**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

**ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**
**(В И Н И Т И  Р А Н)**

# ТРАНСПОРТ

## НАУКА, ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ

## НАУЧНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ СБОРНИК

# TRANSPORT

## SCIENCE, EQUIPMENT, MANAGEMENT

## SCIENTIFIC INFORMATION COLLECTION

**Издается с 1990 г.** **№ 5** **Москва 2019**

Научный информационный сборник «ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление» включен в новый ПЕРЕЧЕНЬ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидатов наук, на соискание ученой степени докторов наук (Перечень ВАК). Действует с 01.12.2015.

**С О Д Е Р Ж А Н И Е**

**Резер С.М., Резер А.В., Лёвин С.Б., Носырев И.И.** Математическое моделирование перевозок грузов в спецконтейнерах ..... 3

**Бессоненко С.А.**, **Бадажков М.А.** Энергоэффективное планирование отправления поездов ..... 11

**Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Джаббаров Ш.Б., Саидивалиев Ш.У.** О скольжении колёсных пар вагона на тормозных позициях сортировочных горок ..... 16

**Сакульева Т.Н.** История развития Московской окружной железной дороги (Московского центрального кольца) ..... 22

**Числов О.Н., Богачев В.А., Кравец А.С., Задорожний В.М., Богачев Т.В.** Развитие методов распределения зерновых грузопотоков в припортовой железнодорожной транспортно-технологической системе ..... 29

**Безруков Д.Д., Пономарёв Е.А.** Технология автоматического перемещения грузов в вагонах перспективных высокоскоростных грузовых поездов ..... 36

**Пухова Е.В.** Модернизация и развитие магистральной и транспортной инфраструктуры России как фактор повышения экономического роста ..... 42

**Адамия А.М., Кохреидзе М.В., Лозовецкий В.В., Лебедев В.В.** Исследование огнестойкости теплоизоляционных материалов для транспортных средств ..... 45

**Беданоков М.К., Гукетлев Ю.Х., Машинина Н.Г.** Программный метод развития транспортной инфраструктуры города Майкопа.. ..... 50

**Ивахненко А.М., Саркиев В.М., Ошорова В.В., Кузьмичева Е.О., Нгуен Тунг** Теоретическое исследование влияния ценового фактора на формирование функции транспортного спроса ..... 56

**Федотов А.И., Портнягин Е.М., Казаков А.С.** Методика анализа перемещения колеса при переезде автомобилем единичной неровности в процессе поворота на дороге без уклонов ..... 61

**Арифуллин И.В., Терентьев А.В., Кузнецов К.А., Ткачев Е.И.** Распределение провозных возможностей автотранспортного предприятия при оперативно-производственном планировании перевозок ..... 65

**Грушников В.А.** Современные решения проблемы безопасности дорожного движения в США ..... 70

**Раткин Л.С.** Защиты информации для транспортных систем на примере разработки стеганографических блокчейн-приложений для аэрокосмического комплекса ..... 75

Информация для авторов ..... 79

**C O N T E N T S**

**Rezer S.M. Rezer A.V., Lyovin S.B., Nosyrev I.I.** Mathematical modeling of cargo transportation in special containers ..... 3

**Bessonenko S.A., Badazkhov M.A.** Energy efficient train departure planning ..... 11

**Turanov Kh.T., Gordienko A.A., Djabborov Sh.B., Saidivaliev Sh.U.** About sliding car's wheel pairs on the hump breaking positions ..... 16

**Sakulyeva T.N.** History of development of Moscow circuitous railway (Moscow central ring) ..... 22

**Chislov O.N., Bogachev V.A., Kravets A.S., Zadorozhny V.M., Bogachev T.V.** The development of methods for thedistribution of grain traffics in the port railway transport-technological system ..... 29

**Bezrukov D.D., Ponomarev E.A.** Automatic cargo shift technology in wagons of high speed freight trains ..... 36

**Pukhova E.V.** Modernization and development of the main and transport infrastructure of Russia as a factor of economic growth ..... 42

**Adamiya A.M., Kochreidze M.V., Lozovetsky V.V., Lebedev V.V.** The study of fire resistance of thermal insulation materials for vehicles ..... 45

**Bedanokov M.K., GuketlevY.K., Mashinina N.G.** Programmatic method for development of the transport infrastructure of the city of Maikop ..... 50

**Ivakhnenko A.M., Sarkiev V.V., Oshorova V.V., Kuzmicheva E.O., Nguyen Tung** Theoretical research of the price factorimpact on the formation of the functions of transport demand ..... 56

**Fedotov A.I., Portnyagin E.M., Kazakov A.S.** Method of analysis of movement of the wheel when moving by the car of singleunevenness during the turn on the road without gradients ..... 61

**Arifullin I.V., Terent'ev A.V., Kuznetsov K.A., Tkachev E.I.** Distribution of carriage capacities at automobile enterprise in conditions of operational production planning of shipment ..... 65

**Grushnikov V.A.** Modern solutions of the road safety in the USA ..... 70

**Rathkeen L.S.** Protection of information for transport systems on the example of development of steganographic block-enclosed applications for the aerospace industry ..... 75

The Information for Authors ..... 79

**В н и м а н и ю  а в т о р о в  и  ч и т а т е л е й !**

**АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СБОРНИКА**

(по состоянию на 12.01.2019 г.)

| Наукометрический показатель | Значение |
|---|---|
| Двухлетний импакт-фактор в РИНЦ | 0,509 |
| Двухлетний импакт-фактор с учетом цитирования из всех источников | 0,733 |
| Пятилетний импакт-фактор в РИНЦ | 0,277 |
| Число статей за год в РИНЦ | 131 |

Сборник занимает 38-е место в рейтинге SCIENCE INDEX по тематике «Транспорт».

УДК 656.073.235

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ В СПЕЦКОНТЕЙНЕРАХ

Доктор техн. наук, профессор **Резер С.М.**
(Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук)
Доктор экон. наук, профессор **Резер А.В.**
доктор техн. наук **Лёвин С.Б.,**
аспирант **Носырев И.И.**
(Российский университет транспорта. РУТ - МИИТ)

# MATHEMATICAL MODELING OF CARGO TRANSPORTATION IN SPECIAL CONTAINERS

Doctor (Tech.), Professor **Rezer S.M**.
(All-Russian Institute of Scientific and Technical Information of the Russian Academy of Sciences)
Doctor (Econ.), Professor **Rezer A.V.,**
Doctor (Tech.) **Lyovin S.B.,**
Postgraduate **Nosyrev I.I.**
(Russian University of Transport. MIIT)

*Контейнерные перевозки грузов, спецконтейнеры, танк-контейнеры,рынок перевозок, прогноз, моделирование.*

*Container transportation of goods, special containers, tank containers, transportation market, forecast, modeling.*

*Рассматривается изучение методов оптимизации и математическое моделирование перевозок в спецконтейнерах в цепях поставок с учетом возможных возникающих ограничений. В рамках предлагаемой модели рассматриваются возникающие ограничения двух типов: ограничение на время перевозки спецконтейнера, ограничение на пропускную способность элемента логистической цепи в цепи поставок. Математическая модель, задача математической оптимизации, а также ее решение, проиллюстрирована на демонстрационном примере.*

*We consider the study of optimization methods and mathematical modeling of transport in special containers in supply chains, taking into account possible constraints that may arise. Within the framework of the proposed model, two types of constraints arise: restrictions on the transportation time of the special container, restrictions on the capacity of the supply chain element in the supply chain. The mathematical model, the problem of mathematical optimization, as well as its solution, is illustrated on a demo example.*

Впечатляющий рост рынка перевозок в танк-контейнерах (в среднем 29% в 2010 - 2017 гг.) и хороший прогноз дальнейшего роста этого рынка (в среднем 10% в 2018 - 2025 гг.) (рис. 1) требует пристального изучения математических моделей, востребованных для работы на этом стабильном быстрорастущем рынке с большим потенциалом дальнейшего роста.

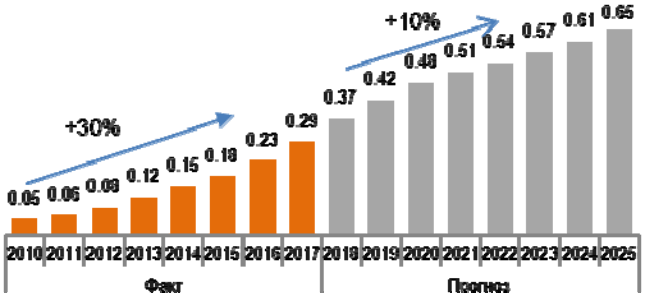



Рис. 1. Рост рынка перевозок в танк-контейнерах в период 2010 - 2017 гг. с прогнозом на период до 2025 года

Отметим некоторые присущие текущей ситуации тенденции на рынке перевозок в танк-контейнерах, важные для выбора изучаемых математических моделей. Динамика уровня контейнеризации в различных сегментах перевозок демонстрирует рост с умеренного до весьма значительного (рис. 2). Однако к настоящему времени на рынке сухих контейнеров образовался дефицит платформ в объеме 25% рынка, что привело к росту ставок на вагон. В настоящее время дефицит закрывается парком СНГ и парком универсальных платформ. Из этого можно сделать вывод, что при математическом моделировании наиболее полезным и востребованным будет изучение методов оптимизации и математическое моделирование перевозок в спецконтейнерах в цепях поставок с учетом возможных возникающих ограничений [1, 2].

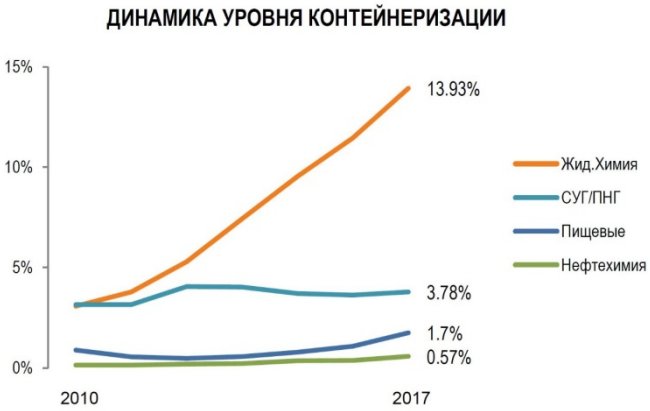



Рис. 2. Динамика уровня контейнеризации в период 2010 - 2017 гг. в различных сегментах рынка перевозок: 13,93% - жид. химия; 3,78% - СУГ/ПНГ; 1,7% - пищевые; 0,57% - нефтехимия

В рамках предлагаемой модели рассматриваются возникающие ограничения двух типов: 1) ограничение на время перевозки спецконтейнера, 2) ограничение на пропускную способность элемента логистической цепи в цепи поставок. Первый тип ограничений учитывает

обязательства оператора перевозок перед грузоотправителями и грузополучателями, второй тип ограничений учитывает возможные проблемы из-за нехватки платформ, недостаточной мощности терминалов по погрузке/разгрузке спецконтейнеров с платформ и т.д. [3, 5-7].

Хотя различные типы спецконтейнеров (танк-контейнеры, рефконтейнеры и др.) имеют свою довольно различную специфику, возможно рассмотрение их перевозки в цепях поставок в рамках одной модели, что и предлагается сделать в настоящей статье [4].

**Математическая модель и задача оптимизации перевозок грузов в спецконтейнерах**

Опишем предлагаемую математическую модель и решаемую в ее рамках задачу оптимизации перевозок в спецконтейнерах в цепях поставок.

Цепи поставок рассматриваются как ориентированный граф $\Gamma = (\mathrm{V}, \mathrm{E})$ с множеством вершин $V = \{1, \ldots, N\}$, соответствующих элементам цепей поставок, и множеством ориентированных ребер $E \subset V \times V$, состоящим из таких пар $(i, j)$, что возможен переход контейнеров из пункта $i$ цепи поставок в пункт $j$.

Под элементами цепи поставок понимаются не только физические элементы транспортной инфраструктуры, такие как контейнерные терминалы или железнодорожные станции, но и все необходимые для перевозки процессы, включая обслуживание от момента получения груза и информации от грузоотправителя до доставки груза конечному грузополучателю. В данной цепи поставок происходит движение спецконтейнеров разных типов. Пусть всего имеется $q$ разных типов контейнеров.

В рамках предлагаемой модели вместо рассмотрения движения индивидуальных контейнеров по цепи поставок предлагается рассмотреть транспортный поток спецконтейнеров за некоторый период времени $T$, например месяц.

В предлагаемой модели учитываются ограничения двух типов: 1) ограничение на время перевозки спецконтейнера, 2) ограничение на пропускную способность элемента логистической цепи в цепи поставок. Для того чтобы эти ограничения учесть, в модели вводятся необходимые характеристики как цепи поставок, так и транспортных потоков, а также самих типов контейнеров.

Каждый тип контейнеров имеет предельно допустимое время транспортировки в цепи поставок. Для контейнера типа $j, j = 1, \ldots, q,$ обозначим соответствующее предельное время через $m_j$. Предельное время может возникать по разным причинам: как из-за физических свойств перевозимых грузов (например, для рефконтейнеров ввиду предельных сроков хранения перевозимых грузов), так и из-за ограничений, наложенных в контрактах с грузоотправителем / грузополучателем [8 - 10].

Под «типом контейнера» не обязательно понимать физический тип контейнера, это тип контейнера в математической модели. Танк-контейнер, который необходимо доставить не более чем за месяц, и танк-контейнер, который необходимо доставить не более чем за полтора месяца, в модели можно рассматривать как два разных типа контейнера.

Чтобы учитывать ограничения на время перевозок, соответствующие характеристики должны приписываться также элементам цепи поставок. А именно - вершинам и ребрам ориентированного графа цепи поставок $\Gamma = (\mathrm{V}, \mathrm{E})$. Для элемента цепи поставок номер $i \in V$ время нахождения спецконтейнера в данном элементе цепи поставок обозначим как $t_i$, а для звена цепи поставок $(i, j) \in E$ время перехода через это звено из элемента $i \in V$ в элемент $j \in V$ цепи поставок обозначим как $t_{ij}$.

Заметим, что для некоторых вершин и ребер графа цепи поставок соответствующие значения времени могут равняться нулю. Например, для операций оформления грузов с помощью компьютерных технологий время проведения соответствующих операций мало и им можно при необходимости пренебречь для простоты.

Так как в модели учитываются и ограничения на пропускную способность элемента логистической цепи в цепи поставок, введем соответствующие величины. Для элемента цепи поставок номер $i \in V$ предельное количество проходящих через него за период времени $T$ спецконтейнеров обозначим через $S_i$, а для звена цепи поставок $(i, j) \in E$ предельное количество проходящих из элемента $i \in V$ в элемент $j \in V$ цепи поставок за период времени $T$ спецконтейнеров обозначим $S_{ij}$.

Каждый из рассматриваемых в модели потоков спецконтейнеров $f_k, k = 1, \ldots, K,$ характеризуется следующими величинами:

$A_k \in \Gamma$ – номер начального пункта потока $f_k$ в цепи поставок $\Gamma$;

$B_k \in \Gamma$ – номер конечного пункта потока $f_k$ в цепи поставок $\Gamma$;

$R_k$ – количество спецконтейнеров потока $f_k$, перевезённых за период времени $T$;

$Q_k$ – тип спецконтейнеров потока $f_k$.

В рамках данной модели предлагается решить **задачу оптимальной маршрутизации контейнеров в цепи поставок**, то есть в качестве начальных данных задается граф, описывающий цепь поставок, а также описывающие его характеристики данные и сведения об имеющихся потоках спецконтейнеров, а в качестве решения получается выбор оптимального маршрута в данной цепи поставок. Оптимальность понимается как быстрейшая доставка. То есть в качестве целевой функции берётся суммарное время контейнеров в пути, но с соблюдением всех наложенных ограничений на время спецконтейнера в пути и пропускную способность элементов цепи поставок.

Для решения этой задачи на первом этапе для каждого из потоков спецконтейнеров $f_k$ составляется список возможных маршрутов $I_{kl}, k = 1, ..., N, l = 1, ..., L_k$, в цепи поставок, то есть, вариантов логистических цепочек для данного потока спецконтейнеров.

Маршрут (логистическая цепочка маршрутов) $I_{kl}, k = 1, ..., K, l = 1, ..., L_k$ описывается своей длиной

$d_{kl}$ (измеряемой в количестве проходимых вершин графа цепи поставок) и списком вершин графа цепи поставок $v_{kl1},\ldots,v_{kld_{kl}}$, где $v_{kl1}=A_k$ и $v_{kld_{kl}}=B_k$.

Составление данных логистических цепочек является сложной проблемой со множеством факторов, требует привлечения экспертных заключений и не может быть полностью автоматизировано. Поэтому данный этап рассматривается как «внешний» с точки зрения модели, то есть возможные маршруты (логистические цепочки) предполагаются для каждого потока спецконтейнеров уже заданными.

На втором этапе решается уже чисто математическая задача минимизации суммарного времени транспортировки спецконтейнеров в цепи поставок с учетом всех ограничений.

Заметим, что время транспортировки спецконтейнера из потока $f_k$ по маршруту (логистической цепочке) $I_{kl}$ равно

$$W_{kl}=\sum_{i=1}^{d_{kl}}t_i+\sum_{i=1}^{d_{kl}-1}t_{i,i+1}.$$

Неизвестными величинами в предлагаемой модели являются количества спецконтейнеров из каждого потока $f_k$, направляемые по маршруту $I_{kl}$. Обозначим эти количества через $x_{kl}$. Тогда минимизируемой целевой функцией является простая линейная функция

$$F\left(x_{11},\ldots,x_{NL_N}\right)=\sum_{k=1}^{N}\sum_{l=1}^{L_k}W_{kl}x_{kl},$$

но с большой системой дополнительных условий на предельное время транспортировки и пропускную способность вершин и ребер графа цепи поставок.

Во-первых, для каждого потока спецконтейнеров $f_k$ суммарное количество спецконтейнеров, перевозимых по разным маршрутам (логистическим цепочкам), должно равняться общему количеству спецконтейнеров данного потока за изучаемый период времени $T$, то есть

$$\sum_{l=1}^{L_k}x_{kl}=R_k,k=1,\ldots,K.$$

Во-вторых, необходимо не превышать пропускную способность вершин и звеньев графа $\Gamma$. пи поставок.

Для учета этого условия введем дополнительные величины, описывающие, задействованы или нет данные вершины или ребра графа цепи поставок в данном маршруте (логистической цепочке).

Пусть $z_{ikl}=1$, если вершина $i$ графа $\Gamma$. пи поставок есть в маршруте $I_{kl}$, или $z_{ikl}=0$ - в противном случае.

Аналогично, пусть $z_{ijkl}=1$, если ребро $(i,j)$ графа $\Gamma$ цепи поставок есть в маршруте $I_{kl}$, или $z_{ijkl}=0$ - в противном случае.

Тогда условие не превышения пропускной способности вершин и звеньев цепи поставок записываются как система неравенств

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L_k}x_{kl}\,z_{ikl}\le S_i,\ i=1,\ldots,N,$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L_k}x_{kl}z_{ijkl}\le S_{ij},\ (i,j)\in E.$$

В-третьих, время транспортировки $W_{kl}$ спецконтейнера из потока $f_k$ по маршруту (логистической цепочке) $I_{kl}$ не должно превышать предельно допустимого времени транспортировки контейнера соответствующего типа $Q_k$, то есть

$$W_{kl}\le m_{Q_k}.$$

Заметим, что на самом деле последнее условие не зависит от неизвестных переменных $x_{11},\ldots,x_{NL_N}$, а просто имеет некоторое влияние на рассматриваемые логистические цепочки, которое легко удовлетворить, удаляя неподходящие логистические цепочки еще до перехода от первого этапа ко второму.

С математической точки зрения искомые переменные $x_{kl}$ целочисленные, целевая функция $F\left(x_{11},\ldots,x_{NL_N}\right)$ линейна и все дополнительные условия на искомые величины линейны.

Полученную задачу можно эффективно решить стандартными алгоритмами целочисленного линейного программирования, например, «методом ветвей и границ».

### Пример использования предлагаемой математической модели и соответствующей задачи оптимизации

В качестве иллюстрации рассмотрим пример со следующим графом $\Gamma$ цепи поставок (рис. 3).

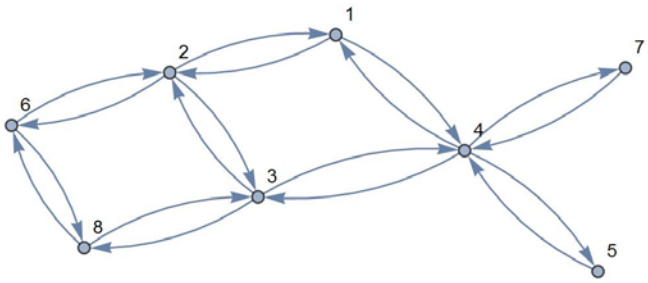



Рис. 3. Пример графа $\boldsymbol{\Gamma}$ цепи поставок

На этом рисунке изображен пример графа цепи поставок, у которого 8 вершин, соответствующих 8 элементам цепи поставок, с 18 ориентированными ребрами, соответствующими возможным переходам из одного элемента цепи поставок в другой.

Задача рассматривается для $q=2$ типов спецконтейнеров. В качестве длительности периода моделирования рассмотрим один месяц, то есть, $T=30$ дням. В качестве предельно допустимого времени транспортировки в цепи поставок $m_i$ для спецконтейнеров типа $i$ будем рассматривать значения из таблицы 1.

*Таблица 1.*

**Предельно допустимое время транспортировки в цепи поставок для спецконтейнеров каждого типа**

| Номер типа спецконтейнера | Предельно допустимое время транспортировки в цепи поставок |
|---|---|
| 1 | 14 |
| 2 | 21 |

Зададим для каждого элемента цепи поставок, характеризуемого номером $i \in V$ соответствующей вершины графа поставок, время нахождения спецконтейнера в данном элементе цепи поставок, которое мы обозначаем в модели через $t_i$. Соответствующие значения приведены в таблице 2.

*Таблица 2.*

**Время нахождения спецконтейнера в каждом элементе цепи поставок**

| Номер вершины графа цепи поставок | Время нахождения спецконтейнера в данном элементе цепи поставок |
|---|---|
| 1 | 2 |
| 2 | 1 |
| 3 | 1 |
| 4 | 3 |
| 5 | 1 |
| 6 | 2 |
| 7 | 1 |
| 8 | 1 |

Графически время нахождения спецконтейнера в каждом элементе цепи поставок удобно изображать, подписывая соответствующее время на графе (рис. 4), где номер вершины графа цепи поставок написан внутри соответствующего вершине диска, а время нахождения спецконтейнера в данном элементе цепи поставок приписано сверху.

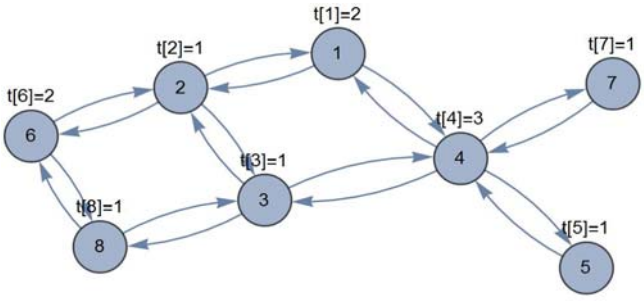



Рис. 4. Рассматриваемый граф $\mathbf{\Gamma}$ цепи поставок с подписанными временами прохождения через каждое звено цепи поставок

Также необходимо задать времена перехода спецконтейнера из элемента $i \in V$ в элемент $j \in V$ цепи поставок, которые в предлагаемой модели обозначены $t_{ij}$.

В предлагаемом в данном примере графе имеется 18 ориентированных ребер $\{i, j\} \in E$ для каждого время перехода $t_{ij}$ спецконтейнера из элемента $i \in V$ в элемент $j \in V$ цепи поставок (таблице 3).

*Таблица 3.*

**Заданные времена перехода спецконтейнера из элемента $i \in V$ в элемент $j \in V$ цепи поставок (в предлагаемой модели обозначены через $t_{ij}$)**

| Ребро графа цепи поставок $\{i, j\}$ | Время $t_{ij}$ |
|---|---|
| {1,2} | 1 |
| {2,1} | 1 |
| {2,3} | 1 |
| {3,2} | 1 |
| {3,4} | 1 |
| {4,3} | 1 |
| {4,5} | 1 |
| {5,4} | 1 |
| {6,2} | 2 |
| {2,6} | 2 |
| {6,8} | 1 |
| {8,6} | 1 |
| {8,3} | 1 |
| {3,8} | 1 |
| {4,7} | 1 |
| {7,4} | 1 |
| {1,4} | 3 |
| {4,1} | 3 |

Графически времена $t_{ij}$ перехода спецконтейнера из элемента $i \in V$ в элемент $j \in V$ цепи поставок удобно изображать в виде меток на соответствующих ориентированных ребрах графа цепи поставок (рис. 5). На рисунке номер вершины графа цепи поставок написан внутри соответствующего вершине диска, а время перехода спецконтейнера вдоль ребра из одной вершины в другую приписано сверху этого ребра.

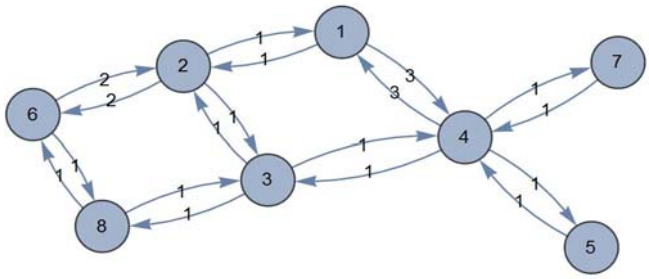



Рис. 5. Рассматриваемый граф $\mathbf{\Gamma}$ цепи поставок с подписанными временами $t_{ij}$ перехода спецконтейнера из элемента $i \in V$ в элемент $j \in V$ цепи поставок

Как уже было сформулировано в описании предлагаемой математической модели, каждый элемент цепи поставок характеризуется своей предельной пропускной способностью за время $T$.

Для элемента цепи поставок номер $i \in V$ предельное количество проходящих через него за период времени $T$ спецконтейнеров было обозначено через $S_i$. Их значения в рассматриваемом примере возьмем из таблицы 4.

*Таблица 4.*

**Заданные предельные количества спецконтейнеров $S_i$, проходящих за время $T$ через вершину $i \in V$ графа цепи поставок**

| Номер вершины $i$ графа цепи поставок | Предельное количество спецконтейнеров $S_i$, проходящих за время $T$ через соответствующую вершину |
|---|---|
| 1 | 50 |
| 2 | 40 |
| 3 | 50 |
| 4 | 50 |
| 5 | 50 |
| 6 | 50 |
| 7 | 50 |
| 8 | 30 |

Графически предельное количество проходящих через каждый элемент цепи поставок за период времени $T$ спецконтейнеров удобно изображать, подписывая соответствующее количество на графе (рис. 6), где номер вершины графа цепи поставок написан внутри соответствующего вершине диска, а предельное количество спецконтейнеров в данном элементе цепи поставок приписано сверху.

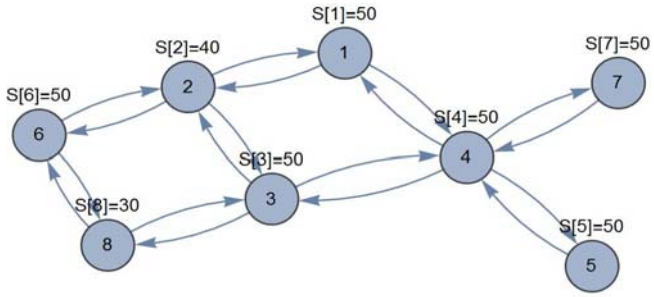



Рис. 6. Рассматриваемый граф $\Gamma$ цепи поставок с подписанными предельными количествами проходящих за время $T$ спецконейтеров через каждое звено цепи поставок

Для звена цепи поставок $(i, j) \in E$ предельное количество проходящих из элемента $i \in V$ в элемент $j \in V$ цепи поставок за период времени $T$ спецконтейнеров было обозначено через $S_{ij}$. Их значения в рассматриваемом примере возьмем из таблицы 5.

Графически предельные количества $S_{ij}$ спецконтейнеров, переходящих за время $T$ из элемента $i \in V$ в элемент $j \in V$ цепи поставок, удобно изображать в виде меток на соответствующих ориентированных ребрах графа цепи поставок (рис. 7). Номер вершины графа цепи поставок написан внутри соответствующего вершине диска, а предельное количество спецконтейнеров, переходящих вдоль ребра из одной вершины в другую, написано сверху этого ребра.

*Таблица 5.*

**Заданные предельные количества $S_{ij}$ спецконтейнеров, переходящих за время $T$ из элемента $i \in V$ в элемент $j \in V$ цепи поставок**

| Ребро графа цепи поставок $\{i, j\}$ | Предельное количество $S_{ij}$ спецконтейнеров, проходящих за время $T$ через ребро графа цепи поставок $\{i, j\}$ |
|---|---|
| {1,2} | 30 |
| {2,1} | 30 |
| {2,3} | 30 |
| {3,2} | 30 |
| {3,4} | 30 |
| {4,3} | 30 |
| {4,5} | 30 |
| {5,4} | 30 |
| {6,2} | 50 |
| {2,6} | 50 |
| {6,8} | 30 |
| {8,6} | 30 |
| {8,3} | 30 |
| {3,8} | 30 |
| {4,7} | 30 |
| {7,4} | 30 |
| {1,4} | 20 |
| {4,1} | 20 |

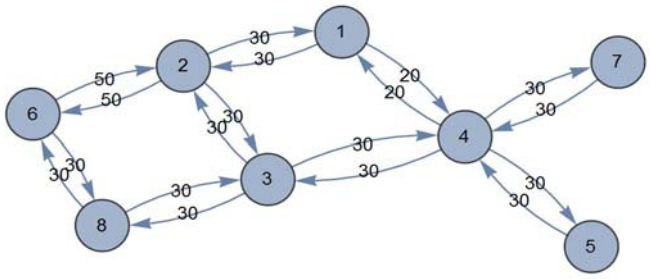



Рис. 7. Рассматриваемый граф $\Gamma$ цепи поставок с подписанными предельными количествами $S_{ij}$ спецконтейнеров, переходящих за время $T$ из элемента $i \in V$ в элемент $j \in V$ цепи поставок

Зададим в рассматриваемом примере $K = 2$ потока контейнеров. ***Первый поток*** $f_1$ будет состоять из $R_1 = 30$ спецконтейнеров типа $Q_1 = 1$, движущихся из начального пункта $A_1 = 1$ цепи поставок в конечный пункт $B_1 = 7$ цепи поставок.

***Второй поток*** $f_2$ будет состоять из $R_2 = 20$ спецконтейнеров типа $Q_2 = 2$, движущихся из начального пункта $A_2 = 6$ цепи поставок в конечный пункт $B_2 = 5$ цепи поставок. Эти сведения представлены для удобства в таблице 6.

*Таблица 6.*

**Сведения о каждом из рассматриваемых в модели потоке спецконтейнеров**

| Поток спец-контейнеров | Начальный пункт | Конечный пункт | Количество спец-контейнеров за время $T$ | Тип контейнеров |
|---|---|---|---|---|
| $f_1$ | $A_1 = 1$ | $B_1 = 7$ | $R_1 = 30$ | $Q_1 = 1$ |
| $f_2$ | $A_2 = 6$ | $B_2 = 5$ | $R_2 = 20$ | $Q_2 = 2$ |

На основании экспертных заключений составляется список возможных маршрутов (логистических цепочек) для каждого потока спецконтейнеров. Как уже было сказано выше, составление данных логистических цепочек является сложной проблемой с множеством факторов, требует привлечения экспертных заключений и не может быть полностью автоматизировано. Поэтому данный этап рассматривается как «внешний» с точки зрения модели, то есть возможные маршруты (логистические цепочки) для каждого потока спецконтейнеров предполагаются уже заданными.

Рассмотрим следующие маршруты (логистические цепочки) для каждого из предлагаемых в примере потоков спецконтейнеров.

***Для первого потока*** $f_1$ предлагается $L_1 = 2$ возможных маршрута.

Маршрут $I_{11}$ имеет длину в $d_{11} = 5$ вершин графа цепи поставок $v_{11} = \{1,2,3,4,7\}$.

Маршрут $I_{12}$ имеет длину в $d_{12} = 3$ вершин графа цепи поставок $v_{12} = \{1,4,7\}$.

***Для второго потока*** $f_2$ предлагается $L_2 = 2$ возможных маршрута.

Маршрут $I_{21}$ имеет длину в $d_{21} = 5$ вершин графа цепи поставок $v_{21} = \{6,2,3,4,5\}$.

Маршрут $I_{22}$ имеет длину в $d_{22} = 5$ вершин графа цепи поставок $v_{22} = \{6,8,3,4,5\}$.

Сведения об этих маршрутах удобно задать в виде таблицы 7.

*Таблица 7.*

**Сведения о каждом из рассматриваемых в модели возможном маршруте (логистической цепочке) для потока спецконтейнеров**

| Поток спецконтейнеров | Вариант маршрута | Количество вершин графа цепи поставок в маршруте | Вершины графа цепи поставок в машруте |
|---|---|---|---|
| $f_1$ | $I_{11}$ | $d_{11} = 5$ | $v_{11} = \{1,2,3,4,7\}$ |
| $f_1$ | $I_{12}$ | $d_{12} = 3$ | $v_{12} = \{1,4,7\}$ |
| $f_2$ | $I_{21}$ | $d_{21} = 5$ | $v_{21} = \{6,2,3,4,5\}$ |
| $f_2$ | $I_{22}$ | $d_{22} = 5$ | $v_{22} = \{6,8,3,4,5\}$ |

На следующем этапе необходимо найти время транспортировки спецконтейнера из потока $f_k$ по маршруту (логистической цепочке) $I_{kl}$ по заданной ранее формуле

$$W_{kl} = \sum_{i=1}^{d_{kl}} t_i + \sum_{i=1}^{d_{kl}-1} t_{i,i+1}.$$

Полученные результаты приведены в таблице 8.

*Таблица 8.*

**Сведения о времени транспортировки спецконтейнера по каждому из рассматриваемых в модели возможному маршруту (логистической цепочке)**

| Поток спецконтейнеров | Вариант маршрута | Время транспортировки спецконтейнера по маршруту $I_{kl}$ |
|---|---|---|
| $f_1$ | $I_{11}$ | 12 |
| $f_1$ | $I_{12}$ | 10 |
| $f_2$ | $I_{21}$ | 13 |
| $f_2$ | $I_{22}$ | 12 |

Как уже отмечалось выше, время транспортировки $W_{kl}$ спецконтейнера из потока $f_k$ по маршруту (логистической цепочке) $I_{kl}$ не должно превышать предельно допустимого времени транспортировки контейнера соответствующего типа $Q_k$, то есть

$$W_{kl} \le m_{Q_k}.$$

Маршруты, не удовлетворяющие этому условию, должны быть отброшены. Проверка показывает, что в рассматриваемом примере все маршруты удовлетворяют этому условию.

Как сказано в описании модели, неизвестными величинами в предлагаемой модели являются количества $x_{kl}$ спецконтейнеров из каждого потока $f_k$, направляемые по маршруту $I_{kl}$, а минимизируемой целевой функцией является простая линейная функция

$$F\left(x_{11},\ldots,x_{NL_N}\right) = \sum_{k=1}^{N}\sum_{l=1}^{L_k} W_{kl}\, x_{kl},$$

но с большой системой дополнительных условий, проистекающих из дополнительных условий на предельное время транспортировки и пропускную способность вершин и ребер графа цепи поставок.

В нашем примере, учитывая результаты из таблицы 8, получаем целевую функцию

$$F\left(x_{11},x_{12},x_{21},x_{22}\right) = 12x_{11} + 10x_{12} + 13x_{21} + 12x_{22}.$$

Теперь рассмотрим возникающие условия на искомые переменные. Во-первых, для каждого потока спецконтейнеров $f_k$ суммарное количество перевозимых по разным маршрутам (логистическим цепочкам) спецконтейнеров должно равняться общему количеству

спецконтейнеров данного потока за изучаемый период времени $T$, то есть

$$\sum_{l=1}^{L_k} x_{kl} = R_k, k = 1,\ldots,K.$$

В случае примера это условие переписывается как набор условий

$$x_{11} + x_{12} = 30,$$

$$x_{21} + x_{22} = 20.$$

Во-вторых, необходимо не превышать пропускную способность вершин и звеньев графа $\Gamma$. пи поставок.

Для учета этого условия введем дополнительные величины, описывающие, задействованы или нет данные вершины или ребра графа цепи поставок в данном маршруте (логистической цепочке).

Эти величины легко найти из приведенных в примере данных, но их много и для удобства чтения текста мы опустим их значения в данном примере.

Как было сказано в описании модели, условие не превышения пропускной способности вершин и звеньев цепи поставок записываются как система неравенств

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L_k} x_{kl}\, z_{ikl} \le S_i,\ i = 1,\ldots,N,$$

которая в примере принимает вид

$$x_{11} + x_{12} \le 50,\ x_{11} + x_{21} \le 40,\ x_{11} + x_{21} + x_{22} \le 50,$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{21} + x_{22} \le 50,\ x_{21} + x_{22} \le 50,$$

$$x_{11} + x_{12} \le 50,\ x_{22} \le 30,$$

а система неравенств

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L_k} x_{kl}\, z_{ijkl} \le S_{ij},\ \ (i,j) \in E,$$

в примере принимает вид

$$x_{11} \le 30,\ \mathrm{x}_{11} + \mathrm{x}_{21} \le 30,$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{22} \le 30,\ x_{21} + x_{22} \le 30,$$

$$x_{21} \le 50,\ x_{22} \le 30,\ x_{22} \le 30,$$

$$x_{11} + x_{12} \le 30,\ x_{12} \le 20.$$

Также необходимо добавить условия неотрицательности и целочисленности величин $x_{ij}$.

Так как искомые переменные $x_{kl}$ целочисленные, целевая функция $F\left(x_{11},\ldots,x_{NL_N}\right)$ линейна и все дополнительные условия на искомые величины линейны, то получаем задачу целочисленного линейного программирования. Получаемый в результате ответ следующий:

$$x_{11} = 10,\ x_{12} = 20,\ x_{21} = 0,\ x_{22} = 20.$$

Это значит, что распределение спецконтейнеров каждого из потоков по возможным маршрутам (логистическим цепочкам) следует из таблицы 9.

