптимизировать процесс адаптивного взаимодействия станций (для узлов класса А).

Более полезно использовать динамические модели, например, динамическую транспортную задачу [22]. Даже для узлов класса В это важно, ибо задержки из-за пересечения потоков будут представлены в динамике. Это важно для анализа, ибо потоки, как правило, неравномерные.

Построение укрупнённой имитационной модели требует разработки специальной технологии [23]. В горловинах вместо стрелок вводятся так называемые структурные каналы, отображающие число возможных параллельных передвижений (рис. 3).





В парке вместо суммарной вместимости путей задаётся его функциональная ёмкость, то есть предельное заполнение, при котором ещё сохраняются его функциональные свойства. Достоверность макро моделирования проверена сравнительными расчётами на подробных и укрупнённых моделях [23].

Наиболее эффективным аппаратом в России можно считать в настоящее время имитационную систему ИМЕТРА [Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015662972]. Система выдаёт исчерпывающую информацию о параметрах узла, как правило, в удобном для исследователя виде (рис. 4).

## ВЫВОДЫ

Классификация транспортных узлов с позиций нового системного подхода лучше отображает их природу.

Для расчёта транспортных узлов следует применять двухуровневый подход. На первом уровне на укрупнённых моделях исследуется межстанционное взаимодействие, на втором, на подробных моделях – проблемные станции.

Классификация транспортных узлов позволяет более обоснованно строить методы их расчёта и оптимизации. Использование их при оценке проектов инфраструктурного развития принесёт существенный эффект.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гегель. Энциклопедия философских наук. – М.: Мысль, 1974. – С. 423.
2. Герцен А. И. Письма об изучении природы. – М.: Госполитиздат, 1944. – С. 134–155.
3. Образцов В. Н. Железнодорожные узлы. Транзитные узлы и техника их проектирования. Труды МИИТ. – М., 1933. – С. 7.
4. Образцов В. Н., Никитин В. Д. и др. Станции и узлы / Под общ. ред. академика В. Н. Образцова: Учебник для транспортных вузов. – М.: Трансжелдориздат, 1949. – 540 с.
5. Бартенев П. В. Железнодорожные станции и узлы. – М.: Трансжелдориздат, 1953. – 504 с.
6. Таль К. К., Земблинов С. В., Персианов В. А. Основы построения транспортных узлов. – М.: Транспорт, 1959. – 447 с.

7. Основы построения транспортных узлов. ИКТП при АН СССР, 1958. – 255 с.

8. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) / Под ред. Н. В. Правдина и С. П. Вакуленко. – М.: ФГБОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. – 1086 с.

9. Энгельс Ф. Анти-Дюринг. Диалектика природы // К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения. – 2-е изд. – М.: Государственное издательство политической литературы, 1961. – Т. 20.

10. Аверьянов А. Н. Система: философская категория и реальность. – М.: Мысль, 1976. – 185 с.

11. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 487 с.

12. Берг А. И., Бирюков Б. В., Воробьёв Н. Н. и др. Управление, информация, интеллект. – М.: Мысль, 1976. – 383 с.

13. Аксёнов И. М., Разумова Е. Н. Системность в маркетинге пассажирских перевозок // Мир транспорта. – 2013. – № 2. – С. 24–28. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/332/558>. Доступ 14.07.2021.

14. Козлов П. А. Системные исследования – новый подход // Наука и техника транспорта. – 2014. – № 1. – С. 46–50. [Электронный ресурс]: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_21446619\\_92821481.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_21446619_92821481.pdf). Доступ 14.07.2021.

15. Козлов П. А., Пермикин В. Ю., Кащеева Н. В. К теории транспортных узлов // Транспорт Урала. – 2013. – № 4. – С. 8–9. [Электронный ресурс]: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_21047270\\_23434579.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_21047270_23434579.pdf). Доступ 14.07.2021.

16. Ибн Сина (Авиценна). Избранные философские произведения. – М.: Изд-во «Наука», 1980. – 366 с.

17. Carey, M., Lockwood, D. A model, algorithms and strategy for train pathing. Journal of the Operational Research Society, 1995, Vol. 46, pp. 988–1005. DOI: <https://doi.org/10.1057/jors.1995.136>.

18. Jovanovich, D., Harker, P. T. Tactical scheduling of train operations: the SCAN I system. Transportation Science, 1991, Vol. 25, pp. 46–64. DOI: <https://doi.org/10.1287/trsc.25.1.46>.

19. Merkuriev, Y., Niemi, E. Modern approaches to flexible manufacturing systems simulation. Helsinki University of Technology, Control Engineering Laboratory, 1988, Report 79, 61 p.

20. Ng, A. K. Y.; Jiang, Changmin; Larson, P.; Prentice, B.; Duval, D. Transport Nodal Systems. Elsevier Inc., 2018, 204 p. ISBN 978-0-12-811067-6.

21. Rodrigue, J.-P. The Geography of Transport Systems. Routledge, 2020, 480 p. ISBN 9780367364632.

22. Мишарин А. С., Козлов П. А. Двухуровневые системы оптимизации транспортных процессов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. – № 8. – С. 3–9. [Электронный ресурс]: <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J13660338>. Доступ 14.07.2021.

23. Козлов П. А., Колокольников В. С. Макроструктурный подход в исследовании железнодорожных станций // Транспорт Урала. – 2017. – № 2 (53). – С. 3–7. [Электронный ресурс]: <http://www.usurt.ru/transporturala/rus/magazines>. Доступ 14.07.2021. ●

### Информация об авторах:

**Козлов Пётр Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, президент научно-производственного холдинга «Стратег», Москва, Россия, [laureat\\_k@mail.ru](mailto:laureat_k@mail.ru).

**Вакуленко Сергей Петрович** – кандидат технических наук, профессор, директор Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, [vakulenkosp@mail.ru](mailto:vakulenkosp@mail.ru).

**Козлова Валерия Петровна** – доктор экономических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, [valeriek@mail.ru](mailto:valeriek@mail.ru).

**Евреенова Надежда Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, [pnevreenova@mail.ru](mailto:pnevreenova@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 14.07.2021, одобрена после рецензирования 03.09.2021, принята к публикации 10.09.2021.