*Таблица 9.*

**Оптимальное распределение спецконтейнеров по каждому из рассматриваемых в модели возможному маршруту (логистической цепочке)**

| Поток спецконтейнеров | Вариант маршрута | Оптимальное количество $x_{kl}$ спецконтейнеров данного потока, отправляемого по данному маршруту |
|---|---|---|
| $f_1$ | $I_{11}$ | 10 |
| $f_1$ | $I_{12}$ | 20 |
| $f_2$ | $I_{21}$ | 0 |
| $f_2$ | $I_{22}$ | 20 |

Задача целочисленного линейного программирования может быть эффективно решена стандартными алгоритмами целочисленного линейного программирования, например «методом ветвей и границ». Эти алгоритмы эффективно реализованы в различных библиотеках подпрограмм и средах программирования. Для решения в данном примере была использована современная среда компьютерной алгебры **Wolfram Mathematica** (программа в приложении), но предлагаемую задачу можно решить эффективно и на других языках программирования, с использованием стандартных библиотек.

## Выводы

В данной статье была построена математическая модель движения потоков спецконтейнеров по цепи поставок в терминах теории направленных графов, на основании которой была предложена **задача оптимальной маршрутизации спецконтейнеров в цепи поставок** с учетом предельной возможной длительности перевозки для каждого типа спецконтейнеров и пропускной способности элементов цепи поставок.

Полученная математическая модель и задача математической оптимизации сведены к решению задачи целочисленного линейного программирования, для которой известны эффективные алгоритмы решения. Например, в качестве такого метода можно использовать «метод ветвей и границ» [7 - 13].

## Литература


1. Морозов В.Н. Перспективы развития контейнерных перевозок в международных трансконтинентальных сообщениях // Транспорт: наука, техника, управление. – 2009. - №1. – С.3-6.
2. Лёвин С.Б. Управление перевозочным процессом транспортной компании // Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. - №1. – С. 48-52
3. Лёвин С.Б. Создание электронной отчетной документации транспортной компании // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. - №5. – С.. 54-58
4. Учет выполнения графика движения грузовых поездов / Г. А. Кузнецов [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2011. № 3. С. 20–25. ISSN 0044-4448.
5. Бадажков М.А. Автоматизация планирования отправления поездов по твердым ниткам графика // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2017. №2(41). С. 14–21. ISSN 1815-9265.

6. Елисеев С.Ю., Шатохин А.А. Логистические принципы ффективного взаимодействия операторов подвижного состава и грузовладельцев// Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. - №9. – С. 25-30
7. Инструкция по разработке графика движения поездов в ОАО «РЖД» / ВНИИАС. – М. : Техинформ, 2006. 183 с.
8. Система ГИД «Урал-ВНИИЖТ»: внедрение, модернизация, перспективы развития / Г. А. Кузнецов [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2008. №2. С. 15–21.ISSN 0044-4448.
9. Биленко Г. М., Волков В. С. График оборота локомотивов как основа движения грузовых поездов // Наука и техника транспорта. 2016. №2. С. 79–86.
10. Елисеев С.Ю., Шатохин А.А. Сокращение простоев грузовых вагонов в ожидании погрузки // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. - №5. – С. 19-22
11. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Система поддержки принятия экономически обоснованных решений // Экономика железных дорог.- 2005.- № 1.- С.18-26.
12. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Ситуационное управление перевозочным процессом // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ.- 2004.- № 11.- С.14-16.
13. Полянский, Ю.А. Топологическое моделирование взаимодействия хозяйств железной дороги / Ю.А. Полянский, П.В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ РАН.- 2003.- № 7.- С.8-18.

**Сведения об авторах**

**Резер Семён Моисеевич,** доктор техн. наук, профессор, заведующий ОНИ по транспорту ВИНИТИ РАН, заведующий кафедрой «Коммерческая эксплуатация транспорта и тарифы» Московского университета транспорта (РУТ - МИИТ).
Тел. моб. 8(495) 764 26 78
E-mail: guilldexp@yandex.ru.

**Резер Алексей Владимирович**, доктор экон. наук, профессор кафедры «Финансы и кредит», Российский университет транспорта (РУТ - МИИТ),
127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9
Тел. 8 (495) 684-29-19
E-mail: guilldexp@yandex.ru.

**Лёвин Сергей Борисович,** д.т.н.Московского государственного университета путей сообщения (МГУПС-МИИТ), генеральный директор ООО «РРЛ» (Rail & Road Logistics),
123290, г. Москва, 1-й Магистральный тупик, 5А
Тел. 8-495-211-2112
E-mail: SL@9915535.ru.

**Носырев И.И.,** аспирант Российского университета транспорта (РУТ - МИИТ)

УДК 656.222.6

# ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ОТПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Доктор техн. наук, профессор **Бессоненко С. А.**,
аспирант **Бадажков М.А.**
(Сибирский государственный университет путей сообщения. СГУПС)

# ENERGY EFFICIENT TRAIN DEPARTURE PLANNING

Doctor (Tech.), Professor **Bessonenko S. A.**
Postgraduate **Badazkhov M.A.**
(Siberian Transport University)

*Рациональное использование ниток, энергоэффективность графика, автоматизация планирования, нитки графика, распределение поездов.*

*Rational use of threads, energy efficiency of the graphics, automation of planning, thread of the graphic, distribution of trains.*

*В статье предложена технология организации движения поездов, основанная на принципе сокращения эксплуатационных расходов. Данная технология обеспечивает энергоэффективное использование ниток нормативного графика движения за счет рационального порядка отправления поездов с технических станций. Описана система применения предлагаемой технологии, исключающая необходимость громоздких математических расчетов. Приведено аналитическое обоснование выдвинутых предложений. Представлены графики распределения расходов для разных весовых категорий поездов в зависимости от количества остановок на участке и разобраны конкретные примеры по использованию предлагаемой технологии.*

*The article proposes the technology of train traffic organization, based on the principle of reducing operating costs. This technology provides energy efficient use of the graphics of the regulatory traffic schedule due to the rational procedure for the departure of trains from technical stations. The system of application of the proposed technology is described. The analytical proof of the proposals put forward is given. Schedules of distribution of expenses for different weight categories of trains are presented depending on the number of stops on the site and specific examples on the use of the proposed technology are analyzed.*

Вопрос планирования поездной работы при помощи программных комплексов и информационных систем давно интересует железнодорожные и научно-исследовательские организации [1–9]. Это в полной мере относится к вопросу эффективной организации движения поездов по графику.

Нитка графика – это ценный ресурс, который, однако, в некоторых ситуациях используется экономически необоснованно. Причиной этого является то, что на участке между техническими станциями нитки различаются как по числу, так и по продолжительности стоянок на промежуточных станциях.

Наличие стоянок на участке сопряжено с дополнительными затратами [10, 11], в том числе на расход электроэнергии во время стоянок. С другой стороны, снятие ниток с наличием стоянок по техническим станциям в ожидании прямых ниток, приведет к дополнительным затратам, связанным с простоем поезда на технической станции.

Целью данного исследования является разработка технологии, позволяющей максимально сократить расходы, связанные со стоянками поездов на промежуточных станциях участка. Основные тезисы данной технологии публиковались в [12, 13, 14]. В данной статье поставлена задача разработки механизма использования технологии энергоэффективного распределения поездов по ниткам графика силами дежурно-диспетчерского персонала. Данная задача решается в два этапа:

1. Исключение использования части ниток со стоянками на участке (с безусловным учетом текущей поездной обстановки).

2. Планирование отправления поездов на нитки с учетом массы поезда и обеспечение наибольшей энергоэффективности – на нитки со стоянками назначать поезда с наименьшей массой.

Планирование осуществляется с первой свободной от поездов нитки графика для самого легковесного из поездов-«претендентов». Использование нитки целесообразно, если выполняется условие:

$$P_{пром} \leq P_{тех}, \quad (1)$$

где $P_{пром}$ – расходы на связанные со стоянками на промежуточных станциях участка при использовании данной нитки; $P_{тех}$ – расходы на связанные с увеличением стоянки на технических станциях при снятии рассматриваемой нитки [12, 13].

Для расчета расходов выделяются основные параметры:

а) связанные со стоянками на промежуточных станциях участка ($P_{пром}$), которые включают в себя:

- совокупность затрат на работу локомотивной бригады во время стоянок $P_{лб}$;
- затраты на разгон и замедление (энергетические) $P_{рз}$;
- затраты на использование локомотива, вагонов $P_{лв}$;
- затраты электроэнергии во время остановки $P_{э.}$;

б) возникающие при увеличении стоянок на технических станциях в ожидании прямой нитки ($Р_{тех}$), которые состоят из совокупности следующих расходов:

- затраты на использование локомотива, вагонов (на время ожидания поезда) $Р_{лв}$;
- затраты на использование локомотива, вагонов других поездов, простаивающих в результате сдвига ниток $\sum Р_{тех}$;
- затраты электроэнергии во время стоянки $Р_э$.

Указанные выше группы расходов рассчитываются по формулам:

$$Р_{пром} = Р_{лб} + Р_{рз} + Р_{лв} + Р_э; \quad (2)$$

$$Р_{лб} = \left(t_с + t_р + t_з\right) \cdot \frac{e_{бр}}{60}, \quad (3)$$

где $t_с$ – суммарное время стоянок, заложенное ниткой графика, мин;

$t_р$ – время на разгон на станциях, где предусмотрена остановка поезда, мин;

$t_з$– время на замедление на станциях, где предусмотрена остановка поезда, мин;

$e_{бр}$–расходная ставка 1 бригада-ч, руб./ч [12, 13].

$$Р_{рз} = 3{,}8 \cdot \left(Q_{лок} + Q_{бр}\right) \cdot V_x^2 \cdot \alpha \cdot 10^{-6} \cdot N_{ост}, \quad (4)$$

где $Q_{лок}$– масса локомотива, т;

$Q_{бр}$– масса состава поезда брутто, т;

$V_x^2$ – ходовая скорость движения поезда, км/ч;

α– расход энергоресурсов на 1 т·км механической работы локомотива, принимается равной 3,6 кВт/ч;

$N_{ост}$– количество остановок на промежуточных станциях, заложенных ниткой графика.

$$Р_{лв} = \left(t_с + t_р + t_з\right) \cdot \frac{\left(e_{лок} + e_{ваг} \cdot 70\right)}{60}, \quad (5)$$

где $e_{лок}$– расходная ставка локомотива-ч, руб./ч;

$e_{ваг}$ – расходная ставка вагон-ч, руб./ч.

$$Р_э = Ц_э + t_с \cdot \frac{Н_{пр}}{60}, \quad (6)$$

где $Ц_э$ – стоимость одного кВт·ч электроэнергии, руб./кВт·ч;

$Н_{пр}$ – норма расхода энергоресурсов на 1 ч простоя, кВт·ч.

$$Р_{тех} = \sum Р_{лв} + Р_э, \quad (7)$$

$$\sum P_{лв} = \sum_{i=1}^{m} t_i \bullet \frac{\left(e_{лок} + e_{ваг} \bullet 70\right)}{60}, \quad (8)$$

где $m$ – число перепростаивающих поездов, или число используемых подряд ниток до первой свободной;

$t_i$– время перепростоя $i$-го поезда.

При невыполнении условия (1) нитка снимается и рассматривается следующая нитка. При выполнении условия производится подбор поезда для нитки, что является выбором варианта с таким порядком отправления поездов, при котором достигаются наименьшие эксплуатационные расходы.

Для каждого варианта распределения поездов определяются эксплуатационные расходы $\sum Р_э$ по формуле:

$$\sum P_э = \sum_{j=1}^{p} P_{пром.\,j}, \quad (9)$$

где $Р_{пром,j}$– расходы, вызываемые стоянками поездов на промежуточных станциях участка для нитки графика при каком-то выбранном поезде;

$j$ – порядковый номер нитки, начиная с планируемой.

После выбора варианта с наименьшими эксплуатационными расходами на рассматриваемую нитку планируется поезд, соответствующий данному варианту, поле чего рассматривается следующая нитка и цикл начинается заново.

Таким образом, для достижения наиболее рационального способа использования заложенных графиком движения ниток и пропускной способности участка в процессе планирования необходимо решить две задачи.

1. Определить целесообразность использование нитки (исходя из актуальных на текущий момент времени размеров подвода поездов).

2. Выбрать наиболее рациональный вариант распределения поездов между нитками графика.

Для решения первой задачи необходимо сравнить вышеприведенные группы расходов, а именно расходы, связанные с использованием рассматриваемой нитки, с расходами, образующимися в результате ее снятия [12, 13]. Проверка целесообразности использования нитки производится для ниток, имеющих одну и более стоянок. Расчет проводится для самого легкого поезда среди возможных поездов - «претендентов» для данной нитки. Это обусловлено существованием прямой прямо пропорциональной зависимости эксплуатационных расходов, вызванных остановкой поезда от его массы. Расчет затрат от увеличения сверхнормативного простоя поездов на технической станции в результате сдвига ниток при снятии рассматриваемой нитки производится для всех поездов, которые будут задержаны в результате снятия нитки. Количество таких поездов равно $k$ ($k$ – порядковый номер первой нитки, после рассматриваемой, на которую нет поездов-«претендентов», при условии использования всех предшествующих ниток). Если в результате расчета $Р_{тех}$ превысят $Р_{пром}$, то данная нитка не будет использоваться. В противном случае нитка признается экономически пригодной для использования, после чего в процессе планирования наступает переход к следующему шагу – подбор для нитки из возможных «претендентов» поезда, позволяющего добиться минимальных затрат при использовании нитки, то есть определение наиболее рационального варианта распределения поездов между нитками графика.

Вторая из поставленных задач состоит в расчете и последующем анализе затрат от использования рассматриваемой нитки каждым из возможных поездов-«претендентов». Проводится сравнение полученных результатов и выбор варианта распределения с наименьшими эксплуатационными расходами.

Представленная технология сопряжена с целым рядом громоздких расчетов, в том числе, с перебором огромного числа вариантов распределения поездов между нитками графика, что является непосильной задачей для человека. В целях повышения потенциала практического применения представляемой технологии

предлагается решение, упрощающее процесс использования методики энергоэффективного использования ниток графика и значительно сокращающее количество вычислений.

**Первый этап технологии** – рассмотрение экономической целесообразности использования нитки. Этот вариант можно рассчитать в общем случае заранее и результат представить пользователю в графическом виде. Задача сведется к определению с помощью имеющегося графика и небольшого числа данных, характеризующих поездную обстановку энергетической целесообразности использования нитки.

Формулы, используемые для расчета $P_{тех}$и $P_{пром}$ , являются линейными функциями $P(t)$. В случае $P_{тех}$ единственной переменной, от которой зависит значение функции, является $t_{тех}$ (суммарное время простоя поездов в ожидании нитки графика на технической станции). Согласно формуле (8):

$$t_{mex} = \sum_{i=1}^{m} t_i \,. \qquad (10)$$

В случае построения графика для функции, описывающей $P_{пром}$, количество влияющих факторов увеличивается. Однако и в данной ситуации возможно представить линейную функцию (а точнее несколько) с переменной $t_{пром}$, являющейся совокупностью времени стоянок поездов на промежуточных станциях и времени на разгон и замедление. Для функции $P_{пром}(t_{пром})$ существуют еще два переменных параметра. Это - масса поезда $Q_п$ (равна сумме $Q_{лок}$ и $Q_{бр}$) и количество стоянок, заложенное ниткой графика $N_{ост}$. Для графического изображения масса поезда выбрана в интервале от 200 т до 6200 т с шагом в 1000 т. Каждый шаг изображен в виде отдельной функции на одном графике. Функции имеют названия от $P_0$ до $P_6$ и соответствуют массам поездов: $P_0$ – 200 т, $P_1$ – 1200 т, $P_2$ – 2200 т, $P_3$ – 3200 т, $P_4$ – 4200 т, $P_5$ – 5200 т, $P_6$ – 6200 т. Количество остановок принято от 1 до 4 (использование большего числа остановок на практике, как правило, нецелесообразно). Для каждого $N_{ост}$ построен отдельный график.

Графики функций $P_{тех}$ и $P_{пром}$ в зависимости от числа остановок $N_{ост}$, изображены на рисунках 1 – 4.

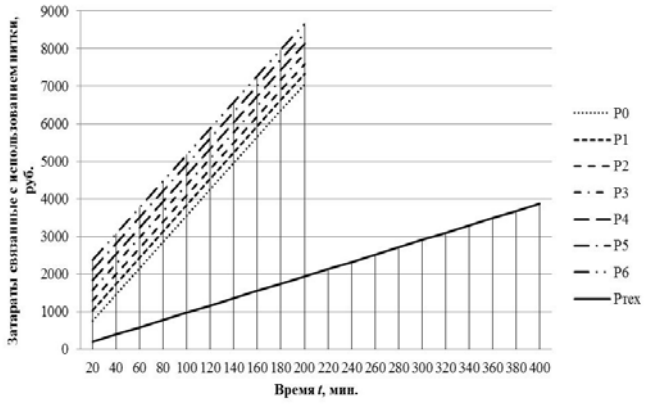



Рис.1. График распределения расходов, связанных с использованием нитки и возникающих в результате ее съема, для ниток с количеством остановок равным 1

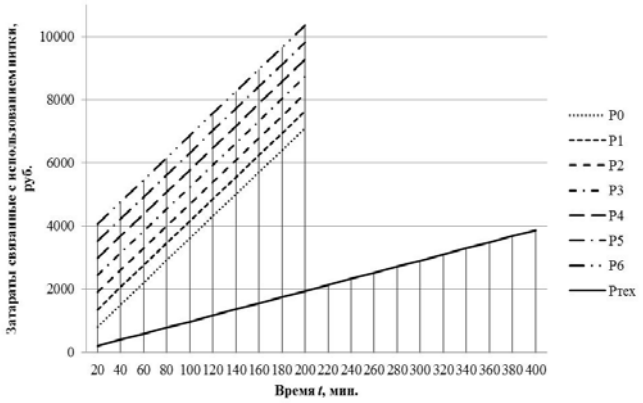



Рис.2. График распределения расходов, связанных с использованием нитки и возникающих в результате ее съема, для ниток с количеством остановок равным 2

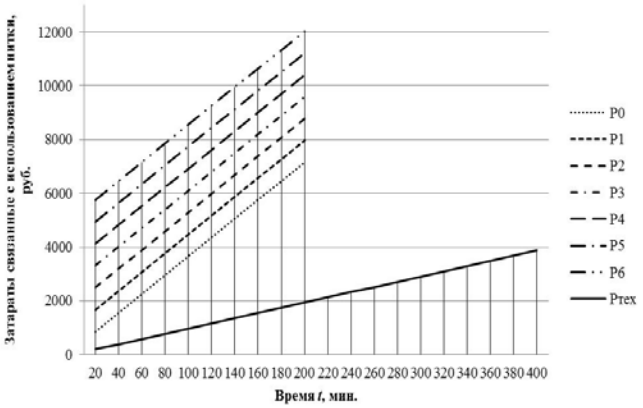



Рис.3. График распределения расходов, связанных с использованием нитки и возникающих в результате ее съема, для ниток с количеством остановок равным 3

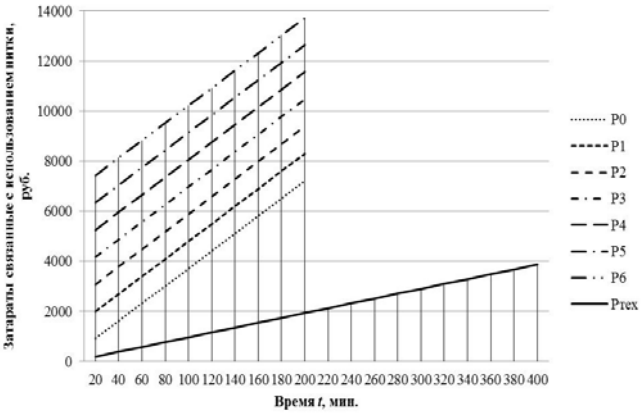



Рис.4. График распределения расходов, связанных с использованием нитки и возникающих в результате ее съема, для ниток с количеством остановок равным 4

Практическое применение изображенных графиков предельно просто и заключается в последовательном выполнении представленных ниже операций. Для определения целесообразности использования нитки необходимо:

1. Отложить горизонтальную проекцию функции $P_{тех}$ для заданного значения $t_i$ на ось ординат.
2. Отложить горизонтальную проекцию функции $P_{пром,}$ соответствующей массе рассматриваемого поезда ($P_0$,$P_1$, $P_2$, $P_3$, $P_4$, $P_5$, $P_6$), для заданного значения времени стоянки на промежуточных станциях на ось ординат.

3. Сравнить расположение полученных проекций.

4. Нитка является целесообразной для использования, если проекция на ось ординат функции $P_{пром}$ расположена на графике ниже проекции функции $P_{тех}$.

**Пример.** Определим целесообразность использования нитки графика с 3 остановками, суммарным временем остановок равным 115 мин, для поезда массой 4200 т. В случае не использования нитки, суммарный простой поездов на технической станции в ожидании следующего составит 360 мин.

На рисунке 5 отображен процесс определения целесообразности использования нитки. Проложив горизонтальные прямые в точках соответствующих значениям функций $P_{тех}$ (для 360 мин) и $P_4$ (для 115 мин), видно, что проекция на ось ординат функции $P_{тех}$ расположена ниже, чем у функции $P_4$. Условие, обозначенное выше под п.4, не выполняется.

**Вывод:** использование рассматриваемой нитки графика не является целесообразным для заданного условием задачи поезда, а значит, не будет использоваться при планировании отправления поездов. Целесообразность данной нитки была бы возможной, если бы проекция функции $P_{тех}$ располагалась выше проекции функции $P_4$.

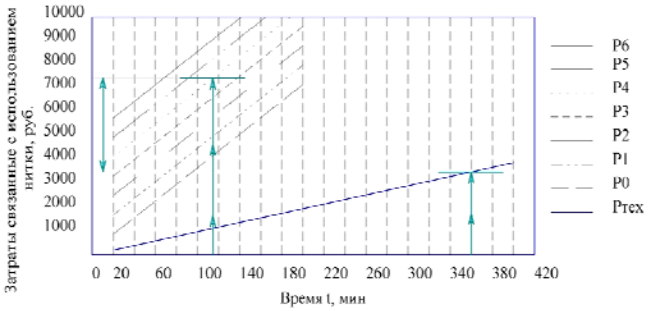



Рис.5. Пример графического определения целесообразности использования нитки графика

Из графиков, изображенных на рисунках 1-4, наглядно видно, что для большинства поездов, как правило, нецелесообразно использовать нитки с числом остановок 3 и более. Данный факт обусловлен большими издержками, возникающими от остановок на участке. Использование таких ниток целесообразно только в том случае, если отказ от них приведет к увеличению суммарного простоя поездов на технической станции на время, превышающее 180 мин. Нитки с 4-мя остановками можно использовать только для легковесных поездов, что вполне логично и подтверждается графиками.

**Второй этап технологии** - выбор наиболее рационального варианта распределения поездов между имеющимися, заранее определенными, нитками. Нецелесообразные нитки при этом не используются.

В общем виде, затраты при различных вариантах пропуска $n$ поездов по $n$ ниткам будут отличаться на величины, зависящие от массы поезда и числа остановок заложенного ниткой графика. Затраты, зависящие от времени остановок, заложенного ниткой графика (использование локомотивов, бригад, инфраструктурная составляющая), будут одинаковы для всех поездов. Соответственно затраты от использования нитки графика $P_{пром}$ можно условно представить в виде линейной функции

$$f(Q)=NQ,$$

где $N$ – количество остановок, заложенное ниткой графика, соответствующее $N_{ост}$;

$Q$ – масса назначаемого на нитку поезда, соответствующая $Q_п$.

Необходимо найти такое распределение значений $N_1$, $N_2$, $N_3$, … $N_n$ и $Q_1$, $Q_2$, $Q_3$, … $Q_n$, чтобы $\sum_{i=1}^{n} N_i Q_i \to min$. В этом выражении: $i$ – порядковый номер нитки графика и поезда, упорядоченных с условием возрастания количества остановок (для нитки) и массы (для поезда); $n$ – число рассматриваемых ниток/поездов. Возможна ситуация, в которой будет несколько ниток с одинаковым количеством остановок и несколько поездов с одинаковой массой (что намного реже). В данном случае порядок расположения ниток/поездов будет зависеть от временных параметров, то есть меньшим порядковым номером будет обладать нитка/поезд, имеющие меньшее время отправления/прибытия.

Данная задача является классическим транснеравенством, решение которой давно известно [15]. Сумма $N_iQ_i$ примет минимально возможное значение при следующем **варианте распределения:**

$$N_1Q_n+N_2Q_{n-1}+N_3Q_{n-2}+\ldots+N_{n-1}Q_2+N_nQ_1.$$

То есть, экономически наиболее выгодным вариантом распределения поездов между нитками графика будет являться вариант, при котором соблюдается правило: поезда, обладающее наибольшей массой, должны назначаться на нитки с наименьшим числом остановок.

Используя данное правило, перебор вариантов сводится лишь к учету приоритетности и времени прибытия поезда, тогда как вопрос громоздких экономических расчетов отпадает за ненадобностью.

Рассмотрим пример распределения для заданных параметров $N$ и $Q$ (количества остановок и масс поездов). $N_1$=1, $N_2$=2, $N_3$=3, $N_4$=4, $Q_1$=3,2 тыс.т, $Q_2$=4,2 тыс.т, $Q_3$=5,2 тыс.т, $Q_4$=6,2 тыс.т.

Наименьшее значение $\sum_{i=1}^{4} N_i Q_i = 42$ принимает при варианте распределения

$$N_1Q_4+N_2Q_3+N_3Q_2+N_4Q_1.$$

Иными словами, практический пример подтверждает ранее выдвинутый тезис о минимизации затрат при таком варианте распределения поездов между нитками графика, при котором поезда, обладающие наибольшей массой, назначаются на нитки с наименьшим количеством остановок [16, 17].

## Выводы

1. Предложена технология по оптимальному использованию ниток графика движения поездов.

2. Смоделирован процесс планирования поездной работы.

3. Предложена система, позволяющая передать функции планирования отправления поездов от дежурного диспетчерского персонала станций на ЭВМ. Снижение уровня загруженности на дежурно-диспетчерский персонал, как следствие, окажет позитивное влияние на повышение уровня безопасности движения поездов. Кроме того, предложенная технология позволит значительно сократить эксплуатационные расходы на движение поездов.

**Литература**

1. Кузнецов Г. А. ГИД «Урал-ВНИИЖТ»: опыт внедрения и перспективы развития / Г.А. Кузнецов, В.П. Крайсвитний, С.В. Крашенинников, Н.Ф. Слободенюк // Железнодорожный транспорт.- 2006. - № 5. - С. 38–42. ISSN 0044-4448.

2. Инструкция по разработке графика движения поездов в ОАО «РЖД» / ВНИИАС. – М. : Техинформ, 2006. - 183 с.

3. Система ГИД «Урал-ВНИИЖТ»: внедрение, модернизация, перспективы развития / Г.А. Кузнецов [и др.] // Железнодорожный транспорт. - 2008. - №2. - С. 15–21. ISSN 0044-4448.

4. Учет выполнения графика движения грузовых поездов / Г.А. Кузнецов [и др.] // Железнодорожный транспорт. - 2011. - № 3. - С. 20–25. ISSN 0044-4448.

5. Шаров В.А., Бородин А.Ф. Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию // Железнодорожный транспорт. - 2011. - № 8. - С. 11–22.ISSN 0044-4448.

6. ГИД «Урал-ВНИИЖТ»: аналитические функции и автоматизация труда диспетчеров / Г.А. Кузнецов [и др.] // Железнодорожный транспорт. - 2012. - № 3. - С. 21–25. ISSN 0044-4448.

7. Иванов П.А. График движения поездов как основа качества перевозочного процесса // Железнодорожный транспорт. - 2014. - № 2. - С. 21–23. ISSN 0044-4448.

8. Кирякин В.Ю., Новгородцева А.В. Полигонная технология формирования прогнозных вариантных графиков с использованием АПК «Эльбрус» // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». - 2014. - № 1. - С. 16–20. ISSN – 2304-9642.

9. Реализация полигонной технологии с использованием АПК «Эльбрус» / В.Ю. Кирякин [и др.] // Железнодорожный транспорт. - 2014. - № 6. - С. 18–24. ISSN 0044-4448.

10. Некрашевич В. И. Проблема адаптации графика движения грузовых поездов колебаниями вагонопотоков // Вестник ВНИИЖТ. - 2006. - №4. - С. 8–15. ISSN 2223-9731.

11. Биленко Г.М., Волков В.С. График оборота локомотивов как основа движения грузовых поездов // Наука и техника транспорта. - 2016. - №2. - С. 79–86.

12. Бадажков М.А. Энергоэффективная технология отправления поездов. В кн.: Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика, Том 1, Алматы, 2017: материалы. Алматы: Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2017. - С. 160–164.

13. Бадажков М.А. Энергоэффективное использование ниток графика в организации движения поездов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. - 2017. -№2(34). -С. 111–119. ISSN 2079–0392.

14. Бадажков М.А. Автоматизация планирования отправления поездов по твердым ниткам графика // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения.-2017.- №2(41). - С. 14–21. ISSN 1815-9265.

15. Арбит А.В. Неравенства и основные способы их доказательства. Часть 1// Приложение к журналу "Квант".- 2016. - №3. - 168 с. ISBN 978-5-4439-1068-0.

16. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Ситуационное управление перевозочным процессом // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ.- 2004.- № 11.- С.14-16.

17. Полянский, Ю.А. Топологическое моделирование взаимодействия хозяйств железной дороги / Ю.А. Полянский, П.В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ РАН.- 2003.- № 7.- С.8-18.


**Сведения об авторах**


**Бессоненко Сергей Анатольевич**, научный руководитель, доктор техн. наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС);

630049. г. Новосибирск.ул. Д. Ковальчук, 191.

Тел. моб. +7-923-121-97-13

E-mail: bessonenkosa@mail.ru.

**Бадажков Михаил Александрович**, аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), начальник железнодорожной станции Изынский Западно-Сибирской дирекции управления движением;

630049. г. Новосибирск.ул. Д. Ковальчук, 191.

Тел. моб. +7-952-930-2648

E-mail: badajkovmihail@gmail.com.

УДК 656.21.001.2

# О СКОЛЬЖЕНИИ КОЛЁСНЫХ ПАР ВАГОНА НА ТОРМОЗНЫХ ПОЗИЦИЯХ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК

Доктор техн. наук, профессор **Туранов Х.Т**.,
кандидат техн. наук, доцент **Гордиенко А.А**.
(Уральский государственный университет путей сообщения)

Ассистент **Джаббаров Ш. Б.,** ассистент **Саидивалиев Ш. У.**
(Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта)

# ABOUT SLIDING CAR'S WHEEL PAIRS ON THE HUMP BREAKING POSITIONS

Doctor (Tech.), Professor **Turanov Kh.T**.,
Ph. D. (Tech.), Assistant Professor **Gordienko A.A.**
(Urals State University of Railway Transport – USURT)

Assistant **Djabborov Sh.B.,** Assistant **Saidivaliev Sh.U.**
(Tashkent Institute of Railway Transport Engineers)

*Железная дорога, станция, сортировочная горка, вагон, скольжение колеса по рельсу, инерция вращающихся масс.*

*Railway, station, marshalling hump, car, sliding of the wheel along the rail, inertia of rotational masses.*

*В статье приведено математическое доказательство, что на тормозных позициях сортировочных горок происходит скольжение обода колёсных пар по тормозным шинам вагонного замедлителя вследствие появляющегося при их срабатывании «сухого трения». Результатами приведенных расчетов с использованием положений теоретической механики доказана некорректность учёта момента инерции вращающихся частей (колёсных пар) вагонов на участках тормозных позиций сортировочных горок. Примерами показано, что при выполнении горочных расчётов скоростных участков сортировочных горок можно пренебречь моментом инерции вращающихся частей вагона без значительного влияния на результаты расчетов.*

*In the article, it is proved mathematically that on the hump braking positions occurs sliding wheelset rim on the brake tire wagon retarder due to appear when they trigger the "dry friction". The results of the calculations using the theoretical mechanics proved incorrect accounting of the moment of inertia of the rotating parts (wheel pairs) of cars on hump braking positions. It is shown by examples of calculations that at performance of hump calculations of high-speed sections of marshalling humps it is possible to neglect the moment of inertia of rotating parts of the car without significant influence on results of calculations.*

## Актуальность проблемы

В [1 – 11] частично изложены результаты обсуждения теоретических положений существующей методики расчета сортировочных горок [12 – 14], направленной на определение высоты горки от ее вершины до расчетной точки. Авторы статей [2, 4] упорно отстаивают те положения в [12 – 14], где для определения скорости движения вагона на всех участках горки, включая участки тормозных позиций, использовано ускорение свободного падения $g'$ с учетом массы вращающихся частей (колёсных пар) вагона.

В [1, 3, 5 – 11] математическими выражениями и примерами расчётов сделана попытка доказать некорректность некоторых положений теоретических положений существующей методики расчета сортировочных горок [12 – 14]. Причем в [1, 3, 5 – 11] особо оговорено, что формула для определения скорости свободно падающего тела применима для скоростных участков горки лишь для идеальной связи (между колесами вагона и рельсовыми нитями), а для участков тормозных позиций, где связи неидеальные, применение данной формулы – принципиально ошибочно.

**Цель настоящей статьи.** С использованием основных положений теоретической механики обосновать некорректность учёта момента инерции вращающихся частей (колёсных пар) на участках тормозных позиций и возможность выполнения расчётов на скоростных участках горки без учета вращения центра масс колес вагона.

**Формулировка задачи.** Примерами расчётов доказать, что при выполнении расчётов скоростных участков сортировочной горки влияние момента инерции вращающихся частей вагона можно не учитывать.

## Результаты исследований

В отличие от общепринятого понимания процесса движения вагона на тормозных позициях сортировочной горки [4], приведем в данной статье доказательство скольжения колесных пар вагона на некоторых участках сортировочных горок (тормозные позиции) и соответственно невозможность учета инерции вращающихся частей вагона на всем профиле горки.

В связи с этим, опираясь на элементарные понятия инженерной механики, приведем математическое пояснение явления скольжения колёсных пар вагона при срабатывании вагонных замедлителей на участках тормозных позиций сортировочных горок.

Как и в [11], допускаем, что на участках тормозных позиций, происходит торможение вращающихся колёс,

тем самым происходит их скольжение по поверхностям катания рельсовых нитей и тормозным шинам вагонных замедлителей за счёт появляющейся силы «сухого трения» между боковыми поверхностями обода колёс и тормозными шинами вагонных замедлителей.

В этом случае, т.е. в момент срабатывания вагонного замедлителя, уравнение вращательного движения колес вагона принимает вид [15]:

$$J_C\ddot{\varphi} = 0, \qquad (1)$$

где $J_C$ - момент инерции колёсной пары (в дальнейшем – *вращающихся масс*), принятый для однородного тела, относительно оси, проходящей через центр масс, кг·м$^2$;

$\ddot{\varphi}$ - угловое ускорение колёсной пары, рад. / с$^2$.

Отсюда ясно, что

$$\ddot{\varphi} = 0 \text{ или } \ddot{\varphi} = \frac{d\dot{\varphi}}{dt} = 0.$$

Учитывая, что при $\boldsymbol{t} = 0$:

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} = 0 \text{ или } \dot{\varphi} = \omega = 0,$$

получают $\boldsymbol{\varphi} = 0$, что *доказывает отсутствие вращения* (и/или углового поворота) *колёсных пар относительно поверхностей катания рельсовых нитей*.

Это, в свою очередь, означает, что в случае, когда на участках тормозных позиций тормозят вращение колёс вагона (т.е. $\boldsymbol{\varphi} = 0$) включением вагонного замедлителя, происходит скольжение обода колёсных пар по тормозным шинам замедлителя вследствие появляющегося в этот момент «сухого трения» между их поверхностями. При этом колёсные пары вместе с тележками и кузовом вагона, как единая система твёрдых тел, совершают поступательное движение.

Отметим, что на участках тормозных позиций центр масс колёсных пар, начиная скользить относительно тормозных шин вагонного замедлителя, вместе с тележками и кузовом вагона совершают переносное поступательное движение (т.е. $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v_C}$), поэтому приведённая масса вагона должна быть определена без учёта момента инерции вращающихся масс $\boldsymbol{J_C}$ (см. *восьмой контрпример* в [1]).

В отличие от методики [2, 4], приведённую массу вагона с грузом $\boldsymbol{M_{пр}}$ с учётом момента инерции вращающихся масс $\boldsymbol{J_C}$ на всех скоростных участках спускной части горки следует определить по формуле [17]:

$$M_{пр} = M_1 + 1,5 n_{кп} m_{кп}, \qquad (2)$$

а для участков тормозных позиций приведённая масса вагона с грузом $\boldsymbol{M_{пр0}}$ совместно с не вращающимися частями (т.е. тележки, кузов вагона) *и/или при чистом скольжении колёсных пар на участках тормозных позиций* следует найти из выражения:

$$M_{пр0} = M_1 + n_{кп} m_{кп}. \qquad (3)$$

В формулах (2) и (3) приняты следующие обозначения:

$\boldsymbol{M_{пр}}$ – приведённая и/или воображаемая масса (см. стр. 353 в [18]) вагона с грузом с учётом момента инерции вращающихся частей (т.е. колёсных пар) $\boldsymbol{J_C}$, кг;

$\boldsymbol{M_1}$ – масса вагона с грузом с учетом не вращающихся частей (т.е. тележки, кузов вагона), кг;

$\boldsymbol{n_{кп}}$ – количество колёсных пар в одиночном вагоне, шт.;

$\boldsymbol{m_{кп}}$ – масса одной колёсной пары, кг;

$\boldsymbol{M_{пр0}}$ – приведённая и/или воображаемая масса вагона с грузом совместно с не вращающимися частями (т.е. тележки, кузов вагона и колёсные пары), кг.

Иначе, согласно равенству (3) на участках тормозных позиций не должен учитываться момент инерции вращающихся частей $\boldsymbol{J_C}$ (см. *восьмой контрпример* в [1] и данные табл. 1 в [19]).

Для доказательства вывода формулы (2) и (3) приведённую и/или воображаемую массу вагона $M_{пр}$ и $M_{пр0}$ представим, как это показано на рис. 1.

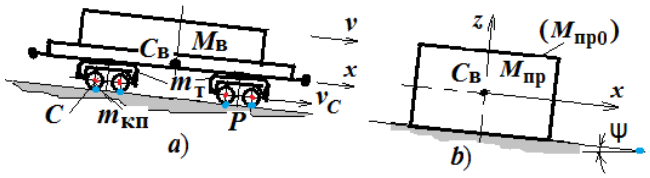



Рис. 1. Схемы к расчёту приведённой массы вагона
*a*) вагон с грузом; *b*) приведённая масса вагона с грузом

На рис. 1 обозначено: $\boldsymbol{x}$ – направление движения вагона; $\boldsymbol{C_в}$ – центр масс вагона с грузом; $\boldsymbol{C}$ – центр масс колёсной пары, которая движется плоскопараллельно; $\boldsymbol{v}$ – скорость вагона с грузом; $\boldsymbol{v_C} = \boldsymbol{v}$ – линейная скорость центра колеса $\boldsymbol{C}$; $\boldsymbol{P}$ – мгновенный центр скоростей колесной пары; $\boldsymbol{M_в}$ – масса вагона с грузом без учёта массы тележек и массы колёсных пар; $\boldsymbol{m_т}$ – масса двух тележек; $\boldsymbol{m_{кп}}$ – масса одной колёсной пары; $\boldsymbol{M_{пр}}$ и/или $\boldsymbol{M_{пр0}}$ – приведённая и/или воображаемая масса вагона (или масса всего вагона) с учётом и момента инерции вращающихся частей (колёсных пар) $\boldsymbol{J_C}$ и без него; $\boldsymbol{C_вxz}$ – система координат; $\boldsymbol{\psi}$ – уклон профиля пути.

Примем, что масса вагона $\boldsymbol{M_1}$ включает в себя массу груза на вагоне $\boldsymbol{M_в}$ и массу не вращающихся частей (массы двух тележек $\boldsymbol{m_т}$):

$$M_1 = M_в + m_т. \qquad (4)$$

Запишем кинетическую энергию тела (вагона) $\boldsymbol{E_в} = \boldsymbol{E_{пр}}$, движущегося поступательно, в виде:

$$E_{пр} = E_1 + n_{кп} E_2, \qquad (5)$$

где $\boldsymbol{E_{пр}} = \boldsymbol{E_в}$ – кинетическая энергия, приведённая к массе поступательно движущегося вагона (или к массе всего вагона) (см. рис. 1в):

$$E_{пр} = M_{пр}\frac{v^2}{2} = M_{пр}\frac{v_C^2}{2}; \qquad (6)$$

$\boldsymbol{E_1}$ – кинетическая энергия поступательно движущихся и/или не вращающихся частей вагона (кузов вагона и тележек):

$$E_1 = M_1\frac{v^2}{2}; \qquad (7)$$

$\boldsymbol{E_2}$ – кинетическая энергия одной колёсной пары, движущейся плоскопараллельно, которая, согласно теореме о плоскопараллельном движении твёрдого тела (теорема Кенига) (см. формулу (45) на стр. 304 в [15]), равна сумме кинетической энергии поступательного движения центра масс $\boldsymbol{C}$ (см. рис. 1а) и кинетической энергии за счёт вращения вокруг центра масс $\boldsymbol{C}$:

$$E_2 = m_{\text{кп}} \frac{v_C^2}{2} + J_C \frac{\omega^2}{2}, \quad (8)$$

где **ω** – угловая скорость колёсной пары при ее вращении относительно мгновенного центра скоростей ***P*** (см. рис. 1 в [8] и формулу (12) в [11]), $с^{-1}$:

$$\omega = \frac{v_C}{r} = \frac{v}{r}$$

с учётом того, что в ней

***r*** – радиус колеса колёсной пары по кругу катания, м.

С учётом последней формулы равенство (8) примет вид:

$$E_2 = \left( m_{\text{кп}} + \frac{J_C}{r^2} \right) \frac{v^2}{2}, \quad (9)$$

где $\boldsymbol{J_C}$ – момент инерции одной колёсной пары относительно оси, проходящей через центр масс ***C*** (см. рис. 1) (см. стр. 59 в [16]), $кг \cdot м^2$:

$$J_C = m_{\text{кп}} i^2 \quad (10)$$

где ***i*** – радиус инерции, м.

Принимаем колесо колёсной пары за однородный диск радиусом ***r*** (без внутренних раковин и других дефектов литья) (см. стр. 59 в [16]). Пренебрегая моментом инерции оси колёсной пары $\boldsymbol{J_{ось}}$, определим момент инерции однородного диска относительно оси, перпендикулярной к нему и проходящей через центр масс ***C*** (см. рис. 1а), в виде:

$$J_C = m_{\text{кп}} \frac{r^2}{2} = m_{\text{кп}} i^2,$$

отсюда

$$i^2 = \frac{r^2}{2}. \quad (11)$$

При необходимости можно определить момент инерции оси колёсной пары $\boldsymbol{J_o}$ относительно ее оси вращения $\boldsymbol{Cy_1}$ (см. рис. 2 в [11]):

$$J_{\text{o}} = m_{\text{o}} \frac{r_{\text{o}}^2}{2}, \quad (12)$$

где $\boldsymbol{m_o}$ и $\boldsymbol{r_o}$ – масса и радиус собственно оси колёсной пары.

Здесь отметим, что в инженерной механике ***осью*** называет деталь (например, ось вагона), которая испытывает воздействие только изгибающего момента $\boldsymbol{M_{изг}}$ (т.е. любое сечение оси воспринимает напряжение чистого изгиба $\boldsymbol{\sigma_{изг}}$) [20].

В этом случае момент инерции системы $J'_{\text{C}}$, состоящей из двух колёс и оси, равен сумме их моментов инерции (см. стр. 198 в [21]):

$$J'_{\text{C}} = J_{\text{o}} + 2J_{\text{C}}. \quad (13)$$

Подставляя формулу (7) в выражение (5), будем иметь:

$$E_2 = n_{\text{кп}} m_{\text{кп}} \left( 1 + \frac{i^2}{r^2} \right) \frac{v^2}{2}. \quad (14)$$

Принимая во внимание формулы (5) и (6), (10), (11), получим:

$$M_{\text{пр}} \frac{v^2}{2} = M_1 \frac{v^2}{2} + n_{\text{кп}} m_{\text{кп}} \left( 1 + \frac{i^2}{r^2} \right) \frac{v^2}{2},$$

откуда (после сокращений) приведённая масса вагона $\boldsymbol{M_{пр}}$, применительно к скоростным участкам сортировочных горок, примет вид:

$$M_{\text{пр}} = M_1 + n_{\text{кп}} m_{\text{кп}} \left( 1 + \frac{i^2}{r^2} \right). \quad (15)$$

С учётом формулы (11) последнее равенство примет вид:

$$M_{\text{пр}} = M_1 + n_{\text{кп}} m_{\text{кп}} \left( 1 + \frac{1}{2} \right),$$

или

$$M_{\text{пр}} = M_1 + \frac{3}{2} n_{\text{кп}} m_{\text{кп}}, \quad (16)$$

***что и требовалось доказать.***

Представим последнее равенство применительно к четырёхосному вагону при $\boldsymbol{n_{кп}} = 4$:

$$M_{\text{пр}} = M_1 + 6m_{\text{кп}}. \quad (17)$$

Если не учитывать момент инерции вращающихся частей (колёсных пар) $\boldsymbol{J_C}$, то приведённая масса вагона $\boldsymbol{M_{пр0}}$, применительно к участкам тормозных позиций, равна:

$$M_{\text{пр0}} = M_0 = M_1 + n_{\text{кп}} m_{\text{кп}}. \quad (18)$$

Применительно к четырёхосному вагону (при $\boldsymbol{n_{кп}} = 4$ шт.) приведённую и/или воображаемую массу вагона с грузом совместно с не вращающимися частями $\boldsymbol{M_{пр0}}$ (т.е. кузов вагона, тележки и колёсные пары) и/или при чистом скольжении колёсных пар на участках тормозных позиций можно из выражений:

$$M_{\text{пр0}} = M_0 = M_1 + 4m_{\text{кп}}, \quad (19)$$

***что и требовалось доказать.***

Найдём разность приведенных масс с учетом момента инерции колёсных пар $\boldsymbol{J_C}$ (см. стр. 58-59 в [16]) и без него:

$$\Delta M_{\text{пр}} = n_{\text{кп}} m_{\text{кп}} \frac{i^2}{r^2}. \quad (20)$$

Перепишем последнее равенство с учётом формулы (11):

$$\Delta M_{\text{пр}} = n_{\text{кп}} m_{\text{кп}} \frac{1}{2}. \quad (21)$$

Отсюда при $\boldsymbol{n_{кп}} = 4$ шт. можно непосредственно определить:

$$\Delta M_{\text{пр}} = 2m_{\text{кп}}. \quad (22)$$

Определим относительную ошибку, возникающую при выполнении расчетов без учета массы вращающихся частей (колёсных пар) вагона $\boldsymbol{J_C}$:

$$\delta M_{\text{пр}} = \frac{\Delta M_{\text{пр}}}{M_{\text{пр}}}. \quad (23)$$

Подставляя формулы (16) и (21) в последнюю формулу, после элементарных математических выкладок, будем иметь:

$$\delta M_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{кп}} m_{\text{кп}}}{2M_1 + 3n_{\text{кп}} m_{\text{кп}}}. \qquad (24)$$

Перепишем последнее равенство применительно к четырёхосному вагону при $\boldsymbol{n_{\text{кп}}} = 4$ и силе тяжести $\boldsymbol{G}$:

$$\delta M_{\text{пр}} = \frac{2m_{\text{кп}}}{M_1 + 6m_{\text{кп}}},$$

или, с учётом формулы (17),

$$\delta M_{\text{пр}} = \frac{2m_{\text{кп}}}{M_{\text{пр}}}. \qquad (25)$$

Аналогично формуле (25) находим относительную ошибку, возникающую при выполнении расчетов без учета массы при не вращающихся частях вагона, когда сила тяжести $\boldsymbol{G_1}$:

$$\delta M_{\text{пр0}} = \frac{2m_{\text{кп}}}{M_{\text{пр0}}}. \qquad (26)$$

Для *порожнего четырехосного вагона* относительную ошибку $\boldsymbol{\delta M_{\text{пв}}}$ находят по формуле:

$$\delta M_{\text{пв}} = \frac{2m_{\text{кп}}}{M_{\text{т}} + 6m_{\text{кп}}},$$

или, учитывая, что масса порожнего вагона

$$\boldsymbol{M_{\text{пв}}} = \boldsymbol{m_{\text{т}}} + 6\cdot\boldsymbol{m_{\text{кп}}},$$

$$\delta M_{\text{пв}} = \frac{2m_{\text{кп}}}{M_{\text{пв}}}. \qquad (27)$$

Напомним, что в существующей методике горочных расчётов [12 – 14] ускорение свободного падения g′ с учётом массы вращающихся колёсных пар определяют по эмпирической формуле (см. стр. 183 в [12]):

$$g' = \frac{g}{1+\gamma}, \qquad (28)$$

где $\gamma = \frac{0{,}42\, n}{Q}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий увеличение массы вращающихся частей вагона;

$\boldsymbol{n}$ – число осей вагона, шт.;

$\boldsymbol{Q}$ – вес вагона брутто, тс (см. стр. 183 в [5]).

Ускорение свободного падения g′ применяется в расчетах параметров тормозных позиций сортировочных горок, несмотря на то что выше была доказана некорректность учета инерции вращающихся частей вагона на данных участках.

***Пример расчёта.***

Для расчёта приведённых масс с учётом вращающихся колёсных пар и без него (на примере платформы) примем следующие исходные данные [19, 22]: $\boldsymbol{M_{\text{вгр}}} = 6{,}626\cdot10^3$ – масса вагона с грузом без учёта массы тележек и массы колёсных пар (в кг) при силе тяжести груза на вагоне $\boldsymbol{G_{\text{в}}} = 650$ кН; $\boldsymbol{m_{\text{т}}} = 14{,}68\cdot10^3$ – масса двух тележек (в кг) при силе тяжести тележек $\boldsymbol{G_{\text{в}}} = 144$ кН; $\boldsymbol{m_{\text{кп}}} = 1{,}937\cdot10^3$ – масса одной колёсной пары (в кг) при силе тяжести $\boldsymbol{G_{\text{кп}}} = 19$ кН.

***Результаты расчёта*** [23]. По формуле (4) рассчитаем массу вагона с грузом с учётом массы тележек и массы колёсных пар (т.е. не вращающихся частей вагона) $\boldsymbol{M_1}$, кг:

$$\boldsymbol{M_1} = \boldsymbol{M_{\text{вгр}}} + \boldsymbol{m_{\text{т}}} = 66{,}26\cdot10^3 + 14{,}68\cdot10^3 = 80{,}94\cdot10^3.$$

Согласно формуле (17) вычислим приведённую и/или воображаемую массу вагона (или масса всего вагона) $\boldsymbol{M_{\text{пр}}}$ при поступательном движении (см. рис. 1), кг:

$$\boldsymbol{M_{\text{пр}}} = \boldsymbol{M_1} + 6\cdot\boldsymbol{m_{\text{кп}}} = 80{,}94\cdot10^3 + 6\cdot1{,}937\cdot10^3 = 92{,}562\cdot10^3.$$

Принимая во внимание формулу (19), рассчитаем приведённую массу $\boldsymbol{M_{\text{пр0}}}$ при не вращающихся колёсных парах и/или при чистом скольжении колёсных пар, «зажатых» тормозными шинами вагонного замедлителя на участках тормозных позиций горки, кгс:

$$\boldsymbol{M_{\text{пр0}}} = \boldsymbol{M_0} = \boldsymbol{M_1} + 4\cdot\boldsymbol{m_{\text{кп}}} = 80{,}94\cdot10^3 + 4\cdot1{,}937\cdot10^3 = 88{,}688\cdot10^3.$$

И, наконец, по формуле (25) вычислим относительную ошибку $\boldsymbol{\delta M_{\text{пр}}}$ при не учёте момента инерции вращающихся частей (колёсных пар) $\boldsymbol{J_C}$ вагона, %:

$$\boldsymbol{\delta M_{\text{пр}}} = 2\cdot\boldsymbol{m_{\text{кп}}} / \boldsymbol{M_{\text{пр}}} = 2\cdot1{,}937\cdot10^3/(92{,}562\cdot10^3) = 0{,}042 = 4{,}2.$$

Как правило, в инженерных расчётах с относительной ошибкой менее 5 % пренебрегают.

Для порожнего вагона (платформы) относительную ошибку $\boldsymbol{\delta M_{\text{пв}}}$ вычислим по формуле (27), %:

$$\boldsymbol{\delta M_{\text{пв}}} = 2\cdot\boldsymbol{m_{\text{кп}}} / \boldsymbol{M_{\text{пв}}} = 2\cdot1{,}937\cdot10^3/(26{,}3\cdot10^3)\ 100 = 14{,}7,$$

*что достаточно значимо* с учетом того, что

$$\boldsymbol{M_{\text{пв}}} = \boldsymbol{m_{\text{т}}} + 6\cdot\boldsymbol{m_{\text{кп}}} = 14{,}68\cdot10^3 + 6\cdot1{,}937\cdot10^3 = 26{,}3\cdot10^3.$$

Далее приведём результаты вычисления ускорения свободного падения g′ с учётом момента инерции вращающихся масс, согласно существующей методике горочных расчётов [12 – 14] и рассуждениям на стр. 183 в [12], при исходных данных: $\boldsymbol{g} = 9{,}81$ м/с$^2$, $\boldsymbol{n} = \boldsymbol{n_{\text{кп}}} = 4$ шт., $\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{G_{\text{гр}}} = 92{,}56$ тс.

Безразмерный эмпирический коэффициент, учитывающий увеличение массы вращающихся частей для очень хорошего бегуна (ОХ) [13],

$$\boldsymbol{\gamma} = 0{,}42\cdot\boldsymbol{n}/\boldsymbol{Q} = 0{,}42\cdot4/92{,}56 = 0{,}018.$$

По эмпирической формуле (28) вычисляют ускорение свободного падения g′ с учётом инерции вращающихся колёсных пар:

$$g' = \boldsymbol{g}/(1+\boldsymbol{\gamma}) = 9{,}81/(1+0{,}018) = 9{,}635.$$

При этом относительная ошибка расчёта $\boldsymbol{\delta g}$ при $\boldsymbol{g} = 9{,}81$ м/с$^2$ (т.е. при $\boldsymbol{g} > g'$) составляет $\boldsymbol{\delta g} = 1{,}8$ %, что ***пренебрежимо мало.***

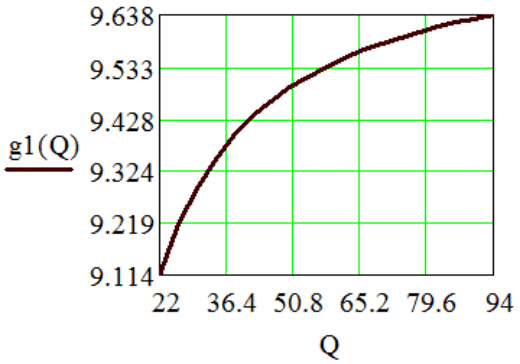



Рис. 2. Графическая зависимость $g' = f(Q)$

Используя формулу (28), построим графическую зависимость $g' = f(\boldsymbol{Q})$. Она представлена на рис. 2.

Как видно, зависимость $g' = f(\boldsymbol{Q})$, согласно формуле (28), носит параболический характер относительно оси абсцисс $\boldsymbol{Q}$, соответствующий переменной величине силы тяжести вагона с грузом $\boldsymbol{Q}$.

Согласно принятой в табл. 4.2 в [13] общепринятой терминологии:

для очень плохого бегуна (ОП) при $\boldsymbol{Q}$ = 22 тс (215,82 кН), м/с$^2$: $g' = 9{,}114$;

для плохого бегуна (П) при $\boldsymbol{Q}$ = 25 тс (250 кН), м/с$^2$: $g' = 9{,}192$ и при $\boldsymbol{Q}$ = 50 тс (490,5 кН), м/с$^2$: $g' = 9{,}491$;

для хорошего бегуна (Х) при $\boldsymbol{Q}$ = 70 тс (686,7 кН), м/с$^2$: $g' = 9{,}58$; при $\boldsymbol{Q}$ = 80,94 тс (794 кН), м/с$^2$: $g' = 9{,}611$;

для очень хорошего бегуна (ОХ) при $\boldsymbol{Q}$ = 85 тс (833,85 кН), м/с$^2$: $g' = 9{,}62$ и при $\boldsymbol{Q}$ = 92,56 тс (908 кН), м/с$^2$: $g' = 9{,}635$.

Отсюда становится очевидным, что при выполнении горочных конструктивных и технологических расчётов в эмпирической формуле (28) ***можно не учитывать момент инерции вращающихся частей*** (т.е. массу колёсных пар: $6 \cdot \boldsymbol{m}_{\text{кп}} = 11{,}62 \cdot 10^3$ кг) вагона без значительного влияния на точность результатов вычислений с относительной ошибкой 1,8 %, а по точной формуле (25) относительная ошибка при не учете момента инерции вращающихся частей составляет 4,2 %, поскольку $\boldsymbol{M}_{\text{пр}} >> 6 \cdot \boldsymbol{m}_{\text{кп}}$ и/или $92{,}562 \cdot 10^3 >> 11{,}62 \cdot 10^3$ кг.

При этом отметим, что в исходных данных табл. 1 в [3] приведено значение массы платформы с грузом без учёта момента инерции в виде 908 кг. Приведенное значение относится к силе тяжести вагона с грузом с учётом инерции вращающихся частей, т.е. $\boldsymbol{G}$ = 908 кН, а не к массе вагона (платформы) с грузом без учёта этой инерции, которая равна $\boldsymbol{M}_{\text{пр0}} = 88{,}69 \cdot 10^3$ вместо $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{0}} = 80{,}94 \cdot 10^3$ кг. Данная ошибка не оказывает существенного влияния на конечный результат.

Продолжая обсуждать данные в табл. 1 в [3, 9], отметим, что, на наш взгляд, из-за очевидности равенств с комплексными результатами [24]:

$$\boldsymbol{v}_{1\text{т}l} = \mathbf{I}(\boldsymbol{v}_{1\text{т}l}) = 10{,}843\boldsymbol{i},\ \boldsymbol{v}_{2\text{т}l} = \mathbf{I}(\boldsymbol{v}_{2\text{т}l}) = 11{,}321\boldsymbol{i},$$

$$\boldsymbol{v}_{3\text{т}l} = \mathbf{I}(\boldsymbol{v}_{3\text{т}l}) = 7{,}896\boldsymbol{i},$$

где $10{,}843\boldsymbol{i}$, $11{,}321\boldsymbol{i}$ и $7{,}896\boldsymbol{i}$ – мнимые части чисел $\boldsymbol{v}_{\text{т}l}$ ($\boldsymbol{i}$ – мнимая единица, поскольку $\boldsymbol{i}^2 = -1$) [24] при $\boldsymbol{a} < 0$ на тормозных позициях.

Отсюда становится очевидным утверждение [3] о том, что ни на одном из участков спускной части сортировочной горки *для неидеальной связи*, никогда $\boldsymbol{v}_0 \neq 0$, $\sqrt{2g'h} \neq \sqrt{2al}$, $v_{h1} \neq v_{l1}$, $v_{h2} \neq v_{l2}$ [3, 9].

**Выводы**

1. С использованием положений теоретической механики доказана некорректность учёта момента инерции вращающихся частей (колёсных пар) вагонов на участках тормозных позиций сортировочных горок.

2. Примерами расчётов показано, что при выполнении горочных расчётов скоростных участков сортировочных горок можно пренебречь моментом инерции вращающихся частей вагона без значительного влияния на результаты расчетов.

**Литература**


1. Туранов Х.Т. Некоторые проблемы теоретических предпосылок динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. – 2015. - № 3 (237). – С. 29 - 36. ISSN 2072-8115.

2. Рудановский В.М. О попытке критики теоретических положений динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / В.М. Рудановский, И.П. Старшов, В.А. Кобзев // Бюллетень транспортной информации. - 2016. - № 6 (252). – С. 19-28. ISSN 2072-8115.

3. Туранов Х.Т. О попытке доказательства нового подхода к исследованию движения вагона по спускной части сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. - 2016. - № 10 (256). – С. 19 - 24. ISSN 2072-8115.

4. Позойский Ю.О. К вопросу движения вагона по уклону железнодорожного пути / Ю.О. Позойский, В.А. Кобзев, И.П. Старшов, В.М. Рудановский // Бюллетень транспортной информации. - 2018. - № 2 (272). – С. 35-38. ISSN 2072-8115.

5. Туранов Х.Т. Выбор рационального режима роспуска «очень плохого бегуна» с сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, О.В. Молчанова // Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. - № 7. - С. 9 - 13. ISSN 0236-1914.

6. Туранов Х. Т. Математическое описание движения вагона на участках тормозных позиций сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Транспорт Урала. - 2018.- № 2 (57).- С. 3–8. DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-3-8. ISSN 1815-9400.

7. Туранов Х.Т. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (Часть I) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. – 2018. - №9 (279). - С. 23-28. ISSN 2072-8115.

8. Туранов Х.Т. К критическому анализу теоретических положений движения вагона с сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джабборов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. - № 11. - С. 26 - 31. ISSN 0236-1914.

9. Туранов Х.Т. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (часть II) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. - 2018. - №12 (282). - С. 12-18. ISSN 2072-8115.

10. Khabibulla Turanov, and Andrey Gordienko. Movement of a railway car rolling down a classification hump with a tailwind // MATEC Web of Conferences 216, 02027 (2018) Politransport Systems – 2018. 1-7 p.

11. Туранов Х.Т. К критическому анализу теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (Часть IV) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джабборов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2019. - № 1. - С. 16 - 20. ISSN 0236-1914.

12. Образцов В.Н. Станции и узлы. ч. II / В.Н. Образцов. – М.: Трансжелдориздат, 1938.- 492 с.

13. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1 520 мм. – М.: ТЕХИНФОРМ, 2003. – 168 с.

14. Железнодорожные станции и узлы: учебник / В.И. Апатцев и др.; под ред. В.И. Апатцева и Ю.И. Ефименко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. - 855 с.

15. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник для втузов. – М.: Высш. шк., 1998. - 416 с.

16. Комаров К.Л. Теоретическая механика в задачах железнодорожного транспорта / К.Л. Комаров, А.Ф. Яшин. – Новосибирск: Наука, 2004. - 296 с.

17. Туранов Х.Т. Теоретическая механика в специальных задачах грузовых перевозок: учебное пособие / Х.Т. Туранов. – Новосибирск: Наука; Екатеринбург, Изд-во УрГУПС, 2012. - 447 с.

18. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1975. - 640 с.

19. Туранов Х.Т. Результаты исследований движения вагона по спускной части сортировочной горки при попутном ветре / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, И.С. Плахотич // Бюллетень транспортной информации. - 2016. - № 12 (258). – С. 31-36. ISSN 2072-8115.

20. Иванов Н.М. Детали машин / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – М.: Высш. шк., 206. - 408 с.

21. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах. В 3 т. Т. 2 (специальные главы механики) / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. – М.: Наука, 1966. - 663 с.

22. Туранов Х.Т. Пример расчёта времени, скорости и пути торможения вагона на участке второй тормозной позиции сортировочной горки при воздействии встречного ветра малой величины / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. - Т. 75, № 2. – С. 123 – 128. ISSN 2223-9731.

23. Макаров Е.Г. Mathcad: Учебный курс (+CD). – СПб.: Питер, 2009. - 384 с.

24. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: Учебн. пос. / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – СПБ.: Изд-во «Лань», 2009. - 608 с.

**Сведения об авторах**

**Туранов Хабибулла Туранович**, Почётный железнодорожник, доктор технических наук, профессор кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» УрГУПС
620034. г. Екатеринбург. ул. Колмогорова, 66.
Тел. + 7 963 035 31 89 (моб.).
E-mail: khturanov@yandex.ru.

**Гордиенко Андрей Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» УрГУПС
620034. г. Екатеринбург. ул. Колмогорова, 66.
Тел. + 7 919 374 84 81 (моб.).

**Джабборов Шухрат Ботирович**, ассистент кафедры «Вагоны» ТашИИТ
100069. г. Ташкент. ул. Темирйулчилар, 1.
Тел. + 998 93 582 06 81 (моб.).

**Саидивалиев Шухрат Умарходжаевич**, ассистент кафедры «Транспортная логистика и сервис» ТашИИТ
100069. г. Ташкент. ул. Темирйулчилар, 1.
Тел. + 998 93 582 06 81 (моб.).

УДК 657.022.838

# ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МОСКОВСКОЙ ОКРУЖНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ (МОСКОВСКОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО КОЛЬЦА)

Кандидат экон. наук, доцент **Сакульева Т.Н.,** ,
(Государственный университет управления)

# HISTORY OF DEVELOPMENT OF MOSCOW CIRCUITOUS RAILWAY (MOSCOW CENTRAL RING)

Ph.D. (Econ.), Associate Professor **Sakulyeva T.N.**
(State University of Management)

*Железная дорога, Московское Центральное Кольцо, транспортная инфраструктура, транспортно-пересадочный узел, метро, пассажиры.*

*Railway, Moscow Central Ring, transport infrastructure, lining-out knot, subway, passengers.*

*Статья посвящена рассмотрению вопросов истории развития Московской Окружной железной дороги (МОЖД). Движение по железной дороге было запущено 19 июля (2 августа по старому стилю) 1908 года. Именно инфраструктура двигает экономику, а проведённые с умом транспортные коммуникации кардинально изменяют назначение и развитие местности. В 1980-ые годы появляются реальные планы запуска по кольцу пассажирского движения. Однако реализации этого решения в 90-е годы не способствовал кризис в экономике. И только 10 сентября 2016 года для пассажиров была запущена кольцевая железная дорога по городу Москве – Московское Центральное Кольцо (МЦК). Запуск МЦК – позитивное событие для москвичей, давшее новые транспортные связи между окраинами города и более быструю альтернативу проезду на автобусе, трамвае или метро. МЦК получилось лучше и популярнее всех аналогов в нашей стране.*

*The article is sanctified to consideration of questions of history of development of the Moscow Circuitous railway (МОЖД). Motion on a railway started on July, (on Augusts, 2 on old style) 19, 1908 Exactly an infrastructure moves an economy, and transport communications conducted with a mind change setting and development of locality cardinally. In 1980th the real plans of start appear on the ring of passenger motion. However realization of this decision in 90th was not assisted by a crisis in an economy. And only on September, 10, 2016 for passengers ferrous ring road started on a city to Moscow is Moscow Central Ring (МЦК). A start of МЦК is a positive event, giving new transport connections between the outskirts of city and more rapid alternative to passage on a bus, tram or subway. МЦК turned out better and more popular than all analogues in our country.*

10 сентября 2016 года для пассажиров была запущена кольцевая железная дорога по городу Москве – Московское Центральное Кольцо (МЦК) [1]. Железная дорога построена в 1903-1908 годах, однако не была электрифицирована и использовалась лишь для грузового движения. В 2013 году начата её реконструкция за счёт средств федеральных инвестиций, ОАО «РЖД», правительства Москвы и группы компаний-инвесторов [2].

Московское Центральное Кольцо располагается в центральной части Москвы. Оно было предназначено для осуществления грузовых перевозок между всеми десятью магистральными железнодорожными направлениями из столицы, подведомственными Московской железной дороге, - Ярославским, Казанским, Курским, Павелецким, Киевским, Белорусским, Савёловским, Рижским, а также Ленинградским, обслуживаемым Октябрьской железной дорогой. Дорога связана двенадцатью соединительными линиями с этими радиальными магистралями. Протяжённость МЦК равна 54 км. Движение по железной дороге запущено 19 июля (2 августа по старому стилю) 1908 года [3]. В те времена рассматриваемую железнодорожную трассу называли МОЖД (Московская Окружная Железная Дорога). С самого начала движения по Окружной железной дороге перевозили грузы и пассажиров.

Строительство транспортной инфраструктуры всегда является толчком к появлению возле неё новых предприятий, дорог, жилых зданий. Именно инфраструктура двигает экономику, а проведённые с умом транспортные коммуникации кардинально изменяют назначение и развитие местности. Например, после строительства Московско-Петербургской железной дороги, ставшей первой реально важной железнодорожной трассой Российской Империи, оказавшийся в стороне от неё богатый купеческий город Торжок Тверской губернии сильно замедлился в своём развитии. Аналогичные процессы важности транспортной инфраструктуры можно рассмотреть на примере Московской Окружной Железной дороги. Сразу после строительства МОЖД, возле неё стали появляться крупные промышленные предприятия. Ещё до революции, в 1916 году, около Окружной железной дороги появился автомобильный завод «АМО», известный как «ЗиЛ». 23 мая 1917 года граница города Москвы официально прошла по периметру МОЖД. После революции началась интенсивная индустриализация страны, включающая также строительство промышленных предприятий возле Окружной железной дороги. Именно они формировали пассажиропоток Кольцевой железной дороги.

На фоне развития территорий возле Московской окружной железной дороги, были проложены трамвайные линии, появилось надёжное автобусное сообщение. По этой причине пассажирские перевозки на МОЖД стали нерентабельными и прекратились в 1934 году. Между

тем, возле железной дороги появилось много промышленных предприятий – сейчас это промышленные зоны №52 «Северянин», №9А «Улица Зорге, территория бывшего завода «Москвич» и другие. Дорога стала использоваться сугубо для движения по ней грузовых составов, как с промышленных предприятий, так и транзитных.

Данные изменения также сильно повлияли на планировку города и стали «бомбой замедленного действия» Московской урбанистики в наши дни. Фактически, между центром Москвы и новыми «спальными» районами сложилась промышленная зона вдоль МОЖД, через которую мало путей транспортных коммуникаций. К примеру, строительство дублёра Волгоградского проспекта, застревающего в пробках, крайне затруднено из-за обилия заводов, а параллельная ему Южнопортовая улица слишком извилиста. Приблизительно с 70-х годов стало очевидным моральное отставание старых промышленных предприятий и невысокое качество их работы, а в 90-е годы многие заводы закрылись, оставив после себя пустые территории. Падали объёмы грузовых перевозок на МОЖД с 60 пар грузовых поездов в сутки в советское время до 30-40 пар на северной части кольца и 20-25 пар на южной - в 2011 году.

К 1950 году обнаружился существенный недостаток МОЖД. Все железнодорожные мосты, путепроводы железной дороги и автомобильные мосты над железной дорогой до революции были построены с расчётом на тепловозную тягу [4]. Возможность установки необходимой инфраструктуры электрификации постоянным и даже переменным током в габаритах большинства мостов Кольцевой железной дороги полностью отсутствовала. В результате все радиальные направления главных ходов были электрифицированы постоянным током 3кВт уже к 1960 году, последним участком стал «Люберцы-1 – Черусти». При этом планы электрификации МОЖД постоянно откладывались, а потом и вовсе отменились в связи с остановкой роста промышленности вдоль МОЖД, постепенным падением грузового сообщения в городе, а также реконструкцией и электрификацией областной Большой Окружной железной дороги (БМО), куда были переведены часть транзитных поездов с МОЖД.

К 1980-ым годам дороговизна возможной электрификации МОЖД привела к меньшему потенциалу кольцевой дороги для транзитной доставки грузов в сравнении с быстрыми путями объезда иными маршрутами. Более того, тепловозное движение на фоне ухудшающейся экологической обстановки в городе неблагоприятным образом отразилось на потенциале окружной дороги для Москвы как городского пространства. Двухпутное кольцо занимало огромные пространства на территории столицы и препятствовало любому строительству дорожного пересечения с МОЖД, требовалось строительство эстакады или тоннеля, а перейти кольцо простому пешеходу на некоторых его участках, например, по грузовым станциям, физически было невозможно. На фоне промышленного кризиса смысл в использовании МОЖД в грузовых перевозках падал. В этой ситуации целесообразность работы МОЖД ставилась под сомнение.

В 1980-ые годы появляются реальные планы запуска по кольцу пассажирского движения. В период «развитого социализма» росло число автомобилей в городе, Москва быстрыми темпами застраивалась новыми районами. В Московском метрополитене активно шло строительство десятков километров тоннелей (в том числе, Серпуховско-Тимирязевская, Люблинская линии), для чего за границей за иностранную валюту были закуплены современные тоннелепроходческие щиты. На 13-ю пятилетку разрабатывался проект строительства хордовых линий с меньшим числом остановок и 12-ти вагонными поездами – Митино-Бутовской, Химкинско-Люберецкой, Солнцевско-Мытищинской и Ясенево-Балашихинской. В результате этот проект был реализован продлением Арбатско-Покровской линии из района «Крылатское» на север в район «Митино» в стандартных габаритах метрополитена.

В этот же период активного развития скоростного общественного транспорта Москвы было запланировано реконструировать МОЖД и запустить по кольцу пассажирское движение. В 1996 году вышло Постановление Правительства Москвы № 664-ПП от 13 августа 1996 года «О концепции использования Малого кольца Московской железной дороги под пассажирское движение и о проектных предложениях по первоочередному участку трассы от площади Гагарина до бизнес-центра «Москва-Сити». Планировался запуск пассажирского движения по МОЖД в его первой очереди от будущего бизнес-центра «Москва-Сити» на юг до метро «Ленинский проспект», на который имелась возможность строительства быстрого перехода. Постановлением предусматривалось обоснование работ и создание проекта в 1996-1997 годах.

Однако реализации этого решения в 90-е годы не способствовал кризис в экономике, в ходе которого даже строительство метрополитена велось с большим трудом. После открытия в 1995-1996 гг. Люблинской линии (кроме станции «Дубровка», она открылась в 1999 г.) медленными темпами достраивалось продление Серпуховско-Тимирязевской линии от «Пражской» до «Бульвара Дмитрия Донского» и станция «Парк Победы». Похожая судьба была и у других объектов строительства инфраструктуры и даже нового жилья в городе.

Одним из небольших шагов к запуску пассажирского движения на МОЖД стала реконструкция площади Гагарина в Москве. Дело в том, что одним из главных строительных проектов в Москве в конце 90-х – начале 00-х годов стало сооружение Третьего транспортного кольца в качестве меры для более быстрого проезда между районами города, создания альтернативы Садовому кольцу и общей разгрузки транспортных магистралей столицы.

В 1997 году, из-за строительства «Гагаринского тоннеля», движение по МОЖД от станции «Угрешская» до станции «Пресня» было временно закрыто. На пересечении с Ленинским проспектом была построена огромная «Гагаринская развязка» с тоннелем. В тоннеле разместилась построенная в конструкциях подземная станция «Площадь Гагарина». Проектом предусматривалось сооружение автодорожного и железнодорожного тоннелей, размещаемых параллельно друг другу, а также система пешеходных переходов, паркинг и подземный пересадочный узел между станцией метро «Ленинский проспект» и остановочным пунктом «Площадь Гагарина» окружной железной дороги. Новый комплекс сооружений был открыт 12 декабря 2001 года.

Таким образом, одновременно с автомобильным тоннелем, были построены два железнодорожных тоннеля для движения в обе стороны. В отличие от объек-

тов МОЖД начала XX века, «Гагаринский тоннель» был полностью рассчитан под последующую электрификацию.

28 марта 2000 года вышло Постановление Правительства Москвы № 231-ПП «О технико-экономическом обосновании и бизнес-плане реконструкции Малого кольца Московской железной дороги (МК МЖД) для организации пассажирского движения». Документ планировал запуск первой очереди движения от делового центра «Москва-Сити» до Павелецкого направления МЖД с отстоем по станции «Коломенское» и обслуживанием поездов в депо «Домодедово». Документом были обозначены планы строительства 3-его пути для грузовых поездов от станции «Лихоборы» до станции «Угрешская», запуск 140 пар пассажирских поездов и 50 пар грузовых поездов в сутки по обновлённому кольцу после его полного открытия.

В 2011 году на совещании всех заинтересованных сторон органов власти, включая премьер-министра Российской Федерации, было принято решение в максимально короткие сроки выполнить реконструкцию МОЖД в комплексе транспортных проблем столицы. Реальные работы по реконструкции начались в 2012 году и резко усилились в 2013 году. В 2016 году было принято решение назвать окружную железную дорогу Московским Центральным Кольцом (МЦК). Торжественное открытие системы состоялось 10 сентября 2016 года.

На сегодняшний день Московское Центральное Кольцо является окружной железной дорогой с пассажирским и грузовым движением. Движение осуществляется с 5-30 утра до 1 часа ночи ежедневно без дневного перерыва. Все технологические ремонтные работы производятся ночью. Интервал движения электропоездов в период 7:30-11:30, 16:00-21:00 в будние дни и 12:30-18:00 в выходные дни составляет 5 минут, в остальное время он равен 10 минутам. Единым оператором, т.е. фактически перевозчиком, на МЦК, по соглашению с Правительством Москвы, является Дирекция скоростного сообщения ОАО «РЖД».

Общее время поездки по кольцу длиной 54 км равняется 90 минутам. Проезд по МЦК осуществляется по городскому билету «Единый» и карте «Тройка» в объёме одной поездки на метро. При этом при совершении пересадки с Московским метрополитеном поездка будет бесплатной (длительность «бесплатной» пересадки составит 90 минут с момента первого входа).

Создателями проекта Московского Центрального Кольца планировался пассажиропоток на уровне 75 млн. человек уже в 2017 году, из них 34,5 млн. (46%) - пассажиры метро. Доля пассажиров пригородных электричек, едущих в определённые районы столицы или через Москву, планировалась на уровне 27%, т.е. 20,25 млн. человек. Доля пассажиров наземного городского транспорта оценивается в 17%, т.е. 12,75 млн. человек. 10% пассажиров составят жители близлежащих домов. За первые месяцы работы по март 2017 года МЦК перевезла 50 млн. человек. Средний ежедневный пассажиропоток железнодорожной системы составляет 370 тыс. пассажиров.

Московское Центральное Кольцо обслуживается городскими электропоездами ЭС2Г «Ласточка» в пятивагонном исполнении, длина состава 130 м. Число мест в одном составе: 368 стационарных сидений, 4 места для инвалидных колясок, 18 откидных сидений, 886 стоячих мест.

Электропоезда «Ласточка» отличает относительно высокая стоимость обслуживания в сравнении с традиционными электричками Московского региона, но качество и комфорт этих электропоездов, произведённых на Урале по локализации компании Siemens, крайне высоки на фоне отечественных аналогов электропоездов производства Демиховского машиностроительного завода. В каждом поезде «Ласточка» 5 вагонов, но в будущем планируется их увеличение до 7.

На Московском Центральном Кольце имеется 31 остановочный пункт (о.п.), также оставлена возможность строительства ещё двух остановочных пунктов. Из них 17 имеют пересадки на станции Московского метрополитена, а 9 – на остановочные пункты пригородных электричек. На МЦК 12 станций с путевым развитием. В настоящий период работы МЦК такую связь с метрополитеном имеют 8 остановочных пунктов, с радиальными направлениями железной дороги - ещё 8.

В будущем теоретически возможно строительство двух новых остановочных пунктов для пассажиров. Один из них – прямо на грузовой станции Пресня. Вероятно, он будет востребован в случае реновации промышленных зон «Магистральные улицы» и «Силикатные улицы». Второй остановочный пункт – «Потылиха» – возможно разместить около одноимённой улицы при достаточном пассажиропотоке. Пока около него есть несколько жилых домов на Бережковской набережной и на Сетуньских проездах, поэтому строительство платформы на этой территории в будущем возможно.

Каждый остановочный пункт Московской Кольцевой железной дороги оборудован турникетами, круглосуточными кассами, навигацией Департамента транспорта вне платформы и навигацией фирменного стиля ОАО «РЖД» на платформе. Вдоль МЦК сооружены ограждения, поэтому обойти незаконным способом турникетные комплексы физически невозможно. На платформах установлены световые табло с часами и информацией о прибытии следующего поезда и конечном пункте маршрута – либо по всему кольцу, либо (после окончания утреннего часа-пик или к окончанию движения) до о.п. «Панфиловская», «Балтийская», «Нижегородская», «Андроновка».

Один из 31 остановочного пункта МЦК - подземный. Это о.п. «Площадь Гагарина», полностью построенная в конструкциях ещё в 2001 году. В 2013-2016 годах его расконсервировали, ввели в строй оборудование, строится наземный вестибюль около станции метро «Ленинский проспект». Кроме того, остановочный пункт имеет самый быстрый и удобный переход на станцию метро из всех остановок кольца.

Для облегчения переходов пассажирам на каждом остановочном пункте сооружены транспортно-пересадочные узлы (ТПУ). ТПУ позволяют максимально упростить пересадку между видами транспорта на Кольцевую железную дорогу. ТПУ дают возможность пассажиру пройти в максимально комфортных условиях - будет устроена зона ожидания, а также кафе и магазины, за счёт дохода от работы которых ТПУ будут самоокупаться. Фактически ТПУ представляет собой быстрый коридор между видами транспорта, зону ожидания и торговое заведение одновременно. Особо эф-

фективны ТПУ в холодное время года в ожидание поезда, которое может достигать днём 12 минут.

Принцип «сухие ноги» реализован в транспортно-пересадочных узлах около остановочных пунктов «Владыкино», «Ботанический Сад», «Локомотив», «Площадь Гагарина», «Кутузовская», «Деловой Центр» - пересаживаться с одного вида транспорта на другой можно с помощью тёплых надземных и подземных переходов. В создании транспортно-пересадочных узлов крайне важно соблюсти баланс между удобством для пассажиров, то есть коротким путём без столпотворений, и получением доходов от работы коммерческих объектов, без которых содержание транспортно-пересадочного узла будет слишком дорого для города.

МЦК имеет важную особенность. Впервые на Московском железнодорожном узле гарантированно защищают пассажиров от дождя и снега навесы над платформами по всей их длине на всех остановочных пунктах. Ранее данное удобство для пассажиров в Московском регионе было реализовано только на станциях Люберцы-1, Раменское, Мытищи и Лосиноостровская Московской железной дороги. Более того, оборудуются и боковые щиты на платформах, для защиты от дождя и шума, подобно щитам на наземных станциях Бутовской линии Московского метрополитена. Конечно, это не полноценная защита от дождя и снега, которая обеспечивается на новых наземных станциях метро, например на станции «Технопарк», но данное решение является вполне достаточной мерой для спасения от непогоды.

С 1908 года Московская Окружная железная дорога всегда была двухпутной. Однако для организации грузового движения, одновременно с пассажирским движением, желательно наличие третьего пути, который будет использоваться для грузовых перевозок. При этом в железнодорожном «Гагаринском тоннеле» в 1997-2001 годах построено только два главных пути. По этой причине третий – грузовой - путь в рамках реконструкции МЦК построен между станциями «Пресня» и «Угрешская» с северной стороны, то есть будет охватывать около трёх четвертей железной дороги. Минимальный интервал движения пассажирских электропоездов на МЦК составляет 10 минут при общем минимальном интервале 5 минут, поэтому движение грузовых поездов по пассажирским путям представляется затруднённым из-за их долгого времени прохождения стрелок и, а также заезда и съезда с главного хода.

Основное преимущество проекта – появление в Москве новой, удалённой от Кольцевой линии Московского метро, скоростной внеуличной транспортной магистрали, независимой от пробок. В рейтинге компании TomTom, по уровню пробок Москва занимает 5-е место в мире с уровнем заторов 44% в самое загруженное время. Вместе с реконструкцией «вылетных» магистралей и внедрением платных парковок тенденцией борьбы городских властей с заторами является развитие общественного транспорта.

В наши дни многие москвичи с окраин при поездках в соседний район едут на метро в центр города и уже затем - на соседнюю окраину. Это связано с радиально-кольцевой структурой города, когда в центре города пересекаются все транспортные узлы, при этом они слабо представлены на окраинах. Также это связано с нестабильной работой наземного общественного транспорта на окраинах, необходимостью пересаживаться между нечастыми и попадающими в заторы маршрутами автобусов. Вторая кольцевая линия метро (Третий пересадочный контур) ещё не построена, поэтому остро стоит вопрос об экспрессной межрайонной связи. Именно её обеспечит Московское Центральное Кольцо. К примеру, путь от метро «Ленинский проспект» до делового комплекса «Москва-сити» на метро занимает 28 минут, а по Кольцевой дороге - 10 минут. От платформы Северянин Ярославского направления МЖД до метро «Алтуфьево» путь на метро и в электричке занимает 43 минуты, а на метро и по МЦК – 25 минут.

В настоящее время ускоряется строительство второй кольцевой линии Московского метро – Третьего пересадочного контура. Участок от станции «Парк Победы» до «Делового Центра» уже построен, участок к «Нижней Масловке» - в высокой степени готовности. Полное завершение проекта планируется к 2019 году.

Второе кольцо метрополитена и уже сложившееся в городской застройке МЦК будут дополнять друг друга. На севере города МЦК находится севернее, а линия метро будет проходить южнее, мимо важных для связи пассажирам Рижского и Савёловского вокзалов, что удешевит её строительство за счёт меньшего радиуса. На юге линия метро проходит по Каховской линии, а МЦК - севернее, в районе бывшего завода «ЗиЛ». На востоке и западе города МЦК будет восточнее, а метро – западнее. Таким образом, МЦК и ТПК будут взаимодополнять друг друга, имея два крупных пересадочных узла - «Нижегородская улица» и «Хорошёвская». Данная связь поможет пассажирам добираться до своего района, не загружая центр города и не пользуясь личным автомобилем, лишний раз занимающим много места на улицах города.

Задача общественного транспорта – это не только быстрая, но и комфортная перевозка пассажиров. В таком новом виде транспорта, как городская электричка пассажиров привлекает не только возможность добираться быстро, но и гарантированное удобство перемещения. Электропоезда «Ласточка» уже не первый год известны по работе на межрегиональных маршрутах России и в Сочи. Многие пассажиры отмечали, что даже на скорости свыше 120 км/ч большая скорость почти не чувствуется, поезд движется без рывков и шума. Электропоезд обеспечен отличным кондиционированием воздуха, приспособленными для инвалидов туалетами. В вагонах отсутствуют тамбуры, поэтому посадка и высадка будут проходить быстро. Для удобства пассажиров в вагонах устанавливается бесплатный беспроводной Интернет (Wi-Fi). В первом и последнем вагонах возможна перевозка велосипедов.

Важно обратить особое внимание на проезд по МЦК с велосипедами. В Московском метрополитене он фактически запрещён, езда с велосипедом в автобусах, троллейбусах и трамваях затруднена. На этом фоне регулярно ходящие кольцевые электрички с оплатой проезда по билетам метро будут крайне удобны велосипедистам. Более того, маршрут МЦК пролегает возле парковых зон. Станция «Белокаменная» расположена прямо в лесной зоне огромного национального парка «Лосиный Остров» (площадью 116,215 км²). Остановочный пункт «Волоколамская» находится возле удобного для велопрогулок парка «Покровское-Стрешнёво» и Москвы-реки, а о.п. «Соколиная Гора» – около Измайловского лесопарка. Всё это способствует созданию определённого комфорта пользователям именно Московским Центральным Кольцом.

Запуск МЦК несёт в себе удобства для пассажиров пригородных электричек. В частности, многие пассажиры пригородных электричек ездят через Москву транзитом, например, из города Одинцово в г. Мытищи. Также довольно много пассажиров прибывают к железной дороге на метро или на наземном транспорте не слишком удобным маршрутом. Поскольку железные дороги всегда пересекаются друг с другом, остановочные пункты МЦК будут иметь соединение с остановочными пунктами всех направлений пригородных электропоездов, кроме «Киевского». В результате, многие пригородные пассажиры сэкономят время, не спускаясь в метро. Проезд через МЦК сэкономит также деньги, ведь цена билета на пригородные электрички из Московской области до платформы, граничащей с кольцевой дорогой, дешевле, чем билета до вокзала.

Есть ещё и другие достоинства. Во-первых, в работе МЦК нет дневных и длительных перерывов. Все ремонтные работы выполняются строго в ночное время. Максимальный интервал движения днём не превышает 10 минут. На пригородных железных дорогах является нормальным дневное технологическое окно, длящееся 60-140 минут, а также отсутствие электричек по 30 минут из-за проезжающих поездов дальнего следования.

Во-вторых, на МЦК не планируется длительных ограничений скоростей и долгой стоянки на вокзалах, подобно ходящим по Москве пригородным электричкам. Например, при поездке в пригородном поезде между Курским и Белорусским вокзалами почти весь маршрут электропоезд будет проходить с ограничением скорости 40 км/ч по Алексеевской соединительной линии. Время стоянки на Курском и Белорусском вокзалах составит от 3 до 8 минут.

С запуском пассажирского движения по МЦК произошло развитие города через транспортную инфраструктуру. Площадь Москвы – одного из мировых финансовых центров и столицы России – внутри МКАД составляет 877 кв. км. При этом внутри города есть очень интересные для инвесторов, а есть и не слишком ликвидные территории. В таком мегаполисе, как Москва на стоимость и ценность района сильно влияет развитая инфраструктура, особенно транспортная. Московское Центральное Кольцо проходит через городские территории, в XX веке формировавшиеся как промышленные зоны, находящиеся между центром и жилыми кварталами. Данный факт опоясывания центра промышленными зонами создал неудобство для развития города, для перемещений пассажиров, а после массового сокращения работы заводов – ещё и проблему, что делать с этими территориями [5].

Некоторые из таких территорий уже постепенно стали районами притяжения рабочих мест и жилых зон. Например, бизнес-центр «Москва-Сити» около о.п. Деловой Центр, торговый центр «Золотой Вавилон» около о.п. «Ростокино». Возле о.п. «Коптево» на территории закрытой в 2006 году Тонкосуконной фабрики имени Петра Алексеева строится жилой комплекс. Также жилищное строительство производится около о.п. и станции метро «Ботанический сад» на месте давно недействующих складских помещений ВДНХ.

В остальных случаях земли около Московского Центрального Кольца пока не слишком привлекательны для застройки частным инвесторам. Это пространство часто занимают заброшенные цеха, гаражи, сдающиеся под аренду разным фирмам, бывшие производственные помещения, пустые территории. Безусловно, их нужно превращать в полезные для города пространства – современные производства, технопарки, зелёную и жилую застройку. Подобным примером реновации промышленных зон служит реконструкция ЗиЛа, где введён в строй остановочный пункт «Зил». Строительство остановочных пунктов станет ключом и для реновации других неэффективно использующихся площадей в Москве.

У проекта имеются и недостатки. В работе станций транспорта крайне важную роль играет удалённость остановочного пункта от точек притяжения пассажиропотока, жилых зданий, магазинов. Даже такой важный объект, как станция метрополитена может стать не слишком популярным, так как он находится далеко от реальных потребностей пассажиров.

К примеру, в районе Южное Бутово Москвы расположены четыре наземных станции метро, три из них находятся вдали от жилых домов, в парковой зоне, между жилыми микрорайонами. Как следствие, для поездки в центр люди едут на метро, но в перемещениях по району и в соседнее Северное Бутово не пользуются метрополитеном, поскольку время ходьбы до него занимает от 15 минут.

По мнению ряда экспертов в области транспорта, подобная ситуация отчасти возникает на МЦК из-за удалённости остановочных пунктов от некоторых станций метро. На момент открытия, всего 6 станций метро имеют быструю пересадку на городскую электричку. От метро «Дубровка» до одноимённого остановочного пункта МЦК идти пешком более 500 метров, от метро «Октябрьское поле» до о.п. «Панфиловская» и между «Войковской» и «Балтийской» – 700 метров.

К сожалению, не везде есть связь линии метрополитена с Кольцевой железной дорогой. К примеру, переход между МЦК и метро «Волгоградский проспект» составляет 1200 метров, «Нагатинской» - один километр. С Арбатско-Покровской линией МЦК связано только на востоке, станцией «Партизанская» и о.п. «Измайлово».

Остаётся нерешённым вопрос и со строительством дополнительных платформ пригородных электричек на Курском и Павелецком направлениях. Пока расстояние от пл. «Калитники» Курского хода до о.п. «Новохохловская» МЦК будет равно полутора километрам, а от пл. «Нижние Котлы» Павелецкого направления до пл. «Верхние Котлы» МЦК – порядка одного километра. Особенно неприятна ситуация с Киевским направлением МЖД, которое вообще не будет иметь пассажирской связи с Московским Центральным Кольцом.

По расчетам городских властей, МКЖД должна стать полноценным легким метро и интегрироваться в систему метрополитена. Планируется, что в 2025 году 54-км линия сможет перевозить уже до 300 млн. пассажиров [1]. Ежедневно кольцом смогут пользоваться более 400 тыс. человек. При этом время ожидания городской электрички составит не более шести минут.

Однако интервалы движения являются проблемой. На все схемы линий метрополитена нанесено Московское Центральное Кольцо и обозначено как «Вторая кольцевая» [2]. Однако для привыкшей к частому такту движения поездов метро столичной публики, по интервалам движения МЦК напоминает, в лучшем случае, Каховскую линию Московского метрополитена. В «часы-пик» интервал движения электричек уста-

новлен в размере 5 мин, но днём в рабочие дни он растёт до 10 мин.

Дело в том, что минимальный интервал между поездами на Московском железнодорожном узле составляет 5 минут, в отличие от 95 секунд в метрополитене. Это связано с резкостью разгона и торможения, с железнодорожными системами сигнализации и связи, отсутствием автоматической системы регулирования скорости (АЛС-АРС). Увеличение интервала до 10 минут связано с необходимостью движения служебных поездов по железной дороге, изредка возможно прохождение грузового состава по пассажирским путям.

Работу Московского Центрального Кольца необходимо сравнить с железнодорожным транспортом разных стран мира. Городская электричка как вид транспорта очень сильно распространена в городах Германии, она называется «S-Bahn». Как и Московское Центральное Кольцо, S-Bahn занимает промежуточное положение между городским общественным транспортом и классическими пригородными поездами, использует обычные железнодорожные линии в пределах и вне пределов города, при этом нередко имеет выделенные под свои нужды пути. Подвижным составом S-Bahn являются электро- (реже дизель-) поезда железнодорожных габаритов и размеров. Электропоезда S-Bahn оснащаются пантографом на крыше, кроме систем Гамбурга и Берлина, электрифицированных третьим рельсом. Пути и станции S-Bahn могут быть как наземного, так и над- и подземного заложения, что в последнем случае делает его не слишком отличимым от метрополитена [6, 7].

Данный вид транспорта существует в Берлине, Кёльне, Мюнхене, Гамбурге, Дрездене, Бремене, Ганновере. Его строительство уже давно поставлено на поток. Как правило, немецкие S-Bahn отличает полная интеграция с городской средой и другими видами общественного транспорта, продуманные транспортно-пересадочные узлы, полная интеграция для инвалидов и велосипедистов.

К примеру, в Берлине городская электричка открыта ещё в 1924 году. Действуют 15 маршрутов движения, железнодорожная сеть длиной 331 км содержит 165 станций. В 2006 году система перевезла 375 млн. человек. Все поезда системы формируются из 2-4 секций, каждая из которых состоит из 2 вагонов. Большинство станций — наземные, с островной платформой и навесом от дождя. На станциях имеется табло, показывающее маршрут следования ближайших составов. Для оплаты проезда применяются три зоны. Таким образом, Германия – отличный пример для урбанистов нашей страны в организации подобного железнодорожного сообщения.

В России одной из главных городских электричек страны можно назвать систему Сочинских электропоездов, кардинально реконструированную к Олимпийским играм 2014 года.

За несколько лет до проведения Олимпиады был кардинально модернизирован участок вдоль черноморского побережья от станции «Туапсе» до станции «Сочи», а также далее в Адлер. Между Сочи и Адлером построен второй главный путь, в результате частота движения электричек сильно увеличилась. От станции «Адлер», на которой построили огромный вокзал, были построены линии к аэропорту «Адлер», к Олимпийскому парку и уникальный маршрут через горы в тоннелях и по эстакадам. Сейчас от станций «Аэропорт», «Роза Хутор» ходят 8 электричек в день, от «Олимпийского Парка» - 6 раз, от Сочи в сторону Адлера - 18 поездов в день. Во время проведения Олимпийских игр 2014 года электрички ходили в 3-4 раза чаще.

Все вокзалы и платформы электропоездов построены в современном стиле. Вокзалы «Адлер», «Роза Хутор» и другие очень красивы по своему дизайну. Каждый остановочный пункт оснащён всем необходимым для персонала, инвалидов. Везде имеются табло оповещения о прибытии электропоезда [8].

Подвижным составом электричек являются преимущественно поезда ЭС1«Ласточка», с точки зрения пассажира почти аналогичные составом ЭС2Г «Ласточка», которые работают на МЦК [9].

Другим примером городской электрички в нашей стране являются электрички посреди не электрифицированных линий железных дорог в Тульской области, в агломерации городов Новомосковск и Донской. В 1950-ые годы г. Новомосковск переживал стремительное развитие химической промышленности, поэтому в 1959 году между вариантами электропоездов и скоростного трамвая было принято решение о создании городской электрички. С 1961 г. до 70 г. была электрифицирована линия «Маклец (район химических промышленных предприятий) – Новомосковск-I – Бобрик-Донской» (город Донской Тульской области), а также участок «Урванка – Аналиновая» (закрыт для пассажирского движения и разобран в 2001 году после станции «Гипсовая») и «Урванка-Московская» (закрыт и разобран в 2009 году из-за строительства автодороги). В 1986 году из Новомосковска-1 на север ходили 29 электричек в рабочие дни, от станции «Московская» по всем направлениям – 36. В начале 90-х годов, на фоне сокращения работы промышленных предприятий, парность движения пригородных электропоездов начала сокращаться. На сегодняшний день со станции «Урванка» в обе стороны по рабочим дням ходят всего 7 электропоездов в день, преимущественно в пиковое время, движение осуществляется лишь тремя составами.

Примерно такое же количество рейсов в день делает городская электричка Екатеринбурга – 11 в рабочий день и 5-6 в выходные. Создавалась она путём запуска электропоезда по уже имеющимся платформам, но строго в границах города [8].

**Выводы**

Московское Центральное Кольцо – крайне важный проект для российской столицы в целом, для её транспортной инфраструктуры, для изучения аспектов экономической, хозяйственной деятельности общественного транспорта, а также для понимания потенциала его развития, критериев совершенства работы. Запуск МЦК – позитивное событие для москвичей, давшее новые транспортные связи между окраинами города и более быструю альтернативу проезду на автобусе, трамвае или метро. МЦК получилось лучше, продуманнее и популярнее всех аналогов в нашей стране. Создание скоростного внеуличного транспорта – всегда благоприятный шаг в мегаполисе. Развитие МЦК является ключевой частью программы по развитию Московского транспортного узла. С запуском линии миллионы людей получили новые возможности для передвижения и пересадки на другие виды транспорта.

**Литература**

1. Как Москве повезло с МКЖД [Электронный ресурс]. – URL: https://moslenta.ru/city/mkjdthebiggest.htm (дата обращения: 08.12.2018).
2. МКЖД получила название "Вторая кольцевая линия" на схеме метро Москвы [Электронный ресурс]. – URL: https://tass.ru/obschestvo/3344630 (дата обращения: 18.12.2018).
3. Московская окружная железная дорога. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.rzd-expo.ru/history/MoskovskayaOkruzhnayaZD/ (дата обращения: 28.12.2018).
4. Путепроводы (МКЖД). [Электронный ресурс]. [Офиц. сайт]. – URL: http://stroi.mos.ru/mkzhd/putieprovody (дата обращения: 15.12.2018).
5. Куренков П.В., Веселова Ю.В. Механизмы государственного регулирования развития транспортной системы региона // Транспорт: наука, техника, управление (ВИНИТИ РАН). – 2006.- № 7.- С.8-10.
6. Степанов А.Л., Куренков П.В. Проблемы экспорта транспортных услуг // Транспорт: наука, техника, управление (ВИНИТИ РАН).- 2007.- № 5.- С.16-19.
7. Резер С.М. Развитие транспортно-логистического пространства России. /С.М. Резер //Транспорт: наука, техника, управление (ВИНИТИ РАН).– 2013.- № 11. – С.3-5.
8. Дранченко Ю.Н. Опыт и перспективы организации пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в городах России //Транспорт: наука, техника, управление (ВИНИТИ РАН).– 2015.- № 11. – С.75-83.
9. Елисеев С.Ю., Максимов В.В. Государственно-частное партнерство в транспортном секторе: зарубежный опыт // ВКСС. Connect. - 2008. - № 2.- С. 64-72.

**Сведения об авторе**

**Сакульева Татьяна Николаевна**, к.э.н., доцент, Государственный университет управления.

E-mail: sakulyeva_tn@mail.ru.

УДК 656.022 + 06

# РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОВЫХ ГРУЗОПОТОКОВ В ПРИПОРТОВОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ*

Доктор техн. наук, доцент **Числов О.Н.**,
кандидат физ.-мат. наук, доцент **Богачев В.А.,**
старший преподаватель **Кравец А.С.**, ассистент **Задорожний В.М.**
(Ростовский государственный университет путей сообщения. РГУПС)
кандидат физ.-мат. наук, доцент **Богачев Т.В.**
(Ростовский государственный экономический университет. РИНХ)

# THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR THEDISTRIBUTION OF GRAIN TRAFFICS IN THE PORT RAILWAY TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEM

Doctor (Tech.), Assistant Professor **Chislov O.N.,**
Ph. D. (Phys. - Mat.), Assistant Professor **Bogachev V.A.,**
Senior Lecturer **Kravets A.S.**, Assistant **Zadorozhny V.M.**
(Rostov State Transport University)
Ph. D. (Phys. - Mat.), Assistant Professor **Bogachev T.V.**
(Rostov State Economic University)

*Железнодорожный транспорт, распределение экспортных зерновых грузопотоков, АВС-анализ, станции прирельсовых элеваторов, коэффициент динамики грузовой массы, критерий оптимальности, система аналитических вычислений.*

*Railway transport, distribution of export grain traffic, ABC analysis, railway elevator stations, freight mass dynamics factor, optimization criterion, software package.*

*Предложен метод оптимизации распределения экспортных зерновых грузопотоков, следующих в адрес морских портов Азово-Черноморского бассейна, в железнодорожной припортовой транспортно-технологической системе, учитывающий региональные инфраструктурные показатели и экономико-географические параметры накопления грузов. Разработан алгоритм выбора грузообразующих станций и получено решение оптимизационной задачи с целевой функцией, представляющей собой общее время реализации плана перевозки.*

*A method is proposed for optimizing the distribution of export grain cargo traffic in the railway transport and technological port system of the Azov-Black Sea basin, taking into account the indicators of the regional infrastructure and the eco nomic and geographical parameters of cargo accumulation. An algorithm has been developed for selecting freight generating stations and a solution has been obtained for an optimization problem with an objective function representing the total time for the implementation of the transportation plan.*

## Введение

На протяжении последних десятилетий Россия остается крупнейшим экспортером зерна на мировом рынке. По данным Министерства сельского хозяйства РФ [1], за 2018 год страна экспортировала продовольствия из сельхозпродукции на сумму 25,8 млрд. долларов. Основную часть экспорта составляют: зерновые – 40 %, рыба и ракообразные – 20 %, продукция пищевой и перерабатывающей промышленности – 13,5 %, продукция масложировой отрасли – 26,5%. В 2019 г. в государственном бюджете предусмотрено 303,6 млрд. руб. на реализацию мероприятий по развитию аграрно-промышленного комплекса (АПК), в том числе, 39 млрд. руб.- на поддержку экспорта продукции АПК. По прогнозам Министерства сельского хозяйства РФ, в 2019 г. планируется экспорт 42 млн. т зерна, в том числе, 36 млн. т пшеницы (с учетом переходящих запасов).

В общем объеме перевозимых на железнодорожном транспорте грузов количество зерновых достаточно велико. Зарождение зерновых грузопотоков происходит в регионах, специализирующихся на выращивании соответствующих культур. Учитывая географическое расположение морских портов и погранпереходов, можно оценить важность исследований, проводимых с целью разработки схем продвижения указанных грузопотоков в южных регионах России. Экспорт зерна в основном осуществляется через морские порты Черного моря, к которым примыкает обширная транспортная сеть железных и автомобильных дорог. Разветвленность сети, а также присутствие на транспортном рынке региона различных видов транспорта, представляет грузовладельцу большой выбор вариантов продвижения грузопотоков на заданных маршрутах. В настоящей статье разработана оптимизационная процедура выбора варианта распределения грузопотоков на полигоне Северо-Кавказской железной дороги - СКЖД, позволяющая, в том числе, повысить показатели качества работы дороги в целом.

* Исследования проводятся при поддержке РФФИ, проект №17-20-04236 офи_м_РЖД

### Актуальность задачи минимизации временных затрат экспортных перевозок зерна

Результаты анализа показателей перевозочных процессов в современной России свидетельствуют о том, что потребности в транспортных услугах в стране удовлетворяются только на 60–70%, а потери времени и транспортные издержки гораздо выше, чем в странах с развитой рыночной экономикой [2]. Таким образом, не подлежит сомнению актуальность разработок новых математически обоснованных подходов к вопросам оптимизации распределения грузопотоков, в частности железнодорожных, как уже имеющихся, так и прогнозируемых. Проблема распределения грузо- и вагонопотоков в транспортных сетях решается различными методами [3,4,5] и актуальна для любой территории, на которой осуществляется движение транспортных единиц по рельсовой инфраструктуре.

В отношении перевозок зерна особое коммерческое значение имеют сезонные колебания мировых цен на это сырье, являющиеся важнейшим показателем востребованности и стимулом его перевозок. В моменты повышения цен на зерно на внешнем рынке резко увеличивается количество заявок на его экспортные поставки из южных регионов России, что создаёт дополнительную нагрузку на транспортную систему. В условиях консолидации складского комплекса для хранения зерновых грузов вокруг крупных трейдеров зерна особенно актуальной становится задача доставки зерновых грузов из территориально (географически) разбросанных элеваторов в определенный порт для обеспечения судовой партии. Практика показывает, что внутренние цены на зерно часто не имеют прямой связи с его собранным количеством, а зависят от многих, на первый взгляд, посторонних факторов, например, НДС, цен на горючее или аренду, уровня инфляции. Для железнодорожных операторских компаний, выступающих на рынке зерновых перевозок, важно быть готовыми к указанным колебаниям, располагая теоретически обоснованным планом оптимального распределения грузопотоков в пиковые периоды. Немаловажное значение для участников железнодорожного перевозочного процесса имеет возникающая в таких условиях весьма жесткая конкуренция со стороны автомобильного транспорта. В последние годы разделение рынка перевозок экспортируемого зерна между железнодорожным и автомобильным транспортом происходит приблизительно как 30% на 70% (рис. 1) [6]. Следует отметить, что в Южном регионе конкуренция ощущается особенно остро в связи с длительным периодом беспрепятственной (в частности, со стороны погодных условий) эксплуатации автотранспорта. Мобильность автотранспорта и упрощенная система документального оформления перевозки грузов являются преимуществом для грузовладельцев при выборе автотранспортной схемы перевозки зерновых продуктов.

В настоящей работе исследованы возможности регулирования распределением экспортных зерновых грузопотоков в региональной припортовой железнодорожной транспортно-технологической системе с известными инфраструктурными показателями и заданными экономико-географическими параметрами накопления грузов с точки зрения минимизации времени, затрачиваемого на перевозки.

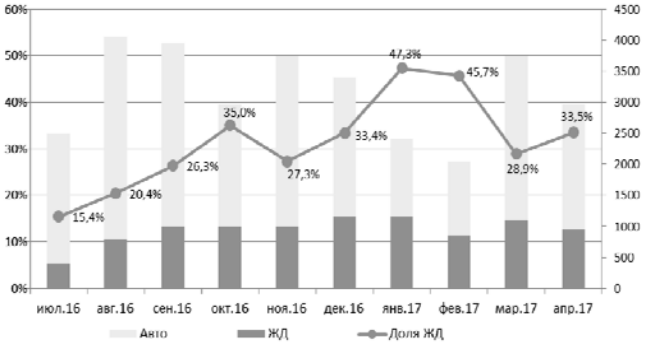



Рис. 1. Сезонные колебания объемов перевозок по видам транспорта

### Анализ региональных инфраструктурных показателей и экономико-географических параметров накопления грузов

Рассмотрим сеть, состоящую из 102-х основных элеваторов (зернохранилищ), имеющих подъездные железнодорожные пути и расположенных в юго-западной части полигона Северо-Кавказской железной дороги. Из элеваторов могут выполняться как внутренние перевозки зерна (например, на мукомольные или производящие крупы предприятия для его переработки, производства комбикормов и т.д.), так и экспортные. Целью исследований являются возможность оптимизации временных и количественных показателей экспортных перевозок зерна в адрес морских портов Азово-Черноморского бассейна (АЧБ).

Для каждого из указанных выше элеваторов принимаются во внимание емкость, производительность и длительность хранения зерна. Указанные характеристики не имеют прямой зависимости. Например, длительность хранения зерна в элеваторе определяется назначением и родом этого сырья. Зерно к припортовым станциям может отправляться как сформированными из вагонов-хопперов отправительскими маршрутами, так и повагонными отправками. Для многих участников перевозочного процесса маршрутные отправки оказываются более предпочтительными, чем повагонные. Исходя из известных на полигоне СКЖД весовых норм грузовых поездов рассчитывается составность маршрута с учетом возможных направлений перевозки. Отметим, что технологию отправки зерна отправительскими маршрутами используют все страны - лидеры экспорта зерновых во всем мире. Один из таких вариантов рассмотрен в работе [7].

Для указанной выше сети прирельсовых элеваторов произведен анализ для выбора и группировки наиболее крупных из них, на которых возможно формирование маршрутных поездов для отправления зерновых грузов на экспорт. Специфика экспортных перевозок зерна часто подразумевает особую оперативность и гибкость в их организации. Одной из необходимых предпосылок оперативности является хранения партий зерна в элеваторах, имеющих одновременно большую емкость и производительность с минимальным дисбалансом этих показателей. Учитывая необходимые для организации экспортных перевозок характеристики элеваторов, выбор наиболее крупных из них предлагается производить по следующему алгоритму:

1. АВС-анализ [8] по показателям емкости и производительности элеватора (зернохранилища). Результат – ранжирование элеваторов на группы А, В (две подгруппы) и группа С рассматривается отдельно по каждому из показателей.

2. Применение модифицированного гравитационного метода Шеффле–Вебера [9] для объединения более крупных элеваторов и элеваторов группы С, ввиду малого интереса к ним с точки зрения маршрутизации перевозочного процесса. Результат – сокращение объема выборки. В итоге выборка состоит из трех групп элеваторов в каждом показателе А, $B^*$, $C^*$, где $B^*$, $C^*$ – модифицированные подгруппы.

3. Сравнительный анализ результатов модифицированного АВС-анализа. Результат – объединение групп элеваторов (зерновых кластеров) с учетом совместных показателей емкости и производительности (группы АА, АВ/ВА, ВВ, ВС/СВ, СС).

4. Выявление элеваторов с необходимой пропорцией показателей емкости и производительности с помощью величины введенного коэффициента динамики грузовой массы $k_{\text{дгм}}$, который рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{дгм}} = \frac{E_i}{Q_i}, \qquad (1)$$

где $E_i$ – емкости $i$-го элеватора; $Q_i$ - производительность транспортного оборудования $i$-го элеватора.

В результате определены интервалы рациональных значений коэффициента динамики грузовой массы $k_{\text{дгм}}$ = 62,25 – 154,76, при котором пропорция показателей емкости и производительности элеваторов наиболее удовлетворяет возможности предоставления условий оперативности при организации перевозок зерновых грузов на экспорт. Результат – выбор элеваторов с необходимой величиной $k_{\text{дгм}}$.

5. Среди образованных групп элеваторов выявляются зерновые кластеры (α, β, γ, δ, ω - склады), наиболее удовлетворяющие обеспечению необходимых объемов экспортных перевозок, которые представлены в таблице 1.

*Таблица 1*

**Результаты корректировки АВС-анализа параметров элеваторов**

| Группа по результатам модифицированного АВС-анализа | | По емкости | | |
|---|---|---|---|---|
| | | А | В | С |
| По производительности | А | α-склад | β-склад | 0 |
| | В | β-склад | γ-склад | δ-склад |
| | С | 0 | δ-склад | ω-склад |

В результате получено, что α-склад и β-склад – преимущественный выбор группы элеваторов (зернового кластера) при организации перевозок; δ-склад и γ-склад – второстепенный вариант организации перевозок; ω-склад – нежелательный выбор при организации перевозок; 0 – вариант с дисбалансом показателей. Также получено сокращение выборки до 10 позиций.

6. Совместное ранжирование соседних станций погрузки на полигоне дороги по показателю большей емкости зернохранилищ и выбор лучшей станции. Результат – сокращение выборки до 8 позиций.

На основе представленного алгоритма агрегирования станций погрузки с прирельсовыми элеваторами в зерновые кластеры производится формирование математической модели распределения грузоперевозок в припортовой транспортной системе. В результате выполненных процедур по ранжированию, объединению и выбору прирельсовых элеваторов были созданы 8 кластеров, включающих 8 крупнейших станций при достаточно равномерном их распределении на рассматриваемой части полигона СКЖД (рис. 2).

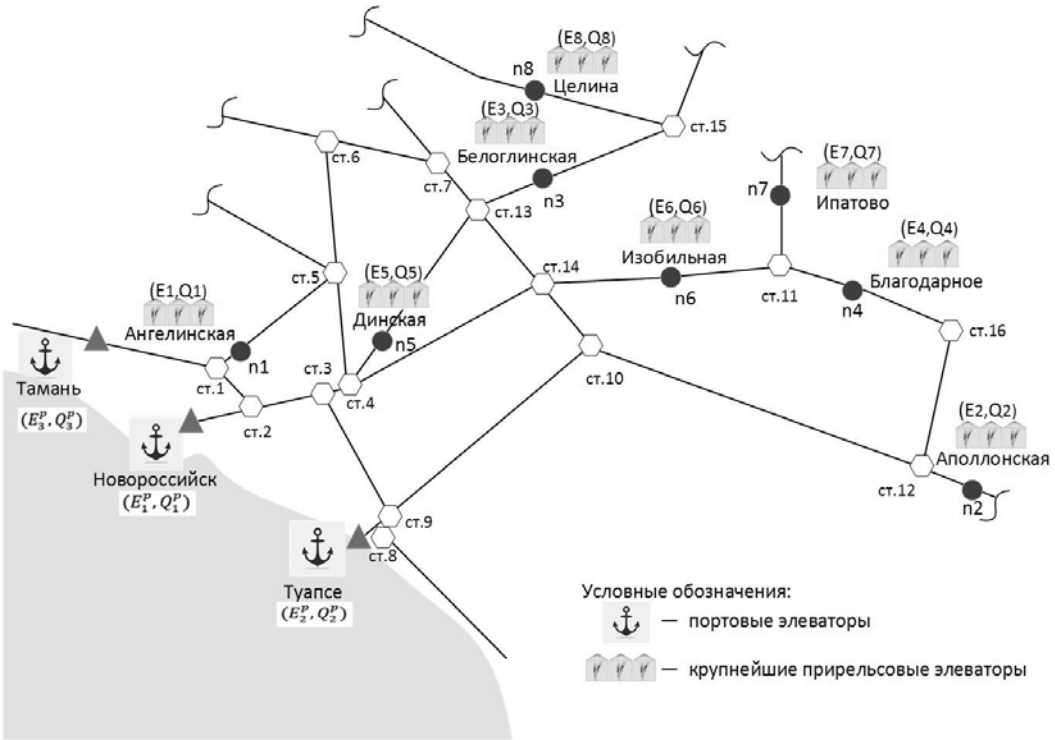



Рис. 2. Схема транспортной сети региона

В рамках данной статьи из функционирующих в регионе припортовых станций рассмотрены три, которые расположены на Черноморском побережье. Это традиционно используемые в экспортных перевозках зерна Новороссийск, Туапсе, а также порт Тамань. На сегодняшний день Зерновой Терминальный комплекс порта Тамань является одним из наиболее перспективных (проектная перевалочная мощность 13,4 млн. т зерновых грузов в год), позволяющих обрабатывать суда типа Panamax и Postpanamax. До 2011 г. (до введения в эксплуатацию зернового терминала Тамань) суда типа Panamax и Postpanamax обрабатывались исключительно в глубоководных портах АЧБ.

Для формирования модели составляется таблица 2 исходных данных перевозок зерна отправительскими маршрутами с железнодорожных станций, имеющих прирельсовые элеваторы, в порты (припортовые станции).

*Таблица 2*

**Распределение количества заявленных и ожидаемых маршрутов**

| Припортовые станции / Станции прирельсовых элеваторов | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | … | $B_n$ | Количество маршрутов, заявленных на станции прирельсовых элеваторов |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | $x_{11}$ | $x_{12}$ | $x_{13}$ | … | $x_{1n}$ | $\sum_{j=1}^{n} x_{1j}$ |
| $A_2$ | $x_{21}$ | $x_{22}$ | $x_{23}$ | … | $x_{2n}$ | $\sum_{j=1}^{n} x_{2j}$ |
| $A_3$ | $x_{31}$ | $x_{32}$ | $x_{33}$ | … | $x_{3n}$ | $\sum_{j=1}^{n} x_{3j}$ |
| … | … | … | … | … | … | … |
| $A_m$ | $x_{m1}$ | $x_{m2}$ | $x_{m3}$ | … | $x_{mn}$ | $\sum_{j=1}^{n} x_{mj}$ |
| Количество маршрутов, назначением на припортовую станцию | $\sum_{i=1}^{m} x_{i1}$ | $\sum_{i=1}^{m} x_{i2}$ | $\sum_{i=1}^{m} x_{i3}$ | … | $\sum_{i=1}^{m} x_{in}$ | – |

Для примера рассмотрим $n = 3$ припортовые станции, для которых количество ожидаемых маршрутов распределяется следующим образом: Новороссийск – 15, Туапсе – 5, Тамань – 6; а также $m = 8$ станций прирельсовых элеваторов с количествами заявленных маршрутов: Ангелинская – 4, Аполлонская – 1, Белоглинская – 5, Благодарное – 4, Динская – 1, Изобильная – 2, Ипатово – 3, Целина – 6.

**Построение математической модели перевозок**

При построении математической модели учитывается эгалитарный подход в теории благосостояния [10]. В рассматриваемой ситуации одна из реализаций парадигмы кооперативного принятия управленческих решений может быть представлена как нелинейная транспортная задача для грузовых перевозок по критерию минимума общего времени доставки груза. Согласно сформулированному в [10-12] общему тезису эгалитарной программой обеспечивается понимаемая в определенном смысле внутренняя устойчивость кооперации. В данном случае такая устойчивость может быть интерпретирована как скоординированный по времени план перевозок.

Пусть в рассматриваемом плане перевозок $x_{ij}$ есть число маршрутов, которые могут быть направлены с *i*-й элеваторной станции на *j*-ю припортовую станцию (с естественным стандартным ограничением $x_{ij} \geq 0$).

Предполагается выполнение равенств:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i \left(i = 1,2,...,m\right),$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j \left(j = 1,2,...,n\right), \ \sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j, \qquad (2)$$

где $m$ – количество станций погрузки на прирельсовых элеваторах, $n$ – количество припортовых станций (портов), $a_i$ – количество маршрутов, подлежащих вывозу с *i*-й элеваторной станции, $b_j$ – количество маршрутов, ожидаемых на $j$-й припортовой станции.

Отметим, что разработанная в настоящей статье методика позволяет (наряду с рассматриваемой в данном случае закрытой моделью) решать соответствующие задачи по оптимизации грузопотоков и для открытой транспортной модели, то есть с нарушенным условием баланса в (2). Например, в случаях, когда $\sum_{i=1}^{m} a_i < \sum_{j=1}^{n} b_j$, возможности приема зерна на припортовых станциях (портах) превышают заявленные на элеваторных станциях запасы. Или же когда $\sum_{i=1}^{m} a_i > \sum_{j=1}^{n} b_j$, то есть имеются дополнительные возможности по варьированию объемов зерна, вывозимого с элеваторных станций.

При этом не используются стандартные искусственные приемы, состоящие в введении соответствующих фиктивных станций.

Пусть $t_{ij}$ – время нахождения маршрута на участке между $i$-й элеваторной станцией и $j$-й припортовой станцией, сутки. Время перевозок между всеми элеваторными станциями и всеми припортовыми станциями может быть представлено матрицей $\left(t_{ij}\right)$. Матрица, элементами которой являются рассматриваемые в настоящей работе численные значения $t_{ij}$, - составная часть таблицы 3.

*Таблица 3*

**Расстояния и время следования маршрутов на участках между станциями элеваторов и припортовыми станциями**

| Станция | Порт | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Новороссийск | | Туапсе | | Тамань | |
| | $l_{ij}$ | $t_{ij}$ | $l_{ij}$ | $t_{ij}$ | $l_{ij}$ | $t_{ij}$ |
| Ангелинская | 121 | 0,38 | 268 | 0,83 | 176 | 0,55 |
| Аполлонская | 582 | 1,8 | 480 | 1,49 | 653 | 2,03 |
| Белоглинская | 341 | 1,06 | 353 | 1,10 | 412 | 1,28 |
| Благодарное | 561 | 1,74 | 573 | 1,78 | 632 | 1,96 |
| Динская | 164 | 0,51 | 176 | 0,55 | 235 | 0,73 |
| Изобильная | 373 | 1,16 | 385 | 1,2 | 444 | 1,38 |
| Ипатово | 536 | 1,66 | 548 | 1,7 | 607 | 1,89 |
| Целина | 460 | 1,43 | 472 | 1,47 | 531 | 1,65 |

Ввиду малых возможных значений плана перевозок $x_{ij}$ по сравнению с общим числом маршрутов, находящихся в каждый момент времени на рассматриваемой части полигона СКЖД, вполне корректным является допущение, что указанное в таблице 3 время $t_{ij}$ не зависит от значений $x_{ij}$. Более того, приведённые в таблице значения времени следования маршрутов на участках при условии нахождения на этой части полигона других грузовых поездов различных назначений приняты как среднестатистические числа.

В соответствии со сказанным выше в качестве подлежащей оптимизации целевой функции будем рассматривать время максимальной по времени перевозки всех маршрутов в рассматриваемом плане перевозок (общее время перевозок), то есть

$$z = \max_{i,j} t_{ij} \operatorname{sgn}\left(x_{ij}\right). \qquad (3)$$

Таким образом, величиной $z$ определяется время реализации всего плана перевозок. Для целевой функции (3) решается задача нелинейного (в данном случае целочисленного) математического программирования $z \to \min$ с ограничениями (2).

Другими словами, оптимальным является такой план перевозок, в котором время максимальной по времени перевозки не превосходит времени максимальной по времени перевозки в любом другом плане.

**Нахождение планов перевозок в среде системы аналитических вычислений**

Для поставленной выше минимаксной задачи математического программирования разработаны алгоритм и доведенная до численных результатов процедура нахождения оптимального распределения грузопотоков в среде системы аналитических вычислений. В качестве программного обеспечения может быть использована, например, Maxima (Free Ware).

Ниже приведены два последовательно полученных в строке вывода системы аналитических вычислений плана перевозок с общим временем $2,03$ суток и общим временем $1,78$ суток. Затем приводятся два десятка планов перевозок для данной сети в заданных условиях, каждый из которых обеспечивает минимальное значение общего времени перевозок равное $1,74$ суток. Для наглядности один из этих планов представлен в таблице 4. (Отметим, что в статье приведена лишь весьма незначительная часть из тех многих рациональных планов, найденных системой аналитических вычислений.)

0,0,4,0,0,1,0,4,1,3,1,0,1,0,0,2,0,0,3,0,0,6,0,0
2.03
0,0,4,0,1,0,0,3,2,3,1,0,1,0,0,2,0,0,3,0,0,6,0,0
1.78
0,0,4,0,1,0,0,3,2,4,0,0,0,1,0,2,0,0,3,0,0,6,0,0
0,0,4,0,1,0,3,2,0,4,0,0,0,0,1,1,1,0,3,0,0,4,1,1
0,0,4,0,1,0,3,2,0,4,0,0,0,0,1,2,0,0,1,2,0,5,0,1
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,1,1,0,2,1,0,2,1,3
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,1,1,0,3,0,0,1,2,3
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,2,0,0,0,3,0,3,0,3
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,2,0,0,1,2,0,2,1,3
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,2,0,0,2,1,0,1,2,3
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,2,0,0,3,0,0,0,3,3
0,2,2,0,1,0,5,0,0,4,0,0,0,0,1,0,1,1,3,0,0,3,1,2
0,2,2,0,1,0,5,0,0,4,0,0,0,0,1,0,2,0,3,0,0,3,0,3
0,2,2,0,1,0,5,0,0,4,0,0,0,1,0,0,1,1,3,0,0,3,0,3
0,3,1,0,1,0,0,0,5,4,0,0,0,1,0,2,0,0,3,0,0,6,0,0
0,3,1,0,1,0,0,0,5,4,0,0,1,0,0,1,1,0,3,0,0,6,0,0
0,3,1,0,1,0,0,0,5,4,0,0,1,0,0,2,0,0,2,1,0,6,0,0
0,3,1,0,1,0,0,0,5,4,0,0,1,0,0,2,0,0,3,0,0,5,1,0
0,3,1,0,1,0,0,1,4,4,0,0,0,0,1,2,0,0,3,0,0,6,0,0
0,3,1,0,1,0,1,0,4,4,0,0,0,0,1,2,0,0,3,0,0,5,1,0
0,3,1,0,1,0,1,0,4,4,0,0,0,1,0,1,0,1,3,0,0,6,0,0
0,3,1,0,1,0,1,0,4,4,0,0,0,1,0,2,0,0,3,0,0,5,0,1
1.74

*Таблица 4*

**Примероптимального плана перевозок зерновых грузов отправительскими маршрутами**

| Припортовые станции / Станции прирельсовых элеваторов | Новороссийск | Туапсе | Тамань |
|---|---|---|---|
| Ангелинская | 0 | 3 | 1 |
| Аполлонская | 0 | 1 | 0 |
| Белоглинская | 1 | 0 | 4 |
| Благодарное | 4 | 0 | 0 |
| Динская | 0 | 1 | 0 |
| Изобильная | 2 | 0 | 0 |
| Ипатово | 3 | 0 | 0 |
| Целина | 5 | 0 | 1 |

Считаем целесообразным приведение результатов еще одной вычислительной процедуры. При этом добавлен ряд ограничений на планы перевозок с целью конкретизации оптимального плана, которую предлагаем выполнить исходя из следующих критериев:

1. Минимальное расстояние между станцией (пунктом) погрузки (станция прирельсового элеватора) и припортовой станцией (портом): $l_{ij} \to min$ ;

2. Зерновой кластер образован α-складом;

3. Максимальная величина запасов склада (элеватора): $E_i \to max$ ;

4. Припортовая станция (порт) имеет максимальную перерабатывающую способность: $Q_i^p \to max$ ;

5. Максимальная величина ставки дохода в расчете на одно транспортное средство (вагон) для компании оператора (собственника).

Отметим, что представленный алгоритм универсален и может быть использован как для железнодорожного транспорта, так и для автомобильного.

Например, из рис. 2 и табл. 2 видно, что станция Ангелинская находится существенно ближе к станции Новороссийск, чем к двум другим рассматриваемым припортовым станциям. Обращаясь к первому из представленных выше критериев, естественно наложить на распределение грузопотоков дополнительное ограничение, состоящее в том, чтобы с указанной станции прирельсового элеватора в порт Новороссийск отправлялось не менее 3-х маршрутов и при этом ни одного маршрута не отправлялось в Туапсе. Кроме того, на станцию Новороссийск должен быть отправлен единственный маршрут со станции Динской, а единственный маршрут со станции Аполлонской - направлен в Туапсе. Все маршруты со станций Белоглинская и Благодарное должны быть направлены в Новороссийск или в Туапсе. Ниже приведен один из 3 последовательно полученных неоптимальных планов перевозок с одним и тем же общим временем 1,89 суток. Далее приведен один из 120 последовательно полученных рациональных планов перевозок. Выбор из этих планов оптимального для рассматриваемых станций варианта распределения грузопотоков обеспечивает минимальное значение общего времени перевозок равное 1,74 суток.

3,0,1,0,1,0,1,4,0,4,0,0,1,0,0,0,0,2,0,0,3,6,0,0

1.89, 3

4,0,0,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,1,1,0,0,3,0,0,0,6

1.74, 120

**Выводы**

Изложен подход к вопросам оптимизации распределения зерновых грузопотоков в железнодорожной припортовой транспортно-технологической системе, учитывающий региональные инфраструктурные показатели и экономико-географические параметры накопления зерновых грузов. Сформирована модель перевозочного процесса, представляющая собой минимаксную задачу нелинейного целочисленного математического программирования. Предложен алгоритм, реализована и доведена до численных результатов в среде системы аналитических вычислений процедура нахождения оптимального по времени распределения потоков зерновых грузов.

Разработанный алгоритм выбора зерновых кластеров на заданной сети может быть использован при выборе зон хранения других насыпных грузов. Для множества полученных вариантов решения поставленной задачи указан способ выбора среди них рационального с точки зрения клиента. Ввод дополнительных экспертных ограничений позволяет находить оптимальный вариант распределения припортовых грузопотоков.

**Литература**


1. Встреча Президента РФ В.Путина с главой Минсельхоза Д.Патрушевым и руководителем Россельхознадзора С. Данквертом. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://kremlin.ru/events/president/news/59742

2. Сидорюк И.В., Красова Е.В. Роль международных транспортных коридоров в экономике Приморского края // Территория новых возможностей Вестник ВГУЭС. - 2012.- №1. - С. 52-63. ISSN: 2073-3984.

3. ЧисловО.Н., БогачевВ.А., ЗадорожнийВ.М., БогачевТ.В.Методы прогрессивного распределения порожних вагонопотоков в припортовой транспортно-технологической системе //Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2015. - № 4 (60). - С. 92-102. ISSN: 0201-727X.

4. Chislov O., Bogachev V., Zadorozhniy V., Bogachev T. Economic-geographical method delimiting wagon flows in the region considered: Model and algorithm// Transport problems. - 2018. -Vol.13. No.2. - P. 39–48. ISSN: 1896-0596eISSN: 2300-861X

5. Borndörfer R., Klug T., Schlechte T., Fügenschuh A., Schang T., Schülldorf H. The freight train routing problem for congested railway networks with mixed traffic // Transportation science. - 2016. - Vol. 50. - № 2. - P. 408-423. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0656ISSN: 0041-1655.

6. Материалы доклада Рубинчик Е. Промежуточные итоги экспорта зерна в целом и по ЖД в сезоне 2016/17. – САММИТ Meat & Poultry – Fish & Seafood – 2017, Москва. – 2017 [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.rusagrotrans.ru/analitika/doklady-i-prezentatsii/2017.pdf

7. Hyland M., Mahmassani H., Mjahed L. Analytical models of rail transportation service in the grain supply chain: deconstructing the operational and economic advantages of shuttle train service // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.- 2016. - Vol. 93. - P. 294-315. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://doi.org/10.1016/j.tre. 2016.06.008 ISSN: 1366-5545.

8. Дыбская В.В.,ЗайцевЕ.И., СергеевВ.И., Стерлигова А.Н. Логистика/под ред. В.И. Сергеева. – М.:Эксмо, 2013. 944 с.ISBN: 978-5-699-61919-1.

9. Числов О.Н., Люц В.Л. Модифицированный гравитационный метод в размещении распределительных терминалов портовых железнодорожных транспортно-технологических систем // Инженерный вестник Дона. - 2012. - Т. 23. - № 4–2 (23). - С. 82.eISSN: 2073-8633.

10. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели: Пер. с англ. - М.: Мир, 1991.- 464с. ISBN 5-03-002131-0.

11. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Ситуационное управление перевозочным процессом // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ.- 2004.- № 11.- С.14-16.

12. Полянский, Ю.А. Топологическое моделирование взаимодействия хозяйств железной дороги / Ю.А. Полянский, П.В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ РАН.- 2003.- № 7.- С.8-18.

**Сведения об авторах**

**Числов Олег Николаевич,** доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Станции и грузовая работа», Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС) -

344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2.

Телефон 8 (863) 272-63-23

E-mail: o_chislov@mail.ru.

**Богачев Виктор Алексеевич,** кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры «Высшая математика», Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС).

Телефон 8 (863) 272-63-30

E-mail: bogachev-va@yandex.ru.

**Кравец Александра Сергеевна,** старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой», Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС).

Телефон 8 (863) 272-62-40

E-mail: kravec_as@mail.ru.

**Задорожний Вячеслав Михайлович,** ассистент кафедры «Станции и грузовая работа», Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС).

Телефон 8 (863) 272-42-01

E-mail: zadorozniy91@mail.ru.

**Богачев Тарас Викторович,** кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры «Фундаментальной и прикладной математики», Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)

344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 69.

Телефон 8 (863) 261-38-85

E-mail:bogachev73@yandex.ru.

УДК 656.2.002.846:656.225.073.235

# ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОВ В ВАГОНАХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

Аспирант **Безруков Д.Д.**
(Российский университет транспорта. РУТ - МИИТ)
Выпускник-специалист **Пономарёв Е.А.**
(Московский государственный технический университет
(МГТУ) им. Н.Э. Баумана)

# AUTOMATIC CARGO SHIFT TECHNOLOGY IN WAGONS OF HIGH SPEED FREIGHT TRAINS

Graduate student **Bezrukov D.D.**
(Russian University of Transport. RUT - MIIT)
Graduate specialist **Ponomarev E.A.**
(Moscow State Technical University
(MSTU) im. N.E. Bauman)

*ВСМ-2, алгоритм поиска в ширину, алгоритм А*, высокоскоростной грузовой поезд, центр тяжести, погрузка, выгрузка, контейнер ULD.*

*HSR-2, breadth-first search, A*, high speed freight train, center of gravity, loading, unloading, ULD.*

*В статье рассматривается концепция вагона высокоскоростного грузового поезда, перевозящего авиационные контейнеры и поддоны (ULD), оснащённого механизмом автоматического перемещения грузов в соответствии с имеющимися данными о местах их расположения. Механизм направлен на поддержание оптимального положения центра тяжести, а также на автоматизацию процесса погрузки-разгрузки. Для функционирования данного механизма разработан алгоритм и представлен в графическом виде.*

*This article presents a conception of high speed freight wagon for ULD transportationequipped with ULD automatic shift device that is functioningaccording to data of their location in wagon. The main applicability of such device is to support of weight balance and automate of loading and unloading processes.The functioning algorithm of this device were designed and presented in graphical view.*

## Актуальность проблемы

В настоящий момент в рамках проекта ВСМ-2 проектными организациями представлена заказчику АО "Скоростные магистрали" проектная документация по разработке высокоскоростного поезда с максимальной скоростью до 250 км/ч, способного перевозить товары рынка электронной торговли в авиационных контейнерах (ULD). Максимальный вес состава с грузом будет составлять от 570 т до 1140 т в зависимости от количества вагонов (для сравнения, вес пассажирского высокоскоростного поезда, по предварительным расчетам, - от 541 т до 1090 т при максимальной скорости 360 км/ч) [1, 6-9].

Авторы данной статьи рассматривают перспективу увеличения максимальной скорости грузовых перевозок и для компенсации воздействия внешних сил на подвижной состав предлагают внедрить систему, минимизирующую смещение центра тяжести вагона в автоматическом режиме на протяжении всего маршрута (включая промежуточные остановки для частичной погрузки-выгрузки) и автоматизирующую процесс погрузки-разгрузки.

Решение о возможности внедрения подобной системы было принято после анализа статьи корейских инженеров, посвященной проблеме планирования погрузки-разгрузки перспективных высокоскоростных поездов Cargo Transit Express (CTX) в условиях повышенных эксплуатационных скоростей [2]. Исследователи разработали эвристическую модель для поиска оптимального решения по равномерному распределению нагрузки от перевозимых ULD и по сокращению времени погрузочно-разгрузочных операций на промежуточных остановочных пунктах. Однако модель не обеспечивает полностью решение поставленной задачи ввиду технической невозможности постоянного поддержания оптимального положения центра тяжести после осуществления операций по частичной погрузке-разгрузке на промежуточных остановочных пунктах [10, 11].

**Степень изученности темы.** В настоящий момент не было найдено научных работ, посвященных механизмам автоматического перемещения грузов внутри транспортных средств, для поддержания оптимального положения центра тяжести.

## Механизмам автоматического перемещения грузов внутри транспортных средств

**Суть новаторства.** Основная идея заключается в исследовании возможности автоматического перемещения перевозимых ULD по принципу игры "пятнашки" в соответствии с имеющейся схемой расстановки их по вагону. Для этого на пол вагона устанавливаются перекрестные транспортеры, способные перемещать груз в четырех направлениях (вперед, назад, вправо, влево). На рисунке 1 представлен эскиз описываемой конструкции.

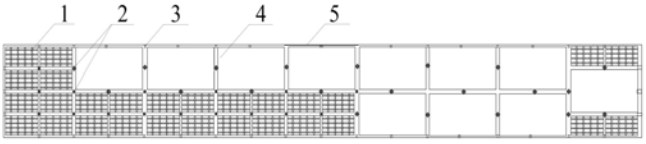



Рис. 1. Пол вагона с установленным механизмом перемещения ULD:
1 - платформа с приводами; 2 - фиксаторы напольные; 3 - направляющие; 4 - ULD; 5 - двери

Идея использования перекрестных транспортеров (рис. 2) взята из складского комплекса, где их применяют для изменения направления движения груза.

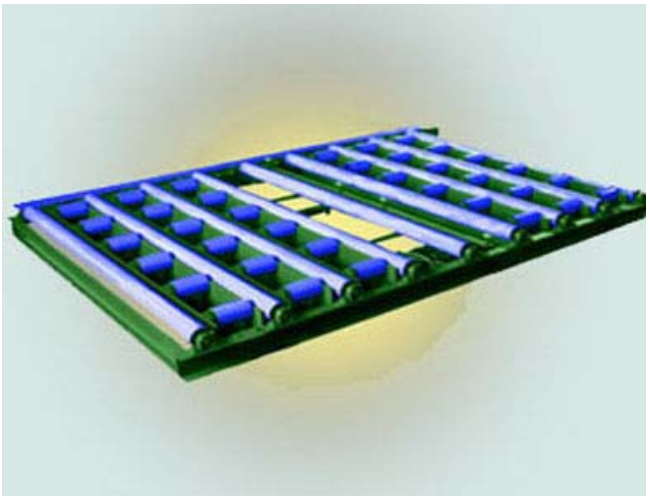


Рис. 2. Транспортёр перекрёстный (производитель ООО «КРАНДЕТАЛЬ»)

В качестве перевозимых ULD являются поддоны PYB Q6 (2,438м х 1,4м), размещенные на полу вагона длиной 24 м и шириной 3,14 м. Габариты внутреннего пространства вагона установлены авторами приблизительно, на основании информации из презентационных материалов ОАО «РЖД» о внешних габаритах вагона высокоскоростного грузового поезда. Один поддон занимает четыре перекрестных транспортера.

В соответствии с рисунком 3 пол вагона делится на 3 ряда по 9 мест. Важно учитывать, что при занятии ряда Б уже невозможно будет переместить другие ULD по соседним линиям, поэтому перемещение на ряд Б целесообразно делать в последнюю очередь.

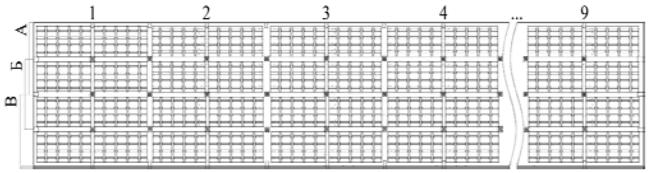



Рис. 3. Разделение вагонного пространства по секторам

Перевозимый поддон закрепляется с четырёх сторон с помощью направляющих и специальных фиксаторов в соответствии с рисунком 1. Направляющие установлены вдоль стен вагона и предохраняют перемещаемые ULD от перекоса. Фиксаторы приводятся в движение с помощью выдвигающегося из пола вагона стержня. Направляющие и фиксаторы по форме схожи с применяемыми в авиации.

Помимо положительных сторон, у данного механизма есть недостаток: для перемещения ULD в вагоне должна быть хотя бы одна свободная ячейка. Прежде всего, это необходимо для поездов, совершающих погрузочно-разгрузочные операции на промежуточных остановочных пунктах.

**Режимы работы перекрестных транспортеров.** Для функционирования предложенного механизма необходимо разработать ряд алгоритмов, в соответствии с которыми будут осуществляться перемещения ULD:

1. Погрузка ULD с платформы.

Алгоритм отвечает за погрузку контейнеров ULD, расположенных в порядке, обеспечивающем наиболее быстрое их размещение в соответствии с имеющейся схемой.

2. Распределение ULD внутри вагона.

Алгоритм применяется после частичной выгрузки или частичной погрузки вагона (при условии, что хотя бы 1 ячейка свободна) на промежуточном остановочном пункте, когда нарушается первоначальная схема размещения ULD.

3. Выгрузка ULD.

Последовательная выгрузка ULD из вагона в зависимости от близости к дверному проёму.

## Математическая модель работы перекрестных транспортеров и программная реализация

Предлагаемые в данной статье математическая модель и алгоритм разработаны для режима 2.

**Постановка задачи.** Вагон высокоскоростного поезда, пол которого разделен на 2 ряда по 9 мест (2x9), перевозит на бортуне более 17ULD, размещенных в соответствии со схемой А (рис. 4). По прибытии на промежуточный остановочный пункт и совершении погрузочно-разгрузочной операции появляется необходимость расположить ULD в соответствии с новой схемой В.

Задача состоит в том, чтобы за наименьшее число перестановок ULD перейти из схемы А к схеме В.

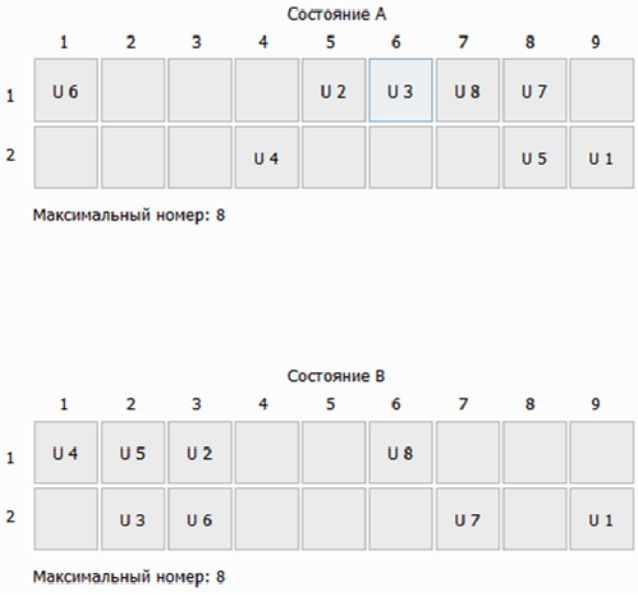



Рис. 4. Пример схемы состояния А и схемы состояния В

**Описание алгоритма поиска**. Данную задачу можно представить как поиск между двумя вершинами конечного неориентированного графа. Для решения задачи применялись стандартныйалгоритм поиска в ширину и алгоритм А*.

Вершиной графа является положение всех ULD в вагоне, закодированное 22 байтами, где 18 первых номеров байтов – номера позиций ячейки, а их значения – номер ULD либо 0 (0 означает пустую ячейку), а 4 последних являются ссылкой на родительскую вершину в предыдущем уровне.

Переход из одной вершины графа в другую осуществляется путем перемещения ULD в эту пустую клетку, соседствующую с ним. Таким образом, в зависимости от положения пустой клетки при раскрытии графа появляются две или одна новые вершины, так как перемещение в предыдущее состояние недопустимо (рис. 5).

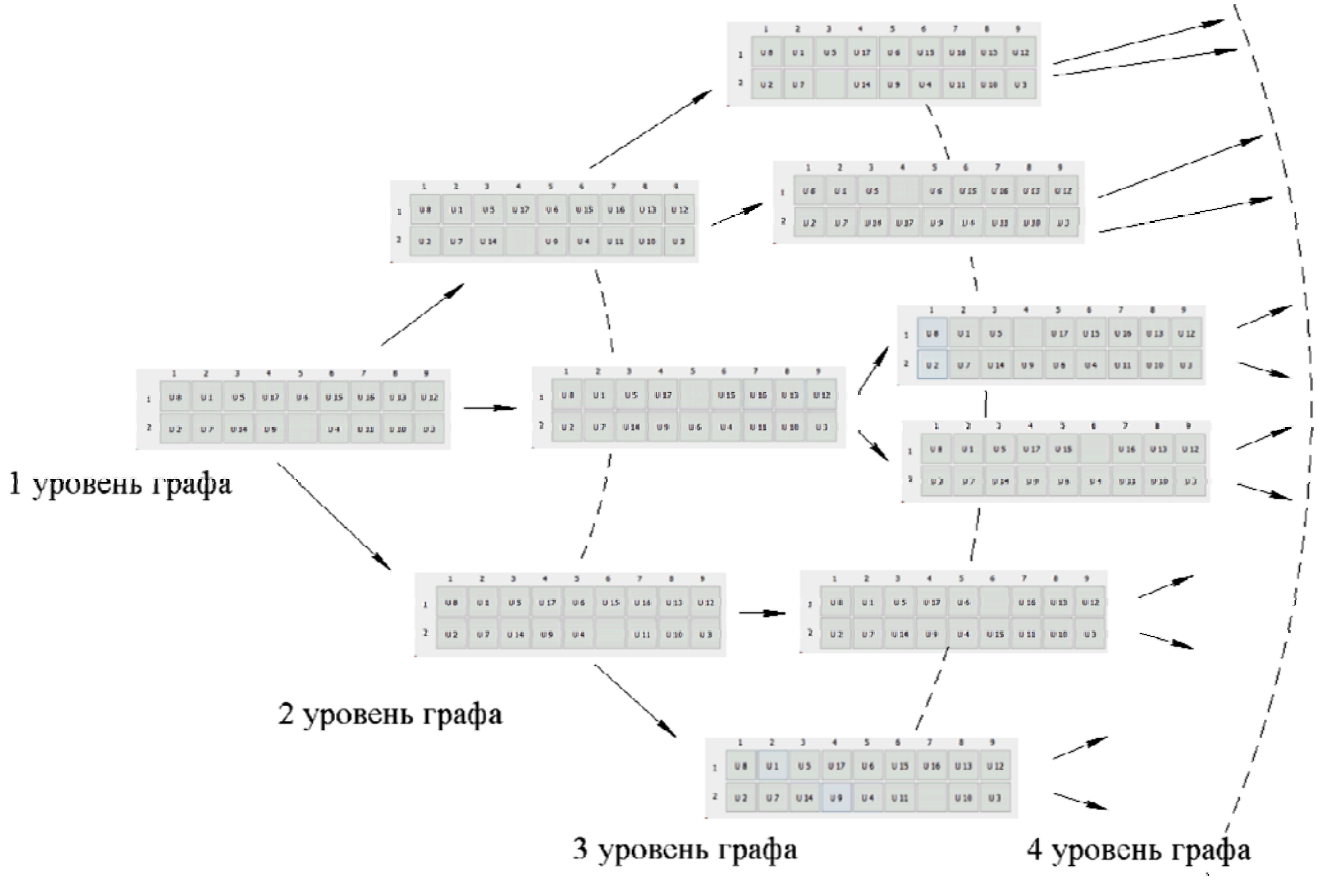



Рис. 5. Схема графа состояний

Также необходимо отметить невозможность решения определенной ситуации, описанной ниже. Пусть дана некоторая позиция на доске:

$$\begin{matrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 & a_8 & a_9 \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} & a_{18} \end{matrix}, \quad (1)$$

где один из элементов $a_z = 0$.

Рассмотрим перестановку:

$$a_1 a_2 \ldots a_{z-1} a_{z+1} \ldots a_{17} a_{18}, \quad (2)$$

т.е. перестановка чисел, соответствующая позиции, без нулевого элемента.

Обозначим через $N$ количество инверсий в этой перестановке, т.е количество таких $a_i$ и $a_j$, что $i < j$, но $a_i > a_j$. Далее, пусть $K$ – номер строки, в которой находится пустой элемент, т.е. в наших обозначениях

$$K = (z-1)\,div\,9 + 1, \quad (3)$$

При этом решение существует тогда и только тогда, когда $N + K$ четно.

Доказательство для случая матрицы 4x4 было приведено в 1879 году Джонсоном и Стори [3]. В 1999 году Арчер предложил более простое доказательство [4].

В процессе расчета было выяснено, что данное ограничение распространяется и на данную ситуацию.

Алгоритм поиска в ширину – это один из самых простых алгоритмов обхода невзвешенного графа. Он работает путем просмотра каждого уровня графа, начиная с вершины-источника.

Для просмотра очередной вершины, она извлекается из «головы» очереди, а все вершины-потомки помещаются в очередь. Таким образом, возможен полный перебор всех вершин графа последовательно уровень за уровнем. Блок-схема данного алгоритма представлена на рисунке 6.

Алгоритм A* – это алгоритм поиска, который находит во взвешенном графе маршрут наименьшей стоимости от начальной вершины до выбранной конечной [5].

В процессе работы алгоритма для вершин рассчитывается функция:

$$f(v) = g(v) + h(v), \quad (4)$$

где $g(v)$ – наименьшая стоимость пути в $v$ из стартовой вершины;

$h(v)$ – эвристическое приближение стоимости пути от $v$ до конечной цели;

$v$ – текущая рассматриваемая вершина графа.

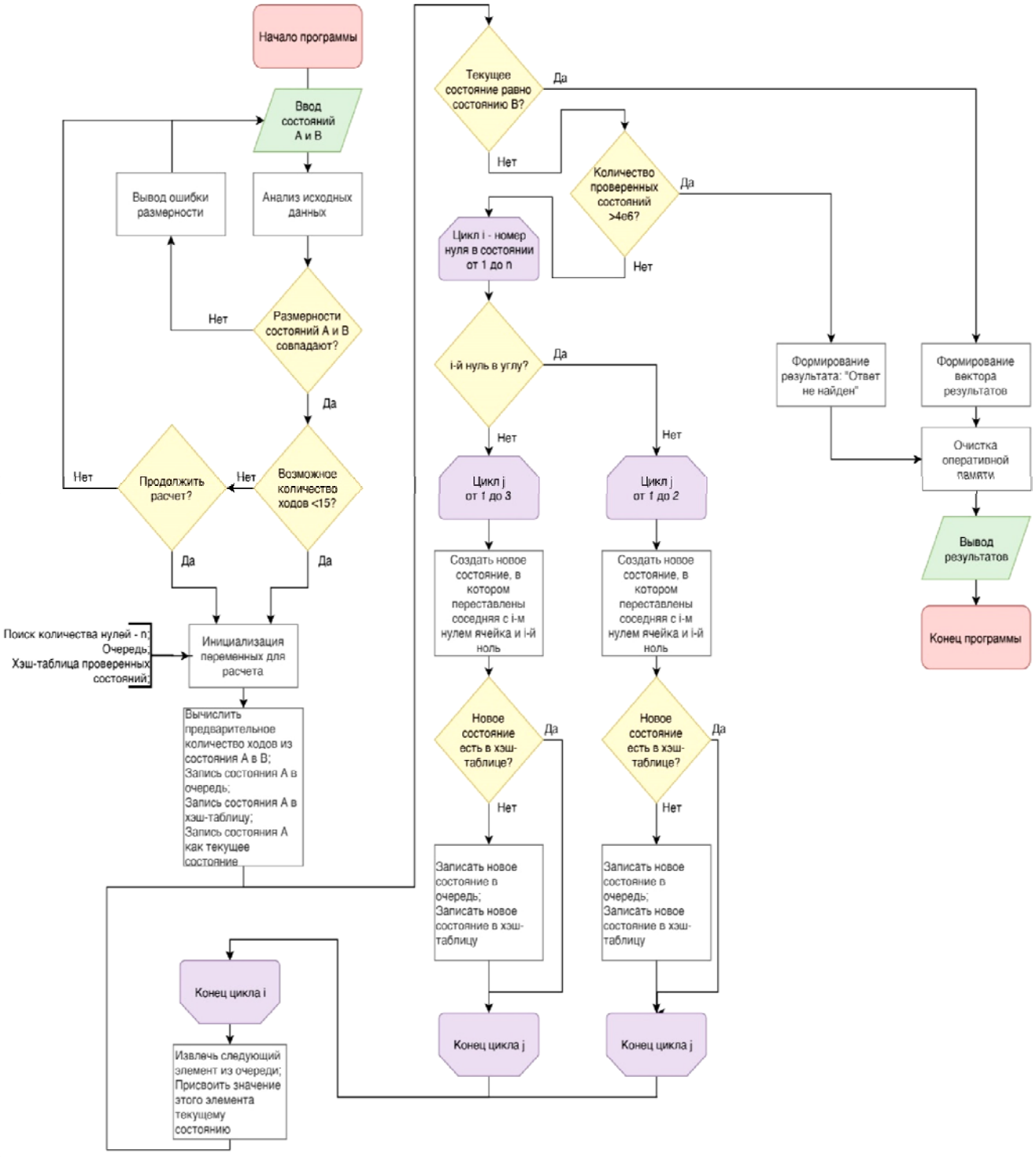



Рис. 6. Блок-схема алгоритма поиска в ширину

Чтобы алгоритм A* был оптимален, выбранная функция должна быть допустимой эвристической функцией. В качестве эвристической функции была выбрана сумма необходимых ходов ULD из своих позиций состояния A, до требуемых позиций состояния B. Блок-схема данного алгоритма представлена на рисунке 7.

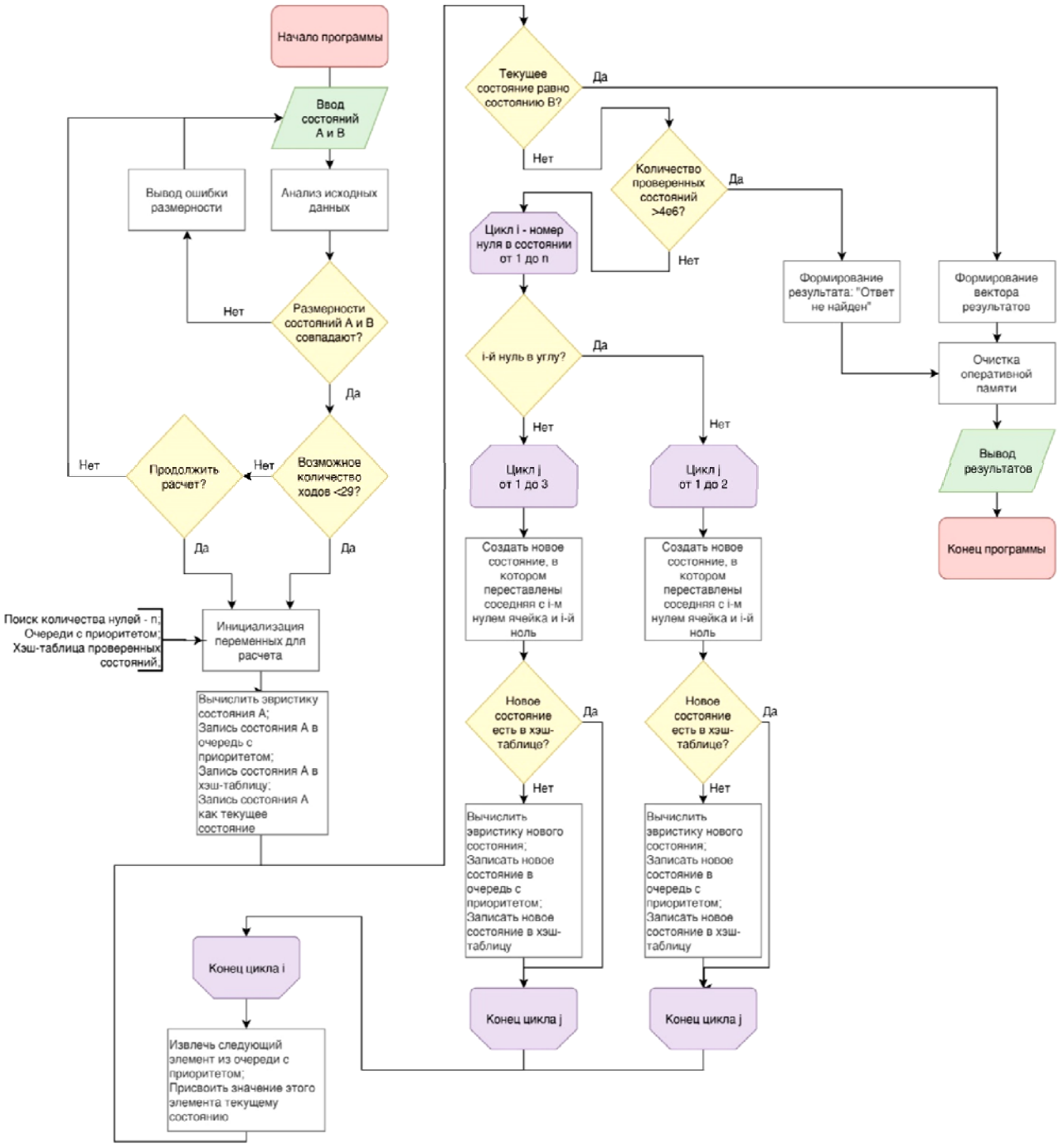



Рис.7. Блок-схема алгоритма A*

**Разработка программы.** Программа, реализующая алгоритм, содержит следующие части:

1) Интерфейсная часть, в которой исходные данные для расчета задаются пользователем и все ходы решения выводятся в информационное окно вывода результатов или в виде сообщения об ошибке (рис. 8).

2) Расчетный класс содержит функцию для анализа исходных данных, основную расчетную функцию и дополнительные функции для проведения расчета.

Функция анализа исходных данных предназначена для проверки размерности исходных состояний A и B и предварительного расчета количества ходов для успешного проведения расчета.

Основная расчетная функция принимает исходные данные, далее осуществляет расчет по алгоритму, а затем формирует ответ для вывода в окно результатов.

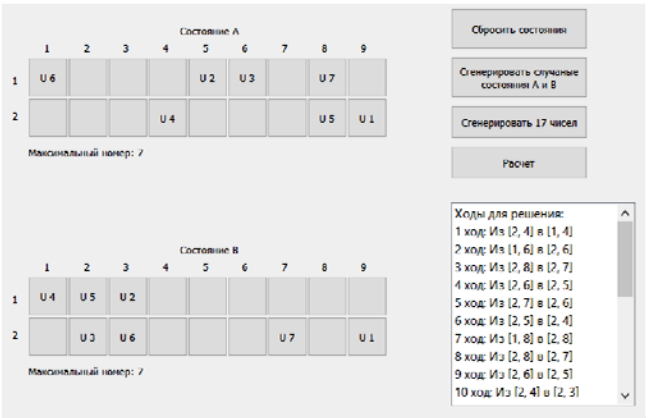



Рис. 8. Интерфейс расчетной программы

3) Дополнительные функции включают в себя функцию раскрытия вершины графа, функцию проверки вершины графа, функцию поиска номеров положения нулей в текущей вершине, функцию оценки эвристики.

При расчете алгоритм поиска в ширину всегда будет находить наиболее верное решение, так как является по своей сути полным перебором. Но в ходе тестирования алгоритм требовал значительных вычислительных ресурсов, начиная с 15 ходов, для достижения состояния B из состояния A. Данное ограничение связано, в первую очередь, с ограничением в оперативной памяти, хранящей все вершины, которые были проверены алгоритмом, и очередь с вершинами для проверки.

Поэтому было принято решение перехода к алгоритму с допустимой эвристикой: сумма необходимых ходов ULD из своих позиций состояния A, до требуемых позиций состояния B, или алгоритму A*.

Дальнейшее тестирование показало, что алгоритм допустимо работает до 30 ходов. Ограничение в 30 ходов связано в первую очередь с тем, что общее количество вершин превышает размер в 4 байта и тем самым требует использование не просто указателей на вершины, но и группировку этих указателей. При группировке же возникает то же ограничение в оперативной памяти. Оценка показала, что переход от оперативной памяти к памяти жесткого диска не окажет значительного влияния на алгоритм, так как количество вершин графа растет экспоненциально с каждым уровнем графа, а также растет вычислительная сложность алгоритма, что, в свою очередь, повлияет на время расчета.

Поэтому на данном этапе исследования, при текущем алгоритме работы, необходимо учесть это ограничение при формировании требований к первой задаче - **Режимы работы перекрестных транспортеров**. Там же необходимо учесть ограничение, указанное в пункте – **Описание алгоритма поиска**.

### Литература


1. ОАО «ВНИИЖТ». Отчетные материалы по дополнительному соглашению №1 от 09 ноября 2015 года к Договору № 3490/15 от 28 октября 2015 года. «Научно-техническое сопровождение раздела «Подвижной состав (высокоскоростной пассажирский электропоезд, специальный грузовой электропоезд)» в составе проектной документации строительства участка Москва – Казань по объекту «Высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва – Казань – Екатеринбург» (ВСМ 2). Определение исходных данных по подвижному составу для выполнения тяговых и электрических расчетов для организации движения по участку Москва – Казань ВСМ 2». – Москва, 2016.

2. Dong-jin Noh, Byung-In Kim, Hyunbo Cho, Jun-Seo Park. A multi-leg load-planning algorithm for a high-speed freight train // International Journal of Industrial Engineering. – 2016. – 23(3). – 183-194.

3. Wm. Woolsey Johnson and William E. Story. Notes on the "15" Puzzle // American Journal of Mathematics. – 1879. – Vol. 2, No. 4. – С. 397– 404.

4. Aaron F. Archer. A modern treatment of 15 puzzle // The American Mathematical Monthly. – 1999. – Vol. 106, No. 9. – С. 793-799.

5. Dechter, R., Pearl, J. Generalized best-first search strategies and the optimality of A* // Journal of the ACM. – 1985. – Т. 32, № 3. – С. 505 – 536.

6. Мишарин А.С. Развитие скоростного и высокоскоростного сообщения в Российской Федерации. Монография. – М.: ВИНИТИ РАН, 2014. – 300с.

7. Резер С.М., Прокофьева Т.А.. Гончаренко С.С. международные транспортные коридоры: проблемы формирования и развития. – М.: ВИНИТИ РАН, 2010 – 311с.

8. Морозов В.Н. Перспективы развития контейнерных перевозок в международных трансконтинентальных сообщениях // Транспорт: наука, техника, управление. – 2009. - №1. – С.3-6.

9. Елисеев С.Ю., Максимов В.В. Государственно-частное партнерство в транспортном секторе: зарубежный опыт // ВКСС. Connect. - 2008. - № 2.- С. 64-72.

10. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Ситуационное управление перевозочным процессом // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ РАН.- 2004.- № 11.- С.14-16.

11. Полянский, Ю.А. Топологическое моделирование взаимодействия хозяйств железной дороги / Ю.А. Полянский, П.В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ РАН.- 2003.- № 7.- С. 8-18.


### Сведения об авторах


**Безруков Дмитрий Дмитриевич**, аспирант РУТ (МИИТ), кафедры «Коммерческая эксплуатация транспорта и тарифы»

E-mail: dbezrukov22@yandex.ru.

Тел.: 8-495-372-36-43; 8-985-341-80-71.

**Пономарев Егор Алексеевич**, выпускник-специалист МГТУ им. Баумана факультета энергомашиностроения специальности «Ядерные реакторы и материалы».

E-mail: egorponomarevwork@gmail.com.

Тел.: 8-915-332-01-69.

УДК 656.2.003:330.322

# МОДЕРНИЗАЦИЯ И РАЗВИТИЕ МАГИСТРАЛЬНОЙ И ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

Кандидат экон. наук, доцент **Пухова Е.В.**
(Российского университета транспорта. РУТ - МИИТ)

# MODERNIZATION AND DEVELOPMENT OF THE MAIN AND TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF RUSSIA AS A FACTOR OF ECONOMIC GROWTH

Ph. D. (Econ.), Associate Professor **Pukhova E.V.**
(Russian University of Transport. RUT - MIIT)

*Транспортная инфраструктура, железнодорожный транспорт, инфраструктурный проект, источники финансирования, экономический рост.*

*Transport infrastructure, railway transport, infrastructure project, sources of financing, economic growth.*

*В статье представлен анализ реализации плана модернизации и развития транспортной инфраструктуры России в период 2019 - 2024 гг., раскрыты источники финансирования транспортных инфраструктурных проектов, прогнозируемые результаты реализации проектов и их влияние на экономический рост.*

*The article presents an analysis of the implementation of the plan of modernization and development of transport infrastructure of Russia in the period 2019 - 2024, reveals the sources of financing of transport infrastructure projects, the projected results of the projects and their impact on economic growth.*

Транспортная доступность российских территорий, уровень их экономической связанности – факторы, значительно влияющие на темпы экономического роста. По экспертным данным, экономические потери России от некачественной дорожной инфраструктуры составляют около 6% ВВП [1]. Поэтому повышение качества транспортной инфраструктуры является важнейшей задачей на современном этапе.

На современном этапе экономического развития перед Россией стоит задача обеспечения устойчивого экономического роста на уровне среднемировых значений (3-5 % в год). Задачу комплексного развития магистральной, в том числе транспортной инфраструктуры, обозначил Президент РФ в Указе «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [2]. В соответствии с этим документом разработан и утвержден комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года (далее - План) [3].

В План включены 11 федеральных проектов, из которых 9 проектов направлены на модернизацию и расширение транспортной инфраструктуры, а 2 проекта - на модернизацию и расширение энергетической инфраструктуры.

Проведем анализ динамики объемов финансирования и источников финансирования инфраструктурных проектов в сфере транспорта (табл.1).

Анализ приведенных данных показывает, что 29,5% общего объема финансирования предусматривается направить на реализацию проектов в сфере железнодорожного транспорта, 29 % - водного и морского транспорта, 11 % - автодорожного транспорта , 4,7 % - в сфере авиации, 25,8 % - на строительство транспортно-логистических центров и коммуникаций между административными центрами экономического роста**.**

Из предусмотренного общего объема финансирования транспортных инфраструктурных проектов в размере 6,35 трлн. руб., более половины (51,4 %) составит финансирование из внебюджетных источников. Это означает, что проекты будут реализовываться на основе применения механизма государственно-частного партнерства (далее – ГЧП). По таким проектам, как "Железнодорожный транспорт и транзит", Транспортно-логистические центры", "Высокоскоростное железнодорожное сообщение» доля внебюджетного финансирования составляет 97 %, 78 % и 68 %, соответственно.

По проекту "Внутренние водные пути" не предусматривается внебюджетное финансирование. Очевидно, что это транспортное направление не является достаточно привлекательным для частных инвесторов.

Анализ динамики и структуры источников финансирования инфраструктурных проектов, включенных в План, свидетельствует, что планируется использовать мировой опыт инвестирования транспортной отрасли на основе ГЧП, особенно в сфере железнодорожного транспорта.

Зарубежный опыт (Германия, Франция, Австралия и др.) показывает, что правительства стран инвестируют в развитие железнодорожного транспорта значительные средства, причем основную роль в инвестировании железнодорожного транспорта играют государственные средства. Инвестиционные программы развития железнодорожного транспорта стимулируют экономику страны в целом [4].

*Таблица 1.*

**Динамика и источники финансирования транспортных инфраструктурных проектов в период 2019-2024 гг.**

| № | Источники финансирования | Объем финансирования (млрд.руб.) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **2019** | **2020** | **2021** | **2022** | **2023** | **2024** | **2019-2024** |
| I | **Федеральные транспортные инфра-структурные проекты** всего, | **764,8** | **970,9** | **1133,6** | **1364,8** | **1294,5** | **819,4** | **6348,1** |
| | в том числе: | | | | | | | |
| | федеральный бюджет | 348,3 | 348,8 | 493,9 | 645,1 | 683,5 | 599,2 | 3028,8 |
| | консолидированные бюджеты субъектов РФ | 29,9 | 16,7 | 7,3 | 4,8 | - | - | 58,7 |
| | внебюджетные источники | 386,6 | 605,5 | 722,4 | 714,9 | 611,1 | 220,2 | 3260,6 |
| *1* | **Проект"Европа – Западный Китай",** всего, в том числе: | **8,97** | **47,8** | **96,0** | **212,5** | **185,7** | **104,0** | **655,1** |
| | федеральный бюджет - | 4,7 | 13,2 | 28,0 | 137,6 | 129,4 | 77,4 | 390,4 |
| | внебюджетные источники | 4,3 | 34,6 | 68,0 | 75,0 | 56,2 | 26,6 | 264,6 |
| *2* | **Проект "Морские порты России"** – всего, в том числе: | **138,0** | **216,3** | **238,5** | **166,1** | **102,9** | **65,2** | **927,1** |
| | федеральный бюджет | 34,9 | 37,3 | 66,2 | 36,4 | 35,8 | 25,7 | 236,3 |
| | внебюджетные источники | 103,1 | 179,1 | 172.3 | 129,7 | 67,1 | 39.5 | 690,8 |
| *3* | **Проект "Северный морской путь"** – всего, в том числе: | **49,5** | **114,9** | **142,2** | **145,6** | **69,2** | **66,1** | **587,5** |
| | федеральный бюджет | 31,0 | 37,6 | 49,3 | 50,0 | 48,2 | 49,8 | 265,9 |
| | внебюджетные источники | 18,5 | 77,3 | 92,8 | 95,6 | 20,9 | 16,3 | 321,6 |
| *4* | **Проект "Железнодо-рожный транспорт и транзит" -** всего в том числе: | **114,6** | **203,5** | **218,1** | **282.1** | **375,4** | **59,7** | **1253,5** |
| | федеральный бюджет | 9,8 | 14,5 | 11,1 | 2,0 | - | - | 37,3 |
| | внебюджетные источники | 104,8 | 189,0 | 207,1 | 280,1 | 375,4 | 59,7 | 1216,2 |
| *5* | **Проект "Транспортно-логистические центры" -** всего в том числе: | **5,1** | **2,4** | **3,8** | **10,4** | **12,06** | **12,1** | **45,9** |
| | федеральный бюджет | - | 0,4 | 0,543 | 4,6 | 3,7 | 0,8 | 10,0 |
| | внебюджетные источники | 5,1 | 2,0 | 3,3 | 5,8 | 8,4 | 11,3 | 35,9 |
| *6* | **Проект "Коммуника-ции между центрами экономического роста"** – всего, в том числе: | **328,3** | **226,6** | **219,7** | **286,0** | **323,7** | **329,2** | **1713,5** |
| | федеральный бюджет | 198,5 | 169,6 | 173,5 | 248,5 | 301,3 | 287,0 | 1378,3 |
| | консолидированные бюджеты субъектов РФ | 29,9 | 16,7 | 7,3 | 4,8 | - | - | 58,7 |
| | внебюджетные источники | 99,9 | 40,3 | 39,0 | 32,7 | 22,4 | 42,2 | 276,5 |
| *7* | **Проект "Развитие ре-гиональных аэропортов и маршрутов" -** всего, в том числе; | **38,9** | **39,6** | **43,5** | **57,0** | **44,2** | **44,3** | **267,5** |
| | федеральный бюджет | 31,2 | 30,4 | 36,5 | 50,1 | 42,7 | 43,1 | 234,0 |
| | внебюджетные источники | 7,7 | 9,2 | 7,0 | 6,9 | 1,5 | 1,2 | 33,5 |
| *8.* | **Проект "Высокоскоростное железнодорожное сообщение"** – всего, в том числе: | **43,3** | **74,1** | **133,1** | **159,0** | **129,0** | **83,3** | **621,8** |
| | федеральный бюджет | 0,09 | 0,088 | 0,088 | 70,0 | 70,0 | 60,0 | 200,3 |
| | внебюджетные источники | 43,2 | 74,0 | 133,0 | 89,0 | 59,0 | 23,3 | 421,5 |
| *9.* | **Проект "Внутренние водные пути"** – всего, в том числе: | **38,2** | **45,7** | **38,7** | **46,0** | **52,4** | **55,3** | **276,4** |
| | федеральный бюджет | 38,2 | 45,7 | 38,7 | 46,0 | 52,4 | 55,3 | 276,4 |
| | внебюджетные источники | - | - | - | - | - | - | - |

Реализация Плана в части транспортных проектов предположительно позволит получить за период 2019-2024 гг. следующие результаты:

- повышение индекса качества транспортной инфраструктуры (к уровню 2017 г.) на 15,5 %;
- рост объемов экспорта транспортных услуг с 16,9 млрд. долл. США до 25 млрд. долл. США (к уровню 2017 г.);
- достижение Россией к 2024 году места не ниже 50-го в рейтинге стран по индексу эффективности грузовой логистики;
- увеличение объема транзитных перевозок контейнеров железнодорожным транспортом в 4 раза;
- рост транспортной подвижности населения на транспорте общего пользования с 8,2 тыс. пасс. км на 1 чел. в год в 2017 г. до 9,5 тыс. пасс. км на 1 чел. в год в 2024 г.;
- повышение уровня транспортной обеспеченности субъектов РФ на 7,7 % (к уровню 2017 г.):
- увеличение пропускной способности Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей до 180 млн. тонн ежегодно.

Предусматривается также развитие транспортных коммуникаций между административными центрами субъектов РФ и другими городами - центрами экономического роста. Планируется строительство автодорожных обходов, путепроводов через железные дороги, мостовых переходов. Намечена ликвидация энергетических инфраструктурных ограничений на территориях, прилегающих к транспортным коммуникациям [5].

Реализация инфраструктурных проектов повлияет на увеличение пропускной способности и улучшение качественных параметров магистральной транспортной инфраструктуры, повышение доступности транспортных услуг для населения и бизнеса, что будет способствовать устранению инфраструктурных ограничений для обеспечения устойчивого экономического роста.

Согласно экспертным данным государственные инвестиции в инфраструктуру стимулируют частные инвестиции: каждый рубль, вложенный в реализацию инфраструктурных проектов, вызывает мультипликационный эффект в размере 1,59 долл. [6 - 8].

Недостаточно развитая транспортная инфраструктура и ограниченная транспортная доступность отдельных территорий является фактором сдерживания экономического роста [9 - 12]. Качественная транспортная инфраструктура обеспечивает доступность территорий, что, соответственно, влияет на снижение транспортных издержек, а это стимулирует развитие, в том числе, социальной сферы, торговли, строительной отрасли [13 - 16].

Развитые транспортные сети способствуют снижению общих издержек предприятий, что увеличивает их прибыль, способствуют появлению новых сегментов рынка сбыта. Все это повышает темпы экономического роста.

**Литература**


1. Щербанин Ю.А.Транспорт и экономический рост: взаимосвязь и влияние // Евразийская экономическая интеграция. - 2011. - № 3 (12). - С. 65–78.
2. Указ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».
3. Распоряжение Правительства РФ от 30.09.2018 N 2101-р «Об утверждении комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года».
4. Комлев И. В. Мировой опыт инвестирования в железнодорожный транспорт // Молодой ученый. — 2016. — №13. — С. 448-450. — URL https://moluch.ru/archive/117/32045/ (дата обращения: 31.10.2018).
5. Кондратьев В. Инфраструктура и экономический рост// Мировая экономика и международные отношения. – 2011. - №11. – С. 18-24
6. Персианов В. А., Жданов А.И. Целеполагание при задачах комплексной оценки эффективности реструктуризации железнодорожного транспорта России// ВИНИТИ РАН, Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. - №3. – С. 23-26
7. Персианов В. А., Гончаренко С.С., Сакульева Т.Н. О применении математических методов в экономических исследованиях на транспорте// ВИНИТИ РАН, Транспорт: наука, техника, управление. –2018. - №7. – С. 3-8
8. Резер С. М., Резер А.В., Поспелова Л.Н. Экономическая эффективность моделей и методов повышения качества транспортно-экспедиционного обслуживания// ВИНИТИ РАН, Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. - №11. – С. 3-12.
9. Куренков П.В., Преображенский Д.А., Астафьев А.В., Кахриманова Д.Г., Волкова С.А. Синхромодальные перевозки и тримодальные терминалы как перспективные направления развития логистических технологий // ВИНИТИ РАН, Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. - №11.- С.13-17
10. Колик А.В. Интермодальные перевозки и концепция синхромодализма // ВИНИТИ РАН, Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. - № 8. – С. 20-26.
11. Луговец А.А., Рычкова В.Ф., Рычков Д.Ф. Обоснование необходимости создания единой транспортной системы на юге Приморского края // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. - № 3 (33). - С. 311 – 316.
12. Морозов С.Ю. Система транспортных организационных договоров. - М.: «Норма», 2011 - 352 с.
13. Котляренко А.Ф., Куренков П.В. Логистизация информационных технологий на транспортных стыках (в морских портах и погранпереходах) // Транспорт. Экспедирование и логистика.- 2002.- № 3.- С.11-22
14. Синягов С.А., Куприяновский В.П., Куренков П.В., Намиот Д.Е., Степаненко А.В., Бубнов П.М., Распопов В.В., Селезнев С.П., Куприяновская Ю.В. Строительство и инженерия на основе стандартов BIM, как основа трансформаций инфраструктур в цифровой экономике // International Journal of Open Information Technologies.- 2017.- Т.5.- № 5.- С.46-79.
15. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Проблемы создания ситуационно-аналитической системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте // Бюллетень транспортной информации.- 2004.- № 9.- С.22-27.
16. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Система поддержки принятия экономически обоснованных решений // Экономика железных дорог.- 2005.- № 1.- С. 18-26.


**Сведения об авторе**


**Пухова Елена Владимировна**, к.э.н., доцент кафедры «Финансы и кредит» Института экономики и финансов Российского университета транспорта (РУТ - МИИТ).

Тел. 8-495-684-29-19.

E-mail: puhova51@yandex.ru.

УДК 674.816.2

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Кандидат техн. наук, доцент **Адамия А. М.,**
кандидат техн. наук, доцент **Кохреидзе М. В.,**
доктор техн. наук, профессор **Лозовецкий В. В.**
(МГТУ имени Н.Э. Баумана - Мытищинский филиал))
Кандидат техн. наук, доцент **Лебедев В.В.**
(Российский технологический университет. МИРЭА)

# THE STUDY OF FIRE RESISTANCE OF THERMAL INSULATION MATERIALS FOR VEHICLES

Ph. D. (Tech.), Assistant Professor **Adamiya A.M.,**
Ph. D. (Tech.), Assistant Professor **Kochreidze M.V.,**
Doctor (Tech.), Professor **Lozovetsky V.V.**
(Moscow state technical university named after N. Bauman, Mytishchi branch)
Ph. D. (Tech.), Assistant Professor **Lebedev V.V.**
(Moscow technology university − MIREA)

*Теплоизоляционный материал, панель, поризованный арболит, структура, фрагмент, огневое воздействие, поле, температура.*

*Thermal insulation material, panel, porous arbolite, structure, fragment, fire effect, field, temperature.*

*Представлены результаты опытно-аналитических исследований фрагментов панелей, изготовленных из поризованного арболита, с улучшенными структурой и физико-механическими свойствами за счёт применения вспученного полистирольного гравия (ПАГ) с соответствующим размером пор. Описана экспериментальная установка, методика проведения опытов и используемая аппаратура. Опытные кривые прогрева фрагментов панелей показали, что процесс завершается в течение 2,5 и 3 час. 45 мин. Предложены схемы их разрушения после огневого воздействия. Получена аналитическая зависимость температуры в исследуемой панели от времени и расстояния от её нагреваемой поверхности применительно к условиям эксперимента. Результаты расчётов согласуются с экспериментальными данными, что позволяет использовать эту зависимость для расчёта поля температуры в более широком диапазоне, чем в эксперименте.*

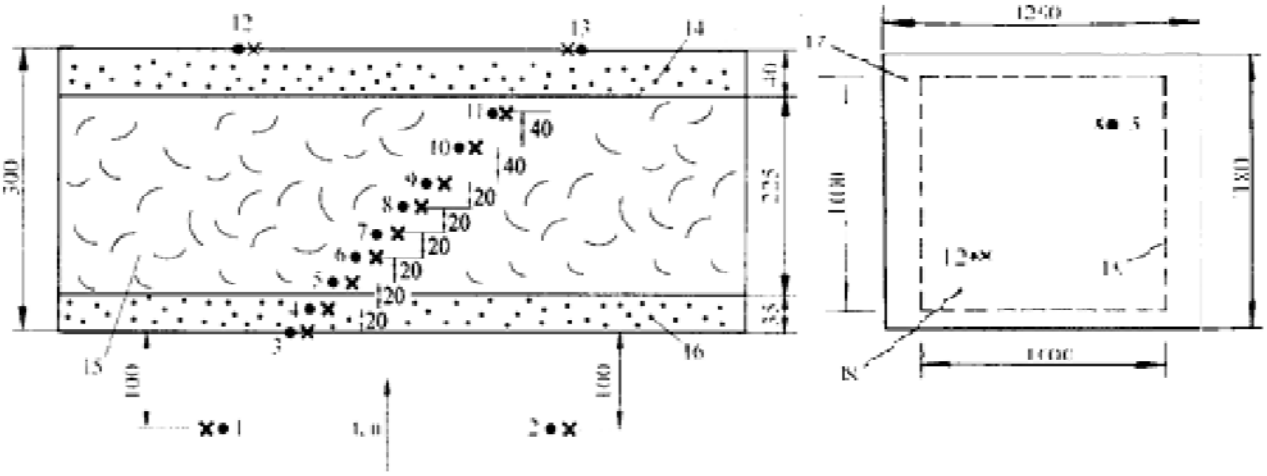
*The results of experimental and analytical studies of fragments of panels made of porous arbolite with improved structure and PHY-Zico-mechanical properties due to the use of expanded polystyrene gravel (PAG) with the appropriate pore size are presented. The experimental setup, the technique of experiments and the equipment used are described. Experimental heating curves of the panel fragments showed that the process is completed within 2.5 and 3 hours. 45 minutes of the proposed scheme of their destruction after fire exposure. The analytical dependence of the temperature in the studied panel on the time and distance from its heated surface in relation to the experimental conditions is obtained. The results of the calculations are consistent with the experimental data, which makes it possible to use this dependence for the calculation of the temperature field in a wider range than in the experiment.*

Тепловая защита различных видов транспортных средств является важнейшей задачей, решение которой обеспечивает их надёжность и безопасность для персонала, пассажиров и окружающей среды.

В Мытищинском филиале МГТУ имени Н.Э. Баумана были проведены испытания на огнестойкость панелей, изготовленных из поризованного арболита с древесной дробленкой, содержащего вспученный полистирольный гравий (ПАГ). Испытания показали, что предел их огнестойкости по потере несущей огнеограждающий теплоизолирующей способности составляет не менее 2,5 часов.

С целью улучшения структуры и физико-механических свойств, в составе смеси объём древесной дроблёнки частично (до 35%) заменили лёгким менее водопоглощающим материалом – вспученным полистирольным гравием с размером пор, соответствующим крупности пор бетона. Такая частичная замена дроблёнки полистирольным гравием позволила уменьшить влажность, снизить среднюю плотность и увеличить термическое сопротивление изделий при сохранении прочности на сжатие, что особенно важно для транспортных средств, т.к. позволяет при одинаковой мощности двигательной установки увеличить массу полезного груза.

Образцы панелей, предназначенные для испытания на огнестойкость, представляют собой половины одной теплозащитной панели размером 2580х1180х300 мм, разделённой в процессе изготовления с помощью деревянной рейки. Схема конструкции фрагмента панели и расположения термопар по сечению образца представлена на рис. 1.




*а* *б*

Рис. 1. Схемы расположения термопар по сечению образцов огнезащитных панелей из ПАГ на испытательной установке: *а* − 1, 2 – печные термопары; 12, 13 – на не обогреваемой поверхности; 14 – защитный бетонный слой на не обогреваемой поверхности; 15 – внутренний слой панели из ПАГ; 16 – защитный бетонный слой обогреваемой поверхности; *б* − 17 – зона размещения на установке панели; 18 – рабочий проём печи; 19 – граница обогреваемой поверхности панели

Ограждающие (фактурные) слои образца толщиной 30 и 35 мм выполнены из цементно-песчаного раствора марки М100. Внутренний слой образца толщиной 235 мм изготовлен из ПАГ прочностью на сжатие 3,4 МПа, средней плотностью в сухом состоянии 600 кг/м$^3$.

Для приготовления ПАГ применялись следующие материалы:

- древесная дроблёнка размером фракции до 20 мм;
- цемент быстротвердеющий (БТЦ) марки М500;
- полистирол марки ПСБ-25, средняя насыпная плотность 28,0 кг/м$^3$, размер фракции 0…10 мм;
- стекло натриевое жидкое; хлорид кальция; смола древесная омылённая (СДО);
- вода.

Поризованную арболитную смесь приготовляли в соответствии с требованиями СН549-82 и [6,7]. Панели формировались в металлических формах в горизонтальном положении по поточно-агрегатной технологии [8].

Отформованные конструкции предварительно выдерживали в помещении цеха при температуре +20° С в течение 4 ч, после чего их подвергали тепловой обработке в ямных камерах по следующему режиму:

- подъём температуры до 55° С в течение 3 ч;
- выдержка при температуре 55° С в течение 10 ч;
- снижение температуры в камере с 55° С до 20° С в течение 3 ч.

Затем панели выгружали из камеры, выдерживали в цехе при температуре 20° С в течение 3 суток и производили их распалубку. До момента исследований на огнестойкость панели хранились в нормальных температурно-влажных условиях.

Для контроля прочности и средней плотности ПАГ одновременно с изготовлением опытных образцов формовали бетонные кубы размерами 100×100×100 мм для ограждающих слоёв и размерами 150×150×150 мм для арболита основного слоя. Прочность бетонов на сжатие определяли по результатам испытаний данных кубов в соответствии с ГОСТ10180-2012 [9].

Данные физико-механических характеристик бетонов приведены в табл. 1.

Для предотвращения возможности взрывообразного разрушения защитного бетонного слоя образцы панелей высушивали в специальной камере в течение 5 суток при температуре воздуха в камере +65°С [10].

В процессе огневого воздействия температуру нагрева бетона по сечению конструкции контролировали по показаниям термопар, которые регистрировали электронным самопишущим потенциометром типа ЭПП-09-М [11].

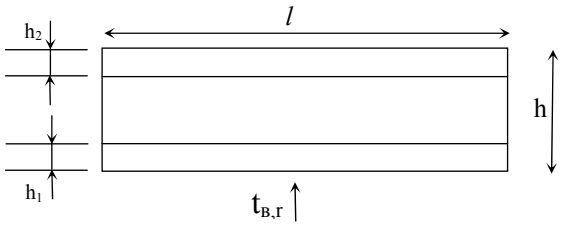
Для установки термопар в образцах применяли специальные каркасы из проволоки диаметром 3 мм. В процессе бетонирования эти каркасы с закреплёнными на них термопарами устанавливали на дно металлической опалубки и фиксировали.

В процессе испытаний опытный образец обогревался с одной стороны на специальной установке в соответствии с требованиями стандарта СЭВ 1000-2016 [5]. Боковые поверхности образца были изолированы от воздействия высоких температур минераловатными плитами. Температурный режим в камере печи выдерживался по «стандартной» кривой в соответствии с руководством по испытанию строительных конструкций на огнестойкость [11].

Контроль температуры в печи осуществлялся с помощью печных хромель-алюмелевых термопар, горячие спаи которых находились на расстоянии 100 мм от обогреваемой поверхности образца. Регистрация показаний печных термопар производилась на ленте электронного самопишущего потенциометра типа ЭПП-09-М. Кривые изменения температуры в огневой камере в процессе испытаний приведены на рис. 2.

*Таблица 1*

**Конструктивные особенности и результаты испытаний на огнестойкость фрагмента огнезащитной панели из ПАГ**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Эскиз поперечного сечения фрагмента |   | | |
| Фактические размеры образца, мм | h | 300 | |
| | $h_1$ | 35 | |
| | $h_2$ | 30 | |
| | b | 1180 | |
| | | 1290 | |
| Панель | Необогреваемый защитный слой | Влажность, % | 3,8 |
| | | Плотность, кг/м$^3$ | 2020 |
| | | , МПа | 12,0 |
| | Обогреваемый защитный слой | Влажность, % | 3,45 |
| | | Плотность, кг/м$^3$ | 2020 |
| | | , МПа | 12,0 |
| | ПАГ | Влажность, % | 5,8 |
| | | Плотность, кг/м$^3$ | 600 |
| | | , МПа | 3,4 |
| Продолжительность воздействия, час/мин | 2/30 | | |
| Предел огнестойкости по признаку прогрева СТ СЭВ 1000-2016 п. 6.2, час | Не менее 2,5 | | |
| Предел огнестойкости по признаку целостности СТ СЭВ 1000-2016 п. 6.3, час | Не менее 2,5 | | |
| Толщина обугленного слоя, мм | 95 | | |
| Скорость обугливания, мм/час | 38 | | |
| Характер поведения образца во время огневого воздействия | Прогиб в сторону обогреваемой поверхности 0,5 см через 1 час 10 мин. Отслоение и обрушение части защитного слоя обогреваемой поверхности плиты 1 ч 55 мин. Обугливание поверхности арболита с образованием пустот. | | |

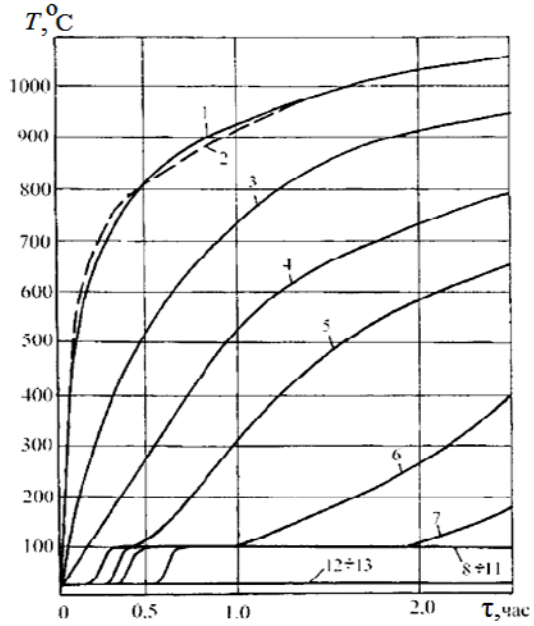



Рис. 2. Кривые прогрева фрагмента стеновой панели из ПАГ:
1 – кривая стандартного температурного режима пожара;
2 – температурный режим в огневой камере печи;
3 13 – показания термопар, расположенных в толще образца

Результаты, представленные на рис. 2, обработаны с использованием методов теории нестационарной теплопроводности [12, 13], согласно которой одним из решений одномерного дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности вида

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{1}{\chi} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = 0$$

является функция

$$\Phi\left(x,\tau\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{\chi \cdot \tau}}} e^{-u^2} \cdot du \,,$$

известная как функция ошибок.

Зависимость температуры $T$ в нагреваемой стенке от времени и расстояния от нагреваемой поверхности стенки применительно к условиям проведённого эксперимента может быть восстановлена с использованием данных измерений в следующем виде:

$$T(\tau,x)=\begin{cases}20+A_{11}(x)\cdot\left[1+\Phi\left(\dfrac{x-e_{11}(x)}{\alpha_{11}(x)\cdot\tau^{1/2}}\right)\right] & \forall x\in[0;35]\\ 20+100\cdot\left[1+\Phi\left(\dfrac{x-e_{21}(x)}{\alpha_{21}(x)\cdot\tau^{1/2}}\right)\right]+A_{22}(x)\cdot\left[1+\Phi\left(\dfrac{x-e_{22}(x)}{\alpha_{22}(x)\cdot\tau^{1/2}}\right)\right] & \forall x\in(35;260]\end{cases} \quad (1)$$

где $\tau$ – время, с; $x$ – координата, мм;

$\Phi(x)=\dfrac{1}{\sqrt{\pi}}\cdot\int_0^x e^{-u^2}\cdot du$ – функция ошибок;

$A_{11}$, $A_{22}$, $e_{11}$, $e_{21}$, $e_{22}$, $\alpha_{11}$, $\alpha_{21}$, $\alpha_{22}$ – коэффициенты, зависящие от координаты $\tau$ и результатов эксперимента.

Функции коэффициентов от координаты приближённо можно представить линейными регрессиями:

$$A_{11}(x)=1238+3,25\cdot x,$$

$$A_{22}(x)=1871+178,45\cdot(x-40),$$

$$e_{11}(x)=24,95+0,0525\cdot x,$$

$$e_{21}(x)=53,62+3,991\cdot(x-40),$$

$$e_{22}(x)=48,425+1,3158\cdot(x-40),$$

$$\alpha_{11}(x)=1,0725-0,0455\cdot x,$$

$$\alpha_{21}(x)=2,345+0,435\cdot(x-40),$$

$$\alpha_{22}(x)=0,1249-542,5\cdot10^{-6}\cdot(x-40).$$

Предложенное решение хорошо соответствует эмпирическим данным, что наглядно подтверждается при сравнении с графиками, полученными по результатам эксперимента, и имеет прогностическое значение.

Графики зависимости (1) представлены на рис. 3. Номера представленных кривых соответствуют точкам, в которых размещались датчики измерения температуры и для которых были получены эмпирические зависимости. Средняя ошибка отклонений представленных зависимостей от экспериментальных данных не превышает 10… 20 °С.

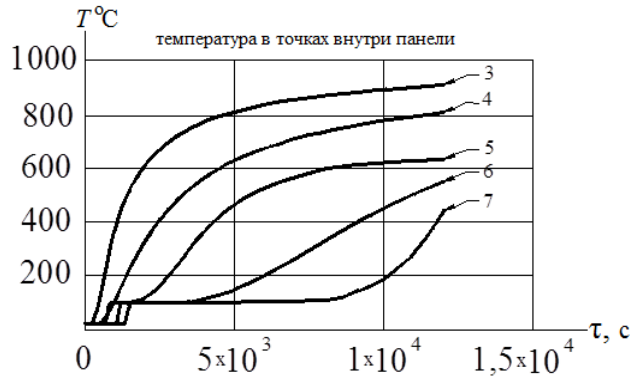



Рис. 3. Расчётная зависимость температуры $T$ по сечению образца от времени $\tau$

Анализ полученных данных и результаты их обработки свидетельствуют о том, что предел огнестойкости (в час) фрагментов панелей из ПАП во время непрерывного нагрева их по «стандартному» температурному режиму устанавливали только по двум признакам, изложенным в стандарте СЭВ 1000-2016 [5], а именно:

- потере теплоизолирующей способности образца (п. 6.2 стандарта);
- потере огнепреграждающей способности образца (п. 6.3 стандарта).

С момента начала опыта до 50 мин каких-либо значительных особенностей в поведении образцов не наблюдалось. Через 60… 65 мин от начала огневого воздействия у образца был отмечен небольшой 5…7 мм прогиб обогреваемой поверхности и появление на ней трещины, направленной от периферии к центру, длиной 250...300 мм. К этому времени температура на обогреваемой поверхности достигла 580 °С. Затем отслоение части защищённого слоя на 80-й мин и обрушение его на 115…117 мин огневого воздействия. Показания термопар, расположенных на поверхности образца и в толще ПАГ, к моменту окончания опыта (через 2,5 ч) были следующие: №3 - 940°С, №4 - 790°С, №5 - 650°С, №6 - 390°С, №7 - 175°С. Термопары, расположенные на глубине 100-120 мм от обогреваемой поверхности в толще арболита, где ещё не закончился процесс удаления влаги, показывали температуру 100°С (см. рис. 2).

Необходимо отметить, что в процессе огневого воздействия в образце происходило выплавление полистирола из объёма арболита в зоне нагрева с образованием пустот, макро- и микропор. После испытания образца через 2-е суток были сделаны замеры сохранившегося (не разрушенных и выгоревших слоёв) арболита и цементно-песчаного раствора. Как показал замер, средняя толщина обугленного слоя со стороны обгоревшей поверхности составила 95 мм (скорость обугливания 38 мм/час). Показания термопар, расположенных на не обогреваемых поверхностях, на протяжении всего нагрева не поднимались выше 25…30 °С.

**Выводы**

При воздействии огня по режиму «стандартного пожара» в течение 2 ч 30 мин на образец фрагмента панели из ПАП ни одно из двух предельных состояний (п. 6.2 и п. 6.3 СТ СЭВ 1000-2016) достигнуто не было, поэтому позволяет их использовать в качества защитного материала в транспортных средствах различного назначения.

Сравнительный анализ результатов испытаний изолирующих панелей, проведённый во ВНИИПО [2], а также в результате данной работы позволяют сделать вывод, что по признакам теплоизолирующей и огнепреграждающей способности предел огнестойкости панели из ПАГ составит не менее 150 мин.

Область применения панелей определяется в соответствии с СП 112.13330-2012 «Пожарная безопасность зданий и сооружений» и действующими нормативными документами по согласованию с органами Госпожнадзора.

**Литература**

1. Наназашвили И. Х. Арболит − эффективный строительный материал. - М.: Стройиздат. − 1984. − 125 с.
2. Огнестойкость несущих стеновых панелей из поризованного арболита / Шейнина Л. В., Ибатулин Ф. Л., Волнухин А. Ю., Колосов Г. Е. // Сб.тр. / ВНИИПО МВД СССР. - М.: − 1990. − с. 25 – 32.
3. Савин В. И., Адамия А. М., Широкова О. А. Влияние вспученного полистирола на свойства поризованной арболитной смеси и арболита // Сб. научн. тр. / Моек, лесотехн. ин - т. - М.: 1989. − Вып. 216. − с. 79 –86.
4. Адамия А. М. Оптимизация составов конструкционного арболита с заданными характеристиками по прочности и отпускной влажности. // Сборник научн. тр. / Моек, лесотехн. ин - т. - М.: 1990. − Вып. 231. − с. 29-33.
5. Стандарт СЭВ 1000-2016 (актуализированная редакция). Противопожарные нормы строительного проектирования. Метод испытания строительных конструкций на огнестойкость. - М.: Стандартинформ, 2016. − 11 с.
6. Рекомендации по расчёту и изготовлению изделий из поризованного арболита. - М.: НИИЖБ Госстроя СССР. 1983. − 62 с.
7. Рекомендации по повышению качества арболита и производительности предприятий, выпускающих изделия из этого материала / В. М. Бутерин, А. А. Гуревич, Н. В. Гренц и др. // Научн. тр. / Моск, лесотехн. ин - т.- М.: 1976. − Вып. 93. − с. 178-182.
8. Справочник по производству и применению арболита. / П. И. Крутов, И. Х. Наназашвили, Н. И. Склизов, В. И. Савин. - М.: Стройиздат, 1987. − 208 с.
9. ГОСТ 10180 - 2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартинформ, 2013. − 30 с.
10. Жуков В. В., Гуляев В. Д., Сорокин. Взрывоопасное разрушение бетона // Огнестойкость строительных конструкций. ВНИИПО. − М.: 1976. − Вып. 4. − С. 42 – 58.
11. Руководство по испытанию строительных конструкций на огнестойкость / ФБУ ВНИИПО МЧС России. − М.: 2012. − 51 с.
12. Г. Карслоу, Д. Егер. Теплопроводность твёрдых тел.// Пер. со 2-го англ. Изд. – М.: Наука, 1964. - 488 с.
13. А. В. Лыков. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.


**Сведения об авторах**


**Адамия Анзор Михайлович** − канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного транспорта и строительства МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)
E-mail: adamiya@mgul.ac.ru.

**Кохреидзе Мурман Васильевич** − канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, оборудования и безопасности производств МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)
E-mail: kohreidze-murman@mail.ru.

**Лозовецкий Вячеслав Владимирович** – доктор техн. наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов, оборудования и безопасности производств МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)
E-mail: lozovetsky@mail.ru.

**Лебедев Владимир Владимирович** – к.т.н., доцент кафедры защиты информации Российского технологического университета (МИРЭА)
E-mail: voval matr@mai.ru.

УДК 656.1 (470.621)

# ПРОГРАММНЫЙ МЕТОД РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА МАЙКОПА

Доктор экон. наук, профессор **Беданоков М.К.,**
доктор экон. наук, профессор **Гукетлев Ю.Х.,**
кандидат экон. наук, доцент **Машинина Н.Г.**
(Майкопский государственный технологический университет)

# PROGRAMMATIC METHOD FOR DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF THE CITY OF MAIKOP

Doctor(Econ.), Professor **Bedanokov M.K.,**
Doctor (Econ.), Professor **GuketlevY.K**.,
Ph.D. (Econ.), Associate Professor **Mashinina N.G.**
(Maikop State Technological University)

*Транспортная инфраструктура, город Майкоп, прогноз, интеллектуальные транспортные системы.*

*Transport infrastructure, the city of Maykop, forecast, intelligent transport systems.*

*В статье представлены материалы, касающиеся комплексного развития транспортной инфраструктуры города Майкопа. Рассмотрены характеристика существующих условий, проблемы и перспективы развития и размещения транспортной инфраструктуры, предложены прогноз транспортного спроса на перевозку грузов и пассажиров в городе Майкопе, прогноз развития улично-дорожной сети, внедрение элементов интеллектуальных транспортных систем.*

*This article contains material relating to the integrated development of the transport infrastructure of the city of Maikop. Considered characteristic of the existing conditions, problems and prospects of development and distribution of transport infrastructure, offered the forecast traffic demand for the carriage of goods and passengers in the city of Maikop, the forecast of development of the highway-road network, integration of intelligent transportation systems.*

Ключевым направлением и важнейшим фактором роста экономики в соответствии с Прогнозом социально-экономического развития муниципального образования «Город Майкоп» на среднесрочный период 2018-2020 годов является совершенствование транспортной инфраструктуры. Актуальность статьи обусловлена тем, что именно транспортная инфраструктура обеспечивает условия экономического роста, повышение конкурентоспособности экономики города и отражает качество жизни населения. Развитие и модернизация существующей транспортной инфраструктуры должны быть направлены на комфортность и мобильность городской среды, ее социализацию и применение умных технологий. Основной целью совершенствования транспортной инфраструктуры является повышение качества жизни, комфортности городской среды, совершенствование управления различными отраслями народного хозяйства при сокращении потребления ресурсов.

В процессе написания данной статьи применялись методы прогнозирования, планирования, проектирования, анализа и структуризации информации, использовались документы, регламентирующие функционирование и развитие городской транспортной инфраструктуры.

Город Майкоп - административный и культурный центр Республики Адыгея. В Майкопе сосредоточено 60% всего промышленного потенциала Адыгеи. Основными отраслями являются пищевая, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная, машиностроительная промышленность. Территория Майкопа с пригородной зоной составляет 28,2 га. В состав муниципального образования входят город Майкоп и 8 населенных пунктов. Численность населения - около 150 тыс. чел. В городе проживают представители более 80 национальностей.

Комплексное развитие транспортной инфраструктуры г. Майкопа предусматривает решение следующих задач:

– обеспечение безопасности, качества и эффективности транспортного обслуживания населения, юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, которые осуществляют экономическую деятельность на территории города;

– обеспечение доступности объектов транспортной инфраструктуры для населения и субъектов экономической деятельности согласно нормативам градостроительного проектирования;

– создание приоритетных условий движения транспортных средств общего пользования по отношению к другим транспортным средствам;

– обеспечение условий для пешеходного и велосипедного передвижения населения;

– повышение безопасности движения для инвалидов и других маломобильных групп населения города Майкопа.

Социально-экономическое развитие города и условия жизни населения в значительной степени зависят от уровня развития, устойчивого и эффективного функционирования дорожного хозяйства.

В г. Майкопе – более 880 улиц, более десятка парков и площадей. Протяженность автомобильных дорог в Майкопе составляет 655 км. Дороги с твердым покрытием по состоянию на 01.01.2017 г. насчитывают 627,5 км, из них 378,3 км нуждаются в ремонте, что

составляет 57,8 %. Протяженность автомобильных дорог с грунтовым и смешанным покрытием – 27 км.

В настоящее время сформирована улично-дорожная сеть города, от которой существенно зависит его социально-экономическое развитие. Значительная часть автомобильных дорог общего пользования местного значения имеет высокую степень износа и практически исчерпала свою пропускную способность. Автомобильные дороги общего пользования местного значения являются связующим звеном между населенными пунктами, расположенными в границах муниципального образования «Город Майкоп». Основу уличной сети составляют магистральные улицы и дороги, по которым осуществляется пропуск потоков пассажирского, грузового и легкового транспорта.

К проблемам дорожной сети города Майкопа можно отнести следующие:

– несоответствие технического состояния отдельных участков автомобильных дорог местного значения нормативным требованиям;

– недостаточный уровень обеспеченности дорог сетью ливневой канализации, неудовлетворительное состояние открытых и закрытых ливнестоков;

– отсутствие системного подхода к получению информации о количественных и качественных показателях улично-дорожной сети;

– недостаточно развитая система парковок.

Транспортная ситуация в городе с каждым годом усложняется. Темпы роста количества автотранспорта значительно опережают темпы развития улично-дорожной сети города. В городе наблюдается достаточно большой поток транзитного транспорта ввиду незавершенного строительства объездной дороги. Чрезмерная концентрация транспортных потоков на ограниченном числе магистралей в центральной части города (Центральный рынок, улицы Пролетарская, Крестьянская, Гоголя, Гагарина) приводит к уменьшению пропускной способности улиц, перекрестков, остановочных площадок в данной части города, ухудшению экологической обстановки. Основная транспортная нагрузка в городе приходится на транспортные магистрали – ул. Пролетарская, ул. Чкалова, ул. Пионерская, ул. Хакурате. Данные транспортные магистрали имеют пересечения со множеством улиц, интенсивное пешеходное движение к местам приложения труда.

Интенсивность движения маршрутного транспорта на магистралях общегородского значения составляет 100-120 автобусов в час в одном направлении. Однако в «час пик» интенсивность движения значительно возрастает. Так, например, интенсивность движения всего автотранспорта (по материалам камер видеонаблюдения) по ул. Пролетарская в «час пик» составляет 1781 авт./ч, что неизменно приводит к транспортным заторам. Высокая неравномерность распределения интервалов между автобусами объясняется несогласованностью расписания движения и возмущающего воздействия светофорного регулирования. Анализ интервалов двигающихся автобусов категории М2 показывает, что около 20 % этих автобусов движется в групповом режиме.

Основным показателем, который характеризует обслуживание территории пассажирским транспортом, является плотность маршрутной сети. Фактически плотность маршрутной сети автобусных пассажирских перевозок в г. Майкопе составляет более 5,0 км/км$^2$ и превышает нормативную плотность более чем в 2 раза.

На территории Майкопа успешно эксплуатируется ряд мостовых сооружений (таблица 1).

*Таблица 1.*

**Перечень мостовых сооружений и их протяженность**

| Перечень мостовых сооружений | Протяженность, м |
|---|---|
| Мост пешеходный - г. Майкоп, ул. Майкопская | 156 |
| Мост автомобильный - г. Майкоп, ул. Подлесная | 48 |
| Мост автомобильный - ст. Ханская | 114,4 |
| Мост автомобильный - ст. Ханская, х. Веселый | 21 |
| Мост пешеходный - г. Майкоп, «Горпарк» | 152,9 |
| Мост автомобильный - г. Майкоп, ул. Свердлова | 14 |
| Путепровод - г.Майкоп, ул. Шовгенова | 285 |

Маршрутная сеть городского пассажирского транспорта является важной составляющей городской транспортной инфраструктуры. Общая протяженность маршрутной сети города составляет более130 км и включает в себя:

– 11 троллейбусных маршрутов общей протяженностью более 50км, контактные линии которых охватывают практически все районы города;

– 19 автобусных маршрутов, обслуживаемые автобусами категории М3 и М2 (более 300 единиц).

Регулярным автобусным сообщением обеспечены все сельские населённые пункты, входящие в состав агломерации «Город Майкоп».В 2016 году по городу перевезено 9,6 млн. пасс., из которых:

– 37,3 % перевозок осуществлялось муниципальным унитарным предприятием «Майкопское троллейбусное управление»;

– 62,7 % перевозок осуществлялось автобусами пассажирских транспортных предприятий.

Особенностью современного состояния общественного транспорта Майкопа является снижение пассажиропотока, как и во многих других городах России.

Весь пассажирский транспорт на территории города оборудован спутниковой навигацией ГЛОНАСС, заключены договоры обязательного страхования гражданской ответственности.

В целях обеспечения безопасности на территории г. Майкопа наряду с широким внедрением в практику различных систем автоматического контроля за дорожным движением на 98 нерегулируемых пешеходных переходах установлено 127 светодиодных светофоров типа Т.7., в т. ч. 117- вблизи образовательных учреждений.

Грузовые и пассажирские перевозки на территории г. Майкопа осуществляются преимущественно автомобильным транспортом, а также в незначительном объёме – железнодорожным транспортом. Железнодорожное сообщение города Майкопа с городами и населёнными пунктами юга России осуществляется по Северокавказской железной дороге филиалом ОАО «РЖД». Важнейшее сообщение пригородных перевозок – «Белореченская – Майкоп».

На маршруте «Майкоп – Адлер» курсируют скоростные электропоезда серии ЭС-1 Desiro Rus «Ласточка», включающие10 вагонов.

В перспективе предусматривается открытие железнодорожного маршрута «Майкоп-Москва-Майкоп», а через город Краснодар – открытие маршрутов с городами Анапа, Новороссийск, Ростов-на-Дону.

Развитие транспортной инфраструктуры города Майкопа определено Генпланом и действующими государственными и муниципальными программами. Тенденции и перспективы социально-экономического развития города Майкопа позволяют осуществить обобщенный прогноз транспортного спроса на перевозку грузов и пассажиров в городе Майкопе (таблица 2).

*Таблица 2.*

**Прогноз транспортного спроса на перевозку грузов и пассажиров в г. Майкопе**

| Показатели | Ед. изм. | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2023-2031 гг. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Перевозка пассажиров, всего | тыс. пасс. | 9801,8 | 9487,6 | 9132,3 | 8930,0 | 8743,7 | 8571,7 | 77145,3 |
| в т.ч. по видам транспорта: -автомобильный | тыс. пасс. | 6107,2 | 5812,3 | 5444,4 | 5171,4 | 4913,0 | 4667,5 | 42007,5 |
| -городской электрический | тыс. пасс. | 3694,6 | 3675,3 | 3687,9 | 3758,6 | 3830,7 | 3904,2 | 35137,8 |
| 2. Пассажирооборот -всего | тыс. пасс.км | 44090,2 | 43985,8 | 42723,3 | 42802,1 | 41561,0 | 41370,0 | 37233,0 |
| в т.ч. -автомобильный | тыс. пасс.км | 32894,3 | 32445,5 | 31143,4 | 31000,0 | 29756,0 | 28562,0 | 257058,0 |
| -городской электрический | тыс. пасс.км | 11195,9 | 11540,3 | 11579,9 | 11802,1 | 11805,0 | 11808,0 | 106272,0 |
| 3. Перевозка грузов -всего | тыс. т | 430,0 | 410,0 | 420,0 | 430,0 | 440,0 | 450,0 | 4050,0 |
| в т.ч. по видам транспорта: -автомобильный | тыс. т | 430,0 | 410,0 | 420,0 | 430,0 | 440,0 | 450,0 | 4050,0 |
| -железнодорожный | тыс. т | - | - | - | - | - | - | - |
| 4. Грузооборот всего | тыс. т/км | 19950,0 | 19100,0 | 19500,0 | 19960,0 | 20300,0 | 20646,0 | 185814,0 |

В прогнозном периоде комплексное развитие транспортной инфраструктуры города Майкопа по видам транспорта не претерпит существенных изменений. Основным видом транспорта останется автомобильный, как в формате общественного транспорта, так и личного транспорта граждан.

В результате реализации запланированных мероприятий по совершенствованию транспортной инфраструктуры города повысится доступность для людей с ограниченными возможностями остановочных пунктов общественного транспорта и других объектов транспортной инфраструктуры. Увеличится количество обустроенных в соответствии с требованиями безопасности дорожного движения пешеходных переходов и тротуаров [3].

Имеющиеся в городе автовокзал и железнодорожный вокзал соответствуют действующим требованиям и потребностям жителей города в транспортном обслуживании. По мере необходимости будет осуществляться их модернизация за счет средств собственников.

С целью снижения нагрузок на улично-дорожную сеть и повышения ее пропускной способности планируется расширить количество парковочных мест на улично-дорожной сети, увеличить количество обустроенных платных парковок.

Развитие транспорта общего пользования будет осуществляться путем реализации следующих мероприятий:

– Приобретения новых типов подвижного состава (автобусов, троллейбусов), в том числе, оборудованного пандусами для перевозки людей с ограниченными возможностями;

– оборудования площадок на конечных остановках транспорта общего пользования разворотными кругами, местами отстоя транспорта и отдыха экипажей в соответствии с современным нормативным законодательством;

– оборудования системой видеонаблюдения и тревожными кнопками 100 % подвижного состава, работающего на маршрутах транспорта общего пользования;

– создания единой навигационной информационной системы на основе ГЛОНАСС, с помощью которой должно также осуществляться координирование деятельности оперативных, специальных и иных городских служб.

Интенсивная автомобилизация, являющаяся одной из основных проблем развития современной транспортной инфраструктуры, вызывает необходимость существенной корректировки планировочной структуры территории города.

Дальнейшее развитие транспортной инфраструктуры включает в себя перспективное размещение магистральных автодорог общегородского и республиканского значения, а также местного значения, строительство объездных магистралей, отвечающих требованиям безопасности дорожного движения и роста интенсивности движения транспортных средств [1,2,5].

В новой редакции Генплана города указаны основные и проектируемые дороги.

В соответствии с положениями о территориальном планировании Республики Адыгея, в соответствии с Решением Совета народных депутатов муниципального образования «Город Майкоп» от 18.02.2016 № 169-рс планируются для размещения следующие объекты федерального значения:

– автодорога II категории «Обход г. Майкопа» от автодороги Майкоп-Усть-Лабинск - Кореновск (1 очередь) обход ст. Ярославской;

– автодорога III технической категории «Майкоп-Туапсе» с тоннелем на Шаумянском перевале (строительство и реконструкция);

– автодорога «Майкоп – Даховская – Лаго – Наки - Дагомыс», возможно строительство платной автодороги.

В соответствии с положениями о территориальном планировании Республики Адыгея в г. Майкопе планируется размещение следующих объектов регионального (республиканского) значения Республики Адыгея:

– автодорога III технической категории «Майкоп – Гиагинская – Псебай – Зеленчукская - Карачаевск» (реконструкция с устройством трехполосного движения);

– автодорога «Майкоп-Туапсе» на участке км 4+067 до км 27+000 (реконструкция с доведением до параметров II технической категории).

Проблема организации транспортного движения в г. Майкопе требует комплексного решения. Это - не только повышение пропускной способности существующих узлов, перекрестков, участков дорожной сети (изменение циклов светофорного регулирования, внедрение адаптивных светофорных объектов, мелких реконструктивных мероприятий), но и создание целостной системы новых транспортных развязок, увеличение количества улиц-дублеров. Отчасти решить проблему разгрузки дорог от транзитных транспортных потоков позволит строительство 2 и 3 очередей автомобильной дороги «Обход г. Майкопа».

Расширение проезжих частей и улучшение качества покрытия позволят увеличить пропускную способность существующих улиц и городских дорог. Расширение проезжих частей улиц возможно только с использованием принципа закрепления их параметров в проектируемых (перспективных) красных линиях с ограничением нового строительства за их пределами. В ходе проектирования и строительства новых объектов (для сохранения и увеличения пропускной способности улиц и дорог) необходимо исключить использование общественного пространства (территорий общего пользования) для целей объекта [6].

С целью рационального использования земельных участков для стоянок автотранспорта предлагается использовать подземные (полуподземные) пространства и многоярусные парковки. Этот подход принципиально важен к использованию площадей в центральной части города, а также в районах сформировавшейся исторической застройки, на улицах общегородского значения (улицы Крестьянская, Советская, Пролетарская, Краснооктябрьская, Гоголя, Гагарина).

Для разгрузки наиболее загруженных транспортом улиц города предлагается создать улицы-дублеры, позволяющие перераспределить транспортный поток, обеспечить разгрузку и более благоприятные заезды на отдельные городские территории.

Важной задачей является создание современной сети тротуаров для пешеходно-велосипедного движения, расположенных на улицах, где отсутствует транспортное движение. Бестранспортные пешеходно-велосипедные зоны следует объединить единой велосипедной прокатной сетью.

Важнейшим стратегическим направлением инновационного развития транспортной инфраструктуры города можно считать его интеллектуализацию, направленную на повышение безопасности перевозок и решение ряда проблем, связанных с оптимальной, прогнозируемой и ритмичной работой транспорта.

Зарубежный опыт показывает, что внедрение технологий интеллектуальных транспортных систем (ИТС) позволяет увеличить пропускную способность улично-дорожной сети на 30 %, снизить количество ДТП на 50 %, снизить расход топлива на 20 %, сократить время в пути на 30 %.

Так, внедрение интеллектуальных системы движения в Стокгольме способствовало сокращению пробок на дорогах Швеции на 20 %, выбросов выхлопных газов - на 12 %, значительному увеличению использования транспорта общего пользования.

Общая экономия от ИТС В Южной Корее составляет более 1,5 млрд. долларов в год. По данным Департамента транспорта США, в течение следующих 20 лет в сфере ИТС будет создано около 600 тыс. новых рабочих мест.

Применение ИТС в области мониторинга и контроля работы транспортной инфраструктуры города Майкопа и качеством транспортного обслуживания населения и субъектов экономической деятельности позволит решить задачи, основанные на создании автоматизированной системы управления городским пассажирским транспортом (АСУ ГПТ) с использованием спутниковой системы GPS /ГЛОНАСС, а именно:

– осуществление оперативного контроля за своевременным и полным выпуском подвижного состава на каждом маршруте, соблюдение регулярности движения на маршрутах и эффективное использование подвижного состава на маршрутах;

– управление движением подвижного состава на всей сети маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования города;

– накопление, обработка и передача отчетной и статистической информации о работе транспорта;

– мониторинг исполнения расписаний, графиков движения на маршрутах города [7].

Для решения задач АСУ ГПТ предлагаются следующие мероприятия, направленные на цифровизацию организации взаимодействия с перевозчиками:

– систематическое обследование пассажиропотока на всех маршрутах всеми видами общественного транспорта;

– разработка программного обеспечения, предназначенного для анализа автоматизированных обследований рейсового пассажиропотока;

– разработка программного обеспечения для определения автотранспортных средств, проходящих через определенную точку маршрута (перекресток, остановка) на карте города в определенный период времени (в том числе, для использования в ответах на запросы и жалобы населения);

– установка необходимых дополнительных функций в программном обеспечении диспетчера, позволяющих работать с электротранспортом города Майкопа;

– организация контроля работы общественного транспорта по фактическим координатам, с учетом скорости и времени движения транспортного средства по маршруту для более точной работы остановочных табло;

– создание системы информирования пассажиров о движении пассажирского транспорта города Майкопа;

– установка системы обеспечения безопасности в салонах подвижного состава пассажирского транспорта общего пользования (видеонаблюдение, тревожные кнопки и пр.), а также системы контроля выполнения водителем правил дорожного движения и посадки-высадки пассажиров.

Одним из средств контроля и наблюдения АСУ ГПТ за движением транспортных потоков на улично-дорожной сети города Майкопа могут служить информационные электронные табло на остановках городского общественного транспорта и созданное приложение для смартфонов с расписанием движения автобусов и троллейбусов. В режиме реального времени пассажиры смогут получать информацию о пассажирском транспорте: номере маршрута, времени ожидания на конкретной остановке. Пользователям приложения будет доступна информация карты маршрутов выбранного транспортного средства и прогноз времени в пути от выбранной остановки до пункта назначения [11].

Креативным направлением развития улично-дорожной сети является создание в г.Майкопе «Умных остановок». Проект «Умная остановка» – это электронно-техническое сооружение для предоставления населению города широкого спектра автоматизированных услуг: государственных, информационных, платежных и других. Оборудование остановочных пунктов современной системой оповещения в случае чрезвычайных ситуаций позволит установить прямую видеосвязь с полицией, службой такси и скорой помощью, оборудование остановочных пунктов системой видеофиксации позволит предотвратить дорожные происшествия из-за неправильной парковки автомобилей [11 -18].

**Заключение**

Реализация стратегических направлений и целевых ориентиров развития транспортной инфраструктуры в г. Майкопе невозможна без эффективного использования интеллектуальных транспортных систем (ИТС).

Внедрение элементов ИТС на базе информационно-коммуникационных технологий позволит фиксировать и контролировать основные показатели, характеризующие транспортную ситуацию в городе (пропускную способность, скорость транспортного потока, метеоусловия), собирать информацию о наличии свободных парковочных мест, фиксировать нарушения ПДД, отслеживать загруженность маршрутов, контролировать соблюдение маршрутов и расписания движения пассажирского транспорта, отменять и открывать новые маршруты.

В целом внедрение ИТС позволит решить проблемы перегруженности городских автомагистралей, повысить эффективность управления дорожным движением, повысить качество оказания автотранспортных услуг для пассажиров.

**Литература**


1. Белокуров В.П. Организация движения автотранспорта на улично-дорожной сети крупных городов с учетом разгрузки их центрального района / Белокуров В.П., Сподарев Р.А., Пустовалов С.В., Белокуров С.В. // Бюллетень транспортной информации. - 2017. - № 3 (261). - С. 3-6.

2. Белокуров В.П. Управление организацией пассажирских перевозок и их особенности / Бусарин Э.Н., Артемов А.Ю., Пустовалов С.В. // Бюллетень транспортной информации. - 2016. - № 5 (251). - С. 8-12.

3. Гукетлев Ю.Х. Пассажирский транспорт в социально-культурном пространстве городов и регионов / Ткачева Я.С., Гукетлев Э.Ю. // Новые технологии. - 2016. - № 4. - С. 22-26

4. Корчагин В.А. Регулирование рынка услуг городского транспорта / Корчагин В.А., Гринченко А.В. // Грузовое и пассажирское автохозяйство.- 2008. - № 7. - С. 20.

5. Кулев А.В. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта / Кулев А.В., Новиков А.Н., Кулев М.В., Кулева Н.С. // Информационные технологии и инновации на транспорте материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией А.Н. Новикова. - 2016. - С. 378-382.

6. Родькина Е.М. Разработка комплексного подхода к решению вопросов транспортного обслуживания населения / Кожин Г.В., Володькин П.П. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2015. - Т. 3. № 4-1 (15-1). - С. 378-383.

7. Управление региональным транспортным комплексом: учебное пособие / Гукетлев Ю.Х., Ахунова И.Б., Гусарук Х. Г., Гукетлев Э. Ю. - Изд. 2-е, доп. - Майкоп: Изд-во МГТУ, 2016. - 159 с.

8. Развитие транспортной инфраструктуры России: игра на опережение [Электронный ресурс]. – URL: http://media.rspp.ru/document/1/b/e/be9521a4b0bedae86fc3600443caee68.pd.

9. Государственное казенное учреждение «Управление автомобильных дорог Республики Адыгея «Адыгеяавтодор». [Электронный ресурс]. – URL: http://adygavtodor.ru.

10.Солодкий А.И. Транспортная инфраструктура: учебник и практикум для академического бакалавриата / А.И.Солодкий, А.Э.Горев, Э.Д.Бондарева. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 290с.

12. Корчагин, В.А. Сложные саморазвивающиеся транспортные системы / В.А. Корчагин, А.Н., Новиков, С.А. Ляпин, Ю.Н. Ризаева // Мир транспорта и технологических машин. - 2016. - №2(53). - С. 110-116.

13. Милославская, С.В. Транспортные системы и технологии перевозок [Электронный ресурс]: учебное пособие/ С.В. Милославская, Ю.А. Почаев - М.: ИНФРА-М, 2017. - 116 с. - ЭБС «Znanium. com.» - [Электронный ресурс]. – URL: http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=753738

14. Комитет Республики Адыгея по туризму и курортам. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.adygheya.ru/ministers/departments/komitet-po-turizmu-i-kurortam/

15. Sidorchuk, R. Marketing evaluation of public transport quality attributes: Review of two waves of research / Sidorchuk, R., Skorobogatykh, I. // Mediterranean Journal of Social Sciences. – 2015. - № 6(3S3). - С. 275-282

16. Hidalgo, D. Implementation of sustainable urban transport in Latin America / Hidalgo, D., Huizenga, C. // Research in Transportation Economics. – 2013. – № 40 (1). - С.66-77

17. Willoughby, C. How much can public private partnership really do for urban transport in developing countries? // Researchin Transportation Economics. – 2013. - № 40(1). - С. 34-55

18. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Ситуационное управление перевозочным процессом // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ.- 2004.- № 11.- С.14-16.

**Сведения об авторах:**

**Беданоков Мурат Капланович,** доктор экономических наук, профессор, кафедры «Высшая математика и системный анализ», Майкопский государственный технологический университет– МГТУ,

385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191.

Тел. моб. +7 928 260 84 90.

E-mail: bedan64@mail.ru.

**Гукетлев Юсуф Хаджибирамович,** доктор экон. наук, профессор,заведующий кафедрой «Организация перевозок», Майкопский государственный технологический университет– МГТУ,

385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191.

Тел. моб. +7 906 438 83 62.

E-mail: guketlevuh@mail.ru.

**Машинина Наталия Геннадьевна,** кандидат экон. наук, доцент кафедры «Организация перевозок», Майкопский государственный технологический университет– МГТУ,

385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191.

Тел. моб. +7 906 438 60 49.

E-mail: natam53@mail.ru.

УДК 656.071.313

# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦЕНОВОГО ФАКТОРА НА ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА

Доктор техн. наук, профессор **Ивахненко А.М.,**
кандидат техн. наук, доцент **Саркиев В.М.,**
аспирант **Ошорова В.В.,**
старший преподаватель **Кузьмичева Е.О.,**
магистрант **Нгуен Тунг**
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. МАДИ)

# THEORETICAL RESEARCH OF THE PRICE FACTORIMPACT ON THE FORMATION OF THE FUNCTIONS OF TRANSPORT DEMAND

Doctor (Tech.), Professor **Ivakhnenko A.M.,**
Ph.D. (Tech.), Associate Professor **Sarkiev V.M.,**
Postgraduate **Oshorova V.V.,**
Senior lecturerof **Kuzmicheva E.O.,**
Master **Nguyen Tung**
(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. MADI)

*Транспортный спрос, улично-дорожная сеть (УДС), равновесие транспортного спроса и предложения УДС, эластичность транспортного спроса, расходы на эксплуатацию транспортных средств, выбор способа передвижения.*

*Transport demand, road network, equilibrium transport demand and supply of the road network, elasticity of transport demand, the cost of operation of vehicles, choice of travel.*

*В статье произведено теоретическое исследование транспортного спроса с применением классических законов экономики на предмет влияния ценового фактора – капитальных затрат и расходов на эксплуатацию. Также приводятся существующие гипотезы об эластичности транспортного спроса. Построена модель равновесия на рынке транспортных услуг.*

*The article presents a theoretical study of transport demand with the use of classical laws of Economics for the influence of the price factor – capital costs and operating costs. Furthermore, the existing hypotheses about the elasticity of transport demand are also given. An equilibrium model was built in the transport services market.*

## Введение

Каждый вид пассажирского транспорта характеризуется определенными показателями и свойствами: вместимостью, проходимостью и маневренностью, уровнем комфортабельности, провозной способностью и т.д.

Реальные транспортные условия также имеют соответствующие отличия: средняя дальность поездки, мощность и колебания пассажиропотоков, спрос на эксплуатацию конкретного вида транспорта и иные. Отсюда и возникают задачи определения областей рационального использования различных видов транспорта, типов подвижного состава для условий конкретных населенных пунктов.

Критерием при выборе определенного вида транспорта выступает максимальное качество перевозок при минимуме связанных с ними приведенных затрат.

**Примечание.** Для целей настоящего исследования автором вводится понятие **транспортного спроса** как потребности населения в передвижении по определенному участку улично-дорожной сети (УДС) за определенную единицу времени.

***Предметом*** транспортного спроса является УДС для целей передвижения с помощью транспортных средств.

***Средством удовлетворения транспортного спроса*** является индивидуальный транспорт, городской пассажирский транспортом.

***Объем транспортного спроса*** - количество единиц транспортных средств на определенном участке УДС в определенную единицу времени.

**Функция транспортного спроса** является трудно прогнозируемой моделью поведения общества и зависит от множества факторов. Модель поведения общества – это философия, образ мысли, способ жизни общества. Если говорить о возможной классификации и типизации модели поведения общества, то в данном исследовании его не проводится. Следует лишь отметить, что одна модель поведения общества может распространяться не на всю страну и варьироваться в зависимости от размеров и экономического благосостояния населенных пунктов.

«Усредненным» показателем для исследования транспортного спроса могут служить два основных ограничения выбора способа передвижения при максимизации полезностей - время и доход [2], выведенные Адамом Смитом и рассмотренные в настоящем исследовании.

### Функция транспортного спроса

Целевое использование транспортного средства будущего собственника его финансовые возможности определяют тип, модель транспортного средства, применение кредитно-финансовых схемы (при необходимости) и стоимость капитальных вложений на его приобретение.

Расходы на эксплуатацию пассажирского транспортного средства (*TC*) слагаются из постоянных (*FC*) и переменных расходов (*VC*).

***К постоянным расходам*** (*FC*) на эксплуатацию транспортного средства относят те расходы, которые не зависят от его пробега (амортизация, транспортный налог, стоимость страхования гражданской ответственности).

***К переменным расходам*** (*VC*) на эксплуатацию транспортного средства относят те расходы, которые изменяются в зависимости от пробега транспортного средства (расходы на топливо, смазочно-обтирочные материалы, оплата за использование парковочного места, оплата въезда на определенные участки автомобильных дорог или территорию города).

Капитальные затраты и эксплуатационные расходы (далее – ценовой фактор) являются функцией транспортного спроса.

Потребности являются первоначальным источником спроса и отражают желание покупателей приобретать соответствующие товары или услуги. Желание это характеризуется дифференцированной степенью интенсивности, которая подвержена изменениям во времени [8]. Первоначальным источником транспортного спроса является транспортная потребность, которая определяется как «желание или даже требование личности или определенной среды по реализации процесса передвижения из одного места в другое» [5]. По силе воздействия источников движения (мест определенной функции, отдаленных от наиболее стабильного места пребывания лица — места труда, учебы, развлечений) транспортные потребности в городах можно разделить на: полностью облигаторные, относительно облигаторные, факультативные, случайные [5].

Каждая транспортная потребность сопровождается определенными требованиями, касающимися способов ее удовлетворения [7]. Так, при предъявлении потребностей в передвижении индивидуальным средством транспорта или городским пассажирским транспортом перед пассажиром встает задача максимальной полезности (максимального удовлетворения числа требований, предъявляемых при перевозке) от выбранного транспортного средства в условиях ограниченных денежных ресурсов.

Классические законы экономики, выведенные Адамом Смитом, определяют два основных ограничения пассажиров транспортных средств при максимизации полезностей: время и доход [2], формирующие бюджетную линию, изображённую на рисунке 1, очерчивающую поле возможностей при выборе транспортных средств (*X* – индивидуальный транспорт или *Y* – городской пассажирский транспорт – далее ГПТ).

Бюджетные ограничения пассажира позволяют за определенный промежуток времени совершить определенное количество поездок индивидуальным транспортом (*X*) и ГПТ (*Y*).

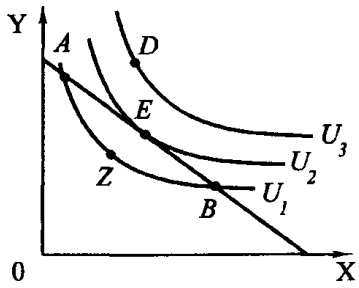



Рис. 1. Максимизация полезности выбранного способа передвижения при заданном бюджете

Когда стоимость перемещения индивидуальным транспортом возрастет, при неизменной стоимости перемещения ГПТ, при неизменной величине располагаемого дохода, бюджетная линия транспортных средств меняет угол наклона в графике, свидетельствуя, что потребитель будет совершать меньшее количество поездок индивидуальным транспортом. Оптимальный выбор потребителя определяет такую комбинацию поездок индивидуальным транспортом и ГПТ, при которой обеспечивается максимальная совокупная полезность без выхода за пределы своего бюджета (точка *E* кривой безразличия $U_2$, изображенной на рисунке 1). Увеличение стоимости облигаторных поездок индивидуальным транспортом приведет к смещению бюджетной линии и увеличению угла наклона в точке *X*.

Стремление пассажиров к максимальной полезности при заданном бюджете воздействует на поведение пассажиров при изменении стоимости перемещения одним из двух видов транспорта (индивидуальный транспорт или ГПТ). В зависимости от изменения стоимости перемещения (величины ценового фактора) может быть построен график транспортного спроса [4]. Изменение поведения пассажиров при выборе средства перемещения в зависимости от стоимости перемещения, например, индивидуальным транспортом (*X*), проиллюстрировано на рисунке 2 «а».

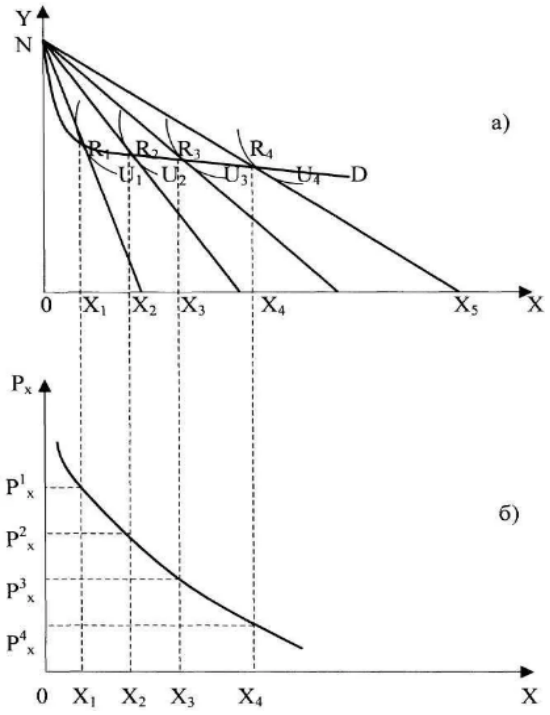



Рис. 2. Построение кривой транспортного спроса на перемещение индивидуальным транспортом (X) на основе кривых безразличия и бюджетных линий

При изменении стоимости перемещения индивидуальным транспортом бюджетные линии меняют углы наклона в точках $X_{1-4}$. Для каждой бюджетной линии пассажир определяет оптимальную комбинацию количества поездок ГПТ и индивидуальным транспортом в точках касания $R_{1-4}$ кривых безразличия $U_{1-4}$ с линиями бюджетного ограничения $X_{1-4}$. Рациональная структура поездок в точках касания $R_{1-4}$ при данном уровне дохода и при данных ценах максимизирует полезность потребителя. Соединение точек рационального выбора $R_{1-4}$ формирует кривую «цена-потребление», которая, отражаясь на оси координат, с осями «стоимость перемещения индивидуальным транспортом» ($P_x$) и «количество поездок индивидуальным транспортом» ($X$), в свою очередь, формируют кривую транспортного спроса (для индивидуального транспорта).

Таким образом, бюджетные ограничения потребителей при формировании функции спроса, в том числе транспортного, в соответствии с классическими законами экономики являются основополагающими, а цена – основным источником влияния. Чувствительность спроса к изменениям цены на средство удовлетворения транспортного спроса позволяет оценить показатели эластичности.

## Эластичность транспортного спроса

Понятие эластичности транспортного спроса раскрывает процесс адаптации рынка к изменениям в основных факторах (стоимости использования УДС различными видами транспорта, доходов потребителя и т.д.), определяющих спрос. Эластичность транспортного спроса по цене – показатель чувствительности объема спроса к изменению его цены - определяет относительное изменение объема спроса под влиянием изменения цены на 1 % [2].

Считается, что в экономически развитых странах ценовая эластичность спроса на ГПТ составляет около 0,4, а на такси – 0,3 [10].

В 1999 году консалтинговое агентство Accent Marketing & Researchand Hague Consulting Group [12] выполнило исследование для британского правительства по поводу зависимости эластичности поездок от расстояния по платным дорогам. Значение показателя составило 0,37, то есть увеличение расстояния поездки на 1% приводит к росту стоимости времени на 0,37%. Дальнейшие исследования фиксировали похожие по величине значения эластичности спроса в зависимости от расстояния поездки: от 0,26 до 0,3 [5, 13,14, 16, 17].

В проекте «Методические рекомендации по формированию комплексного плана транспортного обслуживания населения субъектами Российской Федерации в части пригородных пассажирских перевозок коэффициент эластичности спроса по доходу для общественного транспорта установлен Минтрансом России на уровне 0,3 [7].

В зависимости от колебания рыночных цен транспортный спрос распределяется на три возможных варианта эластичности:

***Неэластичный транспортный спрос*** – объем транспортного спроса увеличивается менее чем на 1%, на каждый 1% снижения его цены.

***Абсолютно неэластичный транспортный спрос*** – нулевая эластичность отсутствие зависимости.

***Эластичный транспортный спрос*** – объем транспортного спроса увеличивается более чем на 1%, на каждый 1% снижения его цены

Единичная эластичность транспортного спроса, по мнению автора, является маловероятным явлением, поскольку означает сокращение объема транспортного спроса в 2 раза при увеличении цены в 2 раза. Вместе с тем, объем транспортного спроса конкретного вида транспорта, как и любой другой спрос, зависит не только от цены использования этого вида транспорта, но также от цен на другие способы перемещения [6].

Для характеристики данного процесса может быть использована перекрестная эластичность транспортного спроса по цене, измеряющая чувствительность объема транспортного спроса конкретного вида транспорта к изменению стоимости перемещения другим способом. Исчисляться перекрестная эластичность будет отнесением процентного изменения в количестве объема транспортного спроса одного вида транспорта к процентному изменению стоимости перемещения другим видом транспорта.

Реакция объема транспортного спроса на изменение доходов покупателей может быть определена эластичностью спроса по доходу. По мере увеличения душевого дохода населения растет суточная подвижность населения и коэффициент пользования транспортом. Поскольку уменьшения затрат времени на одно перемещение происходит быстрее роста числа этих перемещений, суммарное время, затрачиваемое на осуществление подвижности, снижается с повышением душевого дохода. Это ведет к сокращению внетранспортных потерь, связанных с затратами времени населения.

Таким образом, малообеспеченное население перемещается мало и тратит на свои перемещения много времени. Население с высокими доходами более подвижно и эта подвижность динамична. Рост мобильности и уменьшение ее трудоемкости является единственным положительным моментом «взрывной» автомобилизации при росте душевых доходов [9].

Вместе с тем, спрос на трудовые (облигаторные) поездки в принципе неэластичен по отношению к доходу, т.е. рост дохода не вызывает увеличения или вызывает увеличение меньшее, чем пропорциональный запрос на эти перевозки (коэффициент эластичности от 0 до 1). Это очевидно, поскольку многократность трудовых поездок не изменяется вместе с доходами [11].

## Равновесие транспортного спроса и предложения УДС

В общем виде объём транспортного спроса и структура предложения УДС характеризуют экономическую ситуацию со стороны компетентных органов исполнительной власти в области автомобильных дорог и определяются резервами территорий и возможностями дальнейшего дорожного строительства.

Резервы территорий, заложенные проектировщиками в советское время для развития УДС мегаполисов, были распроданы под застройку жилой, торговой и офисной недвижимости. Непродуманная планировка и застройка городских и пригородных территорий, территориальное зонирование без учёта формируемого транспортного спроса и пропускной способности дорог и улиц привели к невозможности производить дальнейшее оптимальное развитие и расширение УДС, несмотря на то

что российские мегаполисы, имея достаточные территориальные ресурсы, страдают от недостаточной обеспеченности дорожной сетью [1].

Классический закон Курно [3] (закон изменения предложения) не применим для предложения УДС, поскольку она не является ресурсом конечным, и при падении стоимости использования УДС при транспортном передвижении количество уже запущенных в эксплуатацию дорог и улиц не может сократиться. Таким образом, закономерным будет вывод о том, что предложение УДС не является эластичным элементом в зависимости от стоимости, ввиду ограниченности территорий, отведенных под ее строительство, а также из-за особенности УДС как продукта, «потребление» (эксплуатация) которого является длительным процессом. Предложение УДС – стабильно.

Степень изменения объема предложения УДС ($S$) в зависимости от цены, характеризующая эластичность предложения по цене, равна нулю, кривая предложения – вертикальна (изображено на рисунке 3).

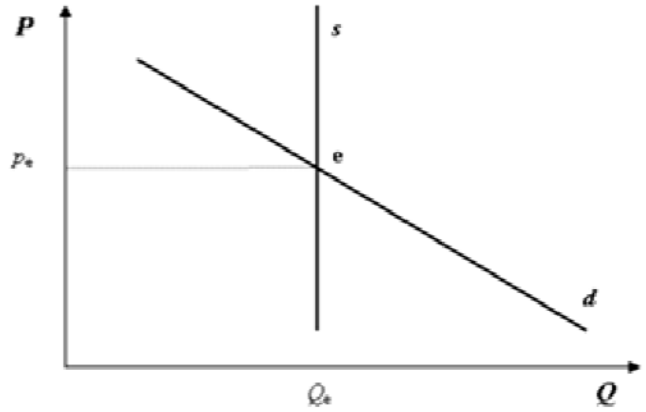



Рис. 3. Предложение УДС. Равновесие транспортного спроса и предложения УДС

С учетом изложенного, закон транспортного спроса и предложения УДС не всегда подчиняется классическим законам рынка, когда более высокая цена за использование дорожной сети, а соответственно доход, который получает собственник УДС, может быть направлена на дальнейшее расширение строительства (предложения) улично-дорожной сети. По мнению автора, равновесие рынка транспортного спроса и предложения УДС в долгосрочном периоде целесообразно характеризовать типовой моделью равновесия на рынке земли, поскольку количество УДС есть величина фиксированная.

Изменение цены какого-либо товара влияет на объем спроса через эффект замены и эффект дохода [3]. Эффект дохода при увеличении стоимости перемещения индивидуальным транспортом возникает, поскольку такое изменение стоимости уменьшает реальный доход и покупательную способность, потребителя. Эффект замены возникает в результате относительного изменения цен. Эффект замены способствует росту перевозок ГПТ как относительно подешевевшего способа перемещения, тогда как эффект дохода может стимулировать увеличение и сокращение число перемещений индивидуальным транспортом или быть нейтральным (рис. 4).

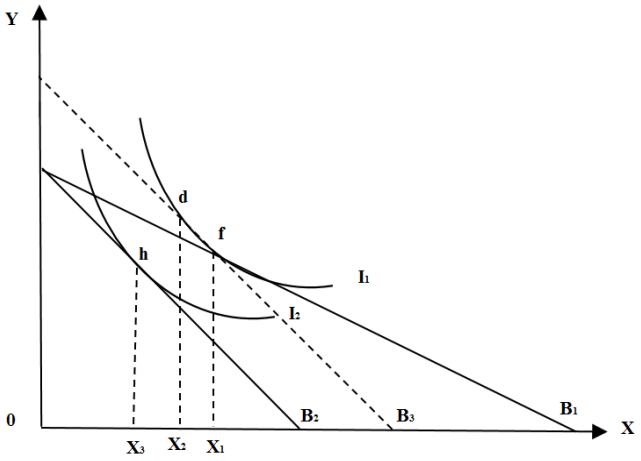



Рис. 4. Эффект дохода и эффект замещения при увеличении стоимости перемещения индивидуальным транспортом

Графически при увеличении стоимости перемещения индивидуальным транспортом бюджетная линия меняет угол наклона от $B_1$ к $B_2$. При неизменном росте дохода это может привести к сокращению подвижности населения (перемещение точек оптимального потребления с $f$ до $h$), что особенно вероятно для перемещений в культурно-бытовых целях. Пунктирная бюджетная линия $B_3$ выражает новое ценовое соотношение двух товаров к той же самой кривой безразличия, она позволяет получить потребителю то же количество полезности, что и раньше. Линия $B_3$ в практическом применении означает повышение привлекательности ГПТ, допуская снижение тарифов на ГПТ. Точка $d$ характеризуется новым соотношением количества поездок ГПТ и индивидуальным транспортом, обеспечивающим заданный уровень потребности к перемещению без его снижения. Данный эффект называется эффектом замещения. Ввиду удорожания стоимости перемещения индивидуальным транспортом, потребитель должен иметь возможность совершать то же количество поездок с использованием ГПТ.

**Вывод**

Приведенное теоретическое исследование с использованием метода аналогии позволяет сделать вывод о том, закон транспортного спроса и предложения УДС не всегда подчиняется классическим законам рынка, когда более высокая цена за использование УДС, а, соответственно, доход, который получает собственник УДС, может быть направлен на дальнейшее расширение строительства (предложения) УДС. Вместе с тем, доход от введения платы за использование УДС для достижения эффекта замещения может быть использован для реализации мероприятий повышения привлекательности ГПТ. Построение функции транспортного спроса на основах классических законов экономики в зависимости от изменения цены не учитывает такие характеристики, как надежность в работе, скорость сообщения, комфортабельность, санитарно-гигиенические условия и иные факторы, однако не ставит под сомнение неоднократно упомянутую в различных исследованиях зависимость спроса от цены.

**Литература**

1. Блинкин М. Транспортная несостоятельность. Архнадзор. Сентябрь 24, 2009.— [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.archnadzor.ru/2009/09/24/transportnaya-nesostoyatel-nost/ (дата обращения: 19.01.2019).
2. Видяпина В.И., Добрынина А.И., Журавлевой Г.П. Экономическая теория: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 714 с. – (Серия «Высшее образование»). ISBN 5-16-000300-2.
3. Войтов А.Г. Экономика. Общий курс (Фундаментальная теория экономики): Учебник. - М.:ИВЦ «Маркетинг», 2006
4. Гудков В.А., Миротин Л.Б. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. Учебн. для вузов/Под ред. Миротина Л.Б. – М.: «Транспорт», 1997. - С. 15-17.
5. Ивахненко А.М., Фаддеева Е.Ю., Кузьмичева Е.О., Ошорова В.В., Мамедов Б.А. Разработка предложений по определению критериев ограничения движения транспортных средств с различной наполненностью пассажирами// Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. - 2018. -№ 4 (18). -С. 9.
6. Ошорова В.В., Чеботаев А.А., Ивахненко А.М., Ивахненко А.А. Исследование эффективности транспортной подвижности жителей мегаполисов при использовании различных видов транспорта на городских маршрутах. Всборнике: Science and Practice: new Discoveries Proceedings of materials the international scientific conference. Editors: I.M. Shvec, L.A. Ismagilova, V.A. Gur'eva, E.A. Telegina, V.I. Sedenko. 2015. С. 118-126.
7. Чеботаев А. А., Ивахненко А. М., Фаддеева Е. Ю., Ошорова В. В. Исследование Федерального законодательства на предмет управления транспортным спросом в сфере пассажирских перевозок автомобильным транспортом // Транспорт: наука, техника, управление/ ВИНИТИ РАН.— 2018. - № 5.— С. 21-27.
8. Хебель К. Источники и факторы, предопределяющие величину спроса на городские транспортные услуги (на примере городов Польши) //Вестник РГУ им. И. Канта. - 2008. - Вып. 3. Экономические и юридические науки. - С. 89—96.
9. Шаров М. И., Зедгенизов А. В. Обследование подвижности населения в г. Иркутске (статья). Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния / Материалы XIII международной (пятнадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции. – Екатеринбург: Издательство АМБ, 2007 -296 с.
10. Ciesielski M., Długosz J., Gługiewicz Z., Wyszomirski O. Gospodarowaniewtransporciemiejskim / Wydawnictwo Akademii Ekonomicznejw Poznaniu. Poznań, 1994.
11. Wrzosek W. Funkcjonowanierynku. Wyd. II zmienione. Warszawa: PWE, 2002.
12. The Value of Time on UK Roads. AHCG Accent Marketing & Research and Hague Consulting Group. Report for the UK Government, 1999.
13. Mackie, P .J ., Fowkes, A .S ., Wardman, M ., Whelan, G ., Nellthorp, J., Bates, J. Values of Travel Time Savings in the UK. UK Department of Transport, 2003.
14. Algers, S., Dillen,J.L., Wedlert, S. The National Swedish Value of Time Study. Swedish Institute for Transport and Communications Analysis, 1995.
15. Wartburg, Markus von, Waters II, W.G. Congestion Externalities and the Value of Travel Time Savings: Chapter 2 from report by Zhang, Boardman, A.A.E., Gillen, D., Waters II, W.G. Toward Estimating the Social and Environmental Costs of Transportation in Canada. A report for Transport Canada, UBC Centre for Transportation Studies, Aug. 2004, pp .60–152.
16. Value of Time and Reliability for Local Trips in Canada. Intervistas Consulting, Report for Transport Canada, 2008.
17. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Ситуационное управление перевозочным процессом // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ.- 2004.- № 11.- С.14-16.


**Сведения об авторах**


**Ивахненко Андрей Михайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Менеджмент» МАДИ.
125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.
Тел. моб. +7-919-772-44-78.
E-mail: ivakhnenko_am@mail.ru.

**Саркиев Вали Мурадович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Менеджмент» МАДИ.
Тел. моб. +7-929-673-03-93.
E-mail: v.sarkiev@allanbecker.ru.

**Ошорова Валерия Владимировна**, аспирант 4-го курса кафедры «Менеджмент» МАДИ.
Тел. моб. +7-915-038-74-03.
E-mail: angel-roza@mail.ru.

**Кузьмичева Екатерина Олеговна**, старший преподаватель кафедры «Менеджмент» МАДИ.
Тел. моб. +7-915-300-40-50.
Email: katosha1989@mail.ru.

**Нгуен Тунг,** магистрант 2-ого курса кафедры «Правовое и таможенное регулирование на транспорте» МАДИ.
Тел. моб. +7-926-928-46-34.
E-mail: tungnguyenmadi@gmail.com.

УДК 629.113.001

# МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КОЛЕСА ПРИ ПЕРЕЕЗДЕ АВТОМОБИЛЕМ ЕДИНИЧНОЙ НЕРОВНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ПОВОРОТА НА ДОРОГЕ БЕЗ УКЛОНОВ

Доктор техн. наук, профессор **Федотов А.И.,**
кандидат техн. наук, доцент **Портнягин Е.М.,**
студент **Казаков А.С.**
(Иркутский национальный исследовательский технический университет)

# METHOD OF ANALYSIS OF MOVEMENT OF THE WHEEL WHEN MOVING BY THE CAR OF SINGLEUNEVENNESS DURING THE TURN ON THE ROAD WITHOUT GRADIENTS

Doctor (Tech.), Professor **Fedotov A.I.,**
Ph. D. (Tech.), Assistant Professor **Portnyagin E.M.,**
Student **Kazakov A.S.**
(Irkutsk National Research Technical University)

*Техническое состояние, амортизатор, подвеска, единичная неровность, устойчивость, дорожный метод, перемещение колесных узлов.*

*Technical condition, shock absorber, suspension, single unevenness, stability, road method, movement of wheel.*

*В статье освещается дорожный метод диагностирования подвески, заключающийся в видеофиксации перемещения колеса при переезде автомобилем единичной неровности в процессе поворота на дороге без уклонов, с последующим анализом этого перемещения.*

*In the article reveals the road method of diagnosing the suspension, which consists in video recording the movement of the wheel when a vehicle moves a single bump in the process of turning on the road without inclines, with subsequent analysis of this movement.*

Высокая аварийность автотранспортных средств (АТС) является одной из самых глобальных проблем в современном мире. Большая часть дорожно-транспортных происшествий сопровождается потерей устойчивости и управляемости автомобилей вследствие отсутствия сцепления шин с дорогой. В свою очередь, как продольное, так и боковое сцепление шин АТС во многом зависит от стабильности их контакта с дорогой, который обеспечивается работой амортизаторов и элементов подвески [1,2].

За 2017 год по статистике государственной инспекции по безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел России из-за неудовлетворительного технического состояния автомобилей в результате дорожно-транспортных происшествий погибают и получают ранения тысячи человек. По сравнению с 2016 годом, в 2017 году число аварий только из-за неисправной подвески увеличилось на 117,4%. Таких аварий за отчетный период случилось 4415, в них погибли 815 человек (+92,2%), ранены 6565 человек (+122,2%) [3].

В условиях эксплуатации широкое распространение получил метод контроля технического состояния подвески на специализированных вибростендах, которые позволяют оценивать способность амортизаторов обеспечивать стабильный контакт шин с площадками стенда в условиях вибрации колесного узла [4, 5, 6, 7]. Анализируя стендовые методы контроля технического состояния подвески, можно сделать вывод, что они не оценивают сцепление шин автомобиля с опорной поверхностью [8, 9, 10]. Общим недостатком существующих конструкций вибростендов является невозможность измерения на них боковых реакций и коэффициентов сцепления на колесах АТС.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что жизненно необходимо заниматься высокоинформативным и достоверным диагностированием технического состояния подвески, в котором бы учитывалась боковая реакция, действующая на автомобиль, а также коэффициенты сцепления между опорной поверхностью и шинами автомобиля. Поэтому особую актуальность получает внедряемая методика диагностирования подвески, основанная на анализе перемещения колеса при переезде автомобилем единичной неровности в процессе поворота на дороге без уклонов [11].

Разрабатываемый дорожный метод диагностирования подвески автомобиля заключается в том, что производится анализ перемещения колеса при переезде автомобилем единичной неровности в процессе поворота на дороге без уклонов.

Для проведения эксперимента требуется ровная, без уклонов площадка с асфальтобетонным покрытием (рис.1) для обеспечения максимального коэффициента сцепления шин с опорной поверхностью; это гарантирует стабильность пятна контакта, тем самым обеспечивая максимальную устойчивость автомобиля. На площадке была нанесена разметка полосы движения автомобиля с радиусом поворота 8м [5]. Такой радиус поворота является первым поисковым и подлежит уточнению. Проводились также экспериментальные исследования с радиусом поворота 15м. Полученные при этом результаты находятся в стадии обработки и анализа.

Поперек полосы движения автомобиля на повороте в середине пути была размещена единичная неровность. В качестве единичной неровности в поисковом экспериментальном заезде использовался брусок сечением 30х30мм. Ощутимых изменений в амплитуде колебания колес на полученных зависимостях не представлялось возможности рассмотреть и должным образом проанализировать. Критичное изменение поперечного сечения единичной неровности до 110х110мм привело к деформированию порога кузова автомобиля. Поэтому был сделан вывод, что единичная неровность с высотой 110мм не только деформирует кузов автомобиля, но может послужить также причиной деформации элементов подвески. Было принято решение уменьшить высоту единичной неровности до размера 50х50мм, эффективность выбора данной высоты в результате эксперимента подтвердилась.

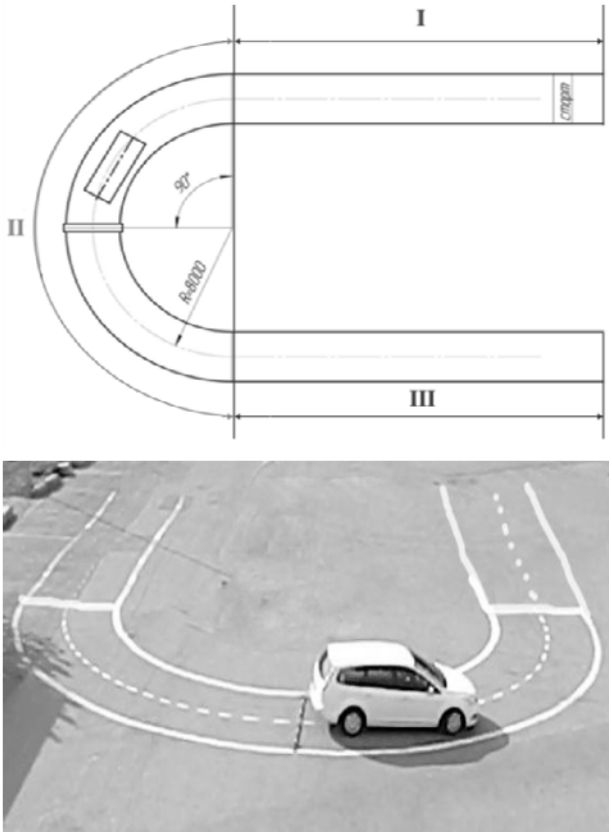



Рис. 1. Площадка для экспериментальных исследований технического состояния подвески АТС

Экспериментальная площадка условно разбита на три участка:

I – участок разгона автомобиля.

II – участок поворота, имеющий радиус 8 м (для поворота автомобиля на угол 180 ). В середине участка установлена единичная неровность прямоугольного профиля 50х50 мм.

III – участок остановки автомобиля.

Порядок выполнения эксперимента приведен в виде функциональной схемы на рис.2. В экспериментальных заездах использовался автомобиль Ford Focus. Для отслеживания колебаний колеса автомобиля используется видеокамера. Она устанавливается на высоту центра вращения колес автомобиля таким образом, чтобы снимаемый диапазон камеры запечатлел участок прохождения автомобилем единичной неровности.

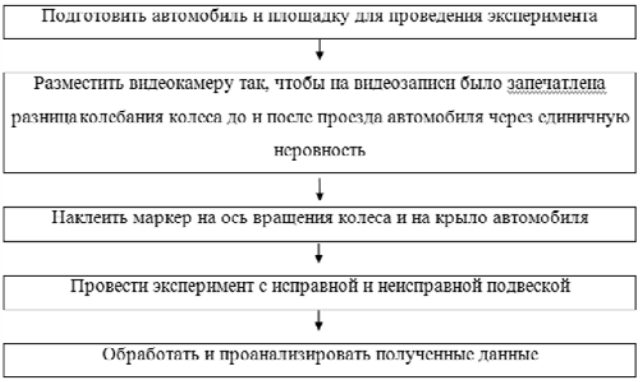



Рис. 2. Функциональная схема определения колебания колеса при переезде автомобилем через единичную неровность на дороге без уклонов

На крыле кузова автомобиля и в центре вращения колеса были наклеены контрастные маркеры (точки) для удобства отслеживания и анализа колебаний колеса при переезде автомобилем единичной неровности. Проверка колебаний колеса проводилась с полностью исправной и с полностью неисправной подвеской с одновременной записью на видеокамеру переезда автомобилем через единичную неровность.

В процессе экспериментального исследования изменялось техническое состояние амортизаторов на автомобиле в следующей последовательности:

– все амортизаторы на автомобиле технически неисправны (масло из амортизаторов полностью слито);

– все амортизаторы на автомобиле технически исправны (новые).

При каждом заданном техническом состоянии подвески выполнялся цикл экспериментов переезда колесами АТС единичной неровности при движении по окружности на дороге без уклонов. После проведения экспериментов, полученные результаты обрабатывались в среде *KOMPAS-3D*. Необходимо разбить видеопоток с видеокамеры на кадры с шагом интегрирования t=0,02 сек по оси X, затем добавить все полученные фотографии в графический редактор и соединить линиями центр вращения колеса с помеченной ранее точкой на кузове (крыле) автомобиля (рис. 3). Далее необходимо отследить перемещения этой точки относительно кузова по оси Z, таким образом вычисляя координаты точек (маркера) на изображениях, совпадающими с определенными номерами кадров (табл. 1).

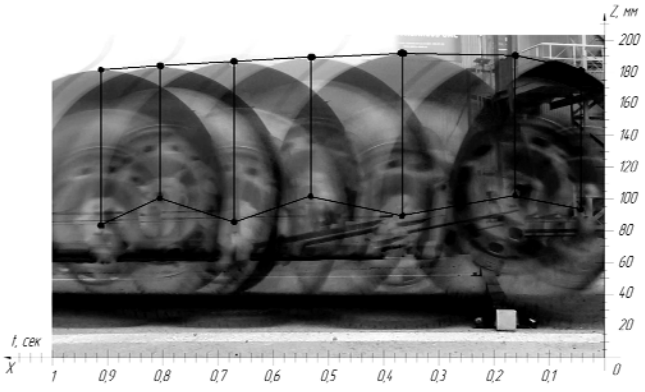



Рис. 3. Анализ перемещения колеса до и после проезда им единичной неровности в процессе поворота на дороге без уклонов

*Таблица 1.*

**Расчётное и действительное перемещение колеса по фотографии**

| Положение маркера | $Z_{ИЗМ}$,мм | $Z_Д$, мм | $Z_{Д.ОТКЛ}$, мм |
|---|---|---|---|
| 1 | 97,33 | 510,00 | 0,00 |
| 2 | 96,44 | 505,35 | -4,65 |
| 3 | 93,22 | 488,47 | -21,53 |
| 4 | 90,49 | 474,17 | -35,83 |
| 5 | 86,30 | 452,21 | -57,79 |
| 6 | 83,00 | 434,92 | -75,08 |
| 7 | 82,26 | 431,04 | -78,96 |
| 8 | 83,00 | 434,92 | -75,08 |
| 9 | 86,30 | 452,21 | -57,79 |
| 10 | 92,36 | 483,96 | -26,04 |
| 11 | 100,06 | 524,31 | 14,31 |
| 12 | 101,02 | 529,34 | 19,34 |
| 13 | 104,05 | 545,20 | 35,20 |
| 14 | 99,39 | 520,80 | 10,80 |
| 15 | 94,67 | 496,07 | -13,93 |
| 16 | 89,63 | 469,61 | -40,39 |
| 17 | 87,31 | 457,52 | -52,48 |
| 18 | 85,12 | 446,02 | -63,98 |
| 19 | 87,52 | 450,60 | -51,40 |
| 20 | 90,52 | 474,32 | -35,68 |
| 21 | 96,45 | 505,39 | -4,61 |
| 22 | 101,51 | 531,86 | 21,86 |
| 23 | 100,00 | 524,00 | 14 |
| 24 | 96,79 | 507,02 | -2,88 |
| 25 | 91,29 | 478,35 | -31,65 |
| 26 | 86,98 | 455,72 | -54,28 |
| 27 | 84,69 | 443,77 | -66,23 |
| 28 | 83,22 | 436,07 | 26,07 |
| 29 | 86,61 | 453,78 | 43,78 |
| 30 | 90,74 | 475,47 | -34,53 |
| 31 | 95,01 | 497,85 | -12,25 |
| 32 | 96,46 | 505,45 | -4,55 |
| 33 | 93,89 | 491,98 | -18,02 |
| 34 | 89,38 | 468,35 | -41,65 |
| 35 | 88,74 | 464,99 | -46,01 |
| 36 | 89,38 | 468,35 | -41,65 |
| 37 | 96,56 | 500,73 | -9,27 |
| 38 | 96,94 | 507,96 | -2,04 |
| 39 | 95,61 | 500,94 | -9,06 |
| 40 | 94,27 | 493,97 | -16,03 |
| 41 | 93,70 | 490,98 | -19,02 |
| 42 | 94,46 | 494,97 | -13,03 |
| 43 | 96,85 | 507,49 | -2,51 |
| 44 | 96,75 | 506,97 | -3,03 |
| 45 | 97,51 | 510,95 | 0,95 |
| 46 | 96,94 | 507,96 | -2,04 |
| 47 | 97,51 | 510,95 | 0,95 |
| 48 | 97,13 | 508,99 | -1,01 |
| 49 | 96,98 | 508,17 | -1,83 |
| 50 | 97,04 | 508,48 | -1,52 |

Для определения действительного перемещения колеса по координатой оси OZ необходимо определить масштабный коэффициент. Он определяется по формуле:

$$M = \frac{D_Д}{D_{ИЗМ}}, \quad (1)$$

где $D_Д$ – действительное расстояние от маркера оси вращения колеса до маркера на крыле автомобиля (визуально видимое расстояние); $D_{ИЗМ}$ – расстояние от маркера оси вращения колеса до маркера на крыле автомобиля на фотографии.

$$M = \frac{510}{97,33} = 5,24$$

Действительное перемещения колеса по вертикали с учетом масштабного коэффициента определяется по формуле:

$$z_Д = z_{ИЗМ} \cdot M, \quad (2)$$

где $z_{ИЗМ}$ – вертикальное перемещение колеса на фотографии, мм; $z_Д$ – действительное вертикальное перемещение, мм.

Действительное отклонение колеса от первоначальной (автомобиль в покое) величины, относительно которой и рассматривается степень отклонения колеса, определяется как

$$z_{Д.ОТКЛ} = z_Д - D_Д, \quad (3)$$

где $z_{Д.ОТКЛ}$ – действительное отклонения колеса от нормальной величины, мм.

Значения действительного перемещения и действительного отклонения колеса на фотографии приведены в таблице 1.

После проведения расчетов получаем график перемещения колеса автомобиля после проезда им единичной неровности на дороге без уклонов (рис. 4.)

Графики перемещения колёсных узлов позволяют определить момент наезда колёс автомобиля на единичную неровность. Они наглядно показывают, что переезд колёс автомобиля через единичную неровность сопровождается значительными колебаниями его неподрессоренных масс. Результаты экспериментального исследования дали хорошую базу для моделирования процесса переезда колес автомобиля через единичную неровность при движении по окружности [4].

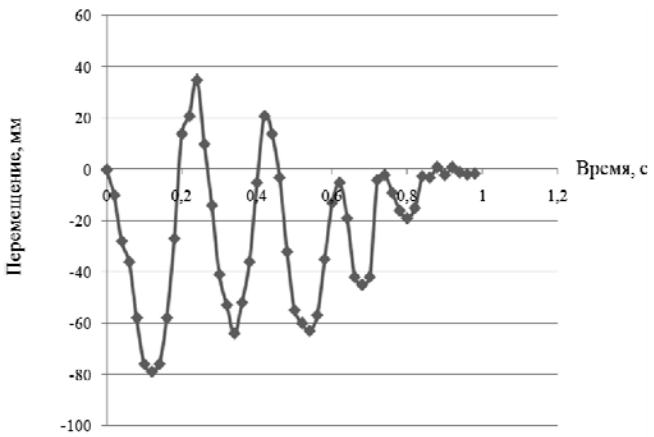



Рис. 4. График перемещения колеса при диагностирование подвески автомобиля дорожным методом

## Выводы

Достоинство разработанного метода заключается в простоте применения и не требует каких-либо конструктивных доработок в устройстве автомобиля.

Используя метод видеофиксации, представляется возможным автоматизировать процесс определения колебания узлов колес автомобиля при диагностировании подвески транспортного средства любой марки. При этом становится вероятным повышение эффективности диагностирования подвески автомобиля дорожным методом путём переезда автомобилем единичной неровности в процессе поворота на дороге без уклонов. Это приводит к уменьшению количества дорожно-транспортных происшествий на дорогах, обусловленных технической причиной.

## Литература


1. Федотов А.И. Технология и организация диагностики при сервисном сопровождении: учебник для студ. Учреждений высш. Образования М.: Издательский центр «Академия», 2015. - 352 с.

2. Федотов А.И. Диагностика автомобиля: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов" Министерство образования и науки РФ, Иркутский гос. технический ун-т.- Иркутск, 2012. - 476 с.

3. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. - URL: http://stat.gibdd.ru/ (дата обращения 20.04.2018).

4. Федотов А.И., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. // Контроль технического состояния подвески автомобилей в условиях эксплуатации методом движения по поперечному уклону // Журнал автомобильных инженеров. - 2015. - №6 (95). - С. 51-53.

5. А.В. Лысенко, Н.Ю Кузнецов, Д.А. Тихов-Тинников, А.И. Федотов. Контроль технического состояния подвески автомобиля при переезде единичной неровности// Материалы 99-й международной научно-технической конференции «Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации» 20-22 апреля 2017 г. - С. 439-441.

6. Федотов А.И., Тихов-Тинников Д.А., Лысенко А.В., Кузнецов Н.Ю. Контроль технического состояния амортизаторов автотранспортного средства при переезде единичной неровности // Вестник ИрГТУ. - 2018. - Т. 22. № 7 (138). - С. 234-240.

7. Федотов А.И., Тихов-Тинников Д.А., Лысенко А.В., Кузнецов Н.Ю., Овчинникова Н.И. Оптимизация режимов экспериментального исследования процесса переезда автомобиля через единичную неровность // Вестник ИрГТУ. – 2017. - №4. - С. 176-187.

8. Федотов А.И. Основы теории эксплуатационных свойств автомобилей: Учебник для аспирантов вузов. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. - С.254.

9. Федотов А.И., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. // Контроль технического состояния подвески автомобилей в условиях эксплуатации методом движения по окружности. Сборник трудов: Автомобиль для Сибири и Крайнего севера: Конструкция, эксплуатация, экономика 90-я Международная научно-техническая конференция в ИРНИТУ 2015. - С. 232-237.

10. Медведев Ю.С., Жучкова В.В. Применение деформационного критерия разрушения к анализу прочности при проектировании системы снижения токсичности отработавших газов // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ РАН.- 2019.- № 1.- С. 43- 46.

11. Арифуллин И.В., Терентьев А.В. Анализ природы факторов влияния внешней среды на сроки эксплуатации автомобилей// Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ РАН.- 2019.- № 1.- С.47- 50.


## Сведения об авторах


**Федотов Александр Иванович**, доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет.

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Тел. (3952) 40-58-53.

E-mail: fai.abs@yandex.ru.

**Портнягин Евгений Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет.

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Тел.: (3952) 40-51-36.

E-mail: ewpo38@gmail.com.

**Казаков Александр Сергеевич**, студент кафедры «Автомобильный транспорт», Иркутский национальный исследовательский технический университет.

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Тел.: (3952) 40-51-36.

E-mail: allleks-95@mail.ru.

УДК 629.4.083

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОВОЗНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ОПЕРАТИВНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПЛАНИРОВАНИИ ПЕРЕВОЗОК

Кандидат техн. наук, доцент **Арифуллин И.В.,**
кандидат техн. наук, доцент **Терентьев А.В.,**
студент **Кузнецов К.А.**
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ))

Магистрант **Ткачев Е.И.**
(Санкт-Петербургский горный университет)

# DISTRIBUTION OF CARRIAGE CAPACITIES AT AUTOMOBILE ENTERPRISE IN CONDITIONS OF OPERATIONAL PRODUCTION PLANNING OF SHIPMENT

Ph.D. (Tech.), Associate Professor **Arifullin I.V.**,
Ph.D. (Tech.), Associate Professor **Terent'ev A.V.,**
Student **Kuznetsov K.A.**
(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. MADI)

Master Student **Tkachev E. I.**
(Saint-Petersburg Mining University)

*Оперативно-производственное планирование, грузовые перевозки, векторная оптимизация, многокритериальная задач, провозные возможности, автотранспортное предприятие.*

*Operational production planning, freight traffic, vector optimization, multi-criteria decision problem, carriage capacity, automobile enterprise.*

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с оперативно-производственным планированием грузовых автомобильных перевозок в динамически изменяющихся условиях среды взаимоотношений «потребитель-перевозчик». Имеется в виду наличие трёх групп клиентов и видов заявок (постоянные, непостоянные и эпизодические) и трёх вариантов баланса спроса и провозных возможностей автотранспортного предприятия (АТП) (равновесие, превышение и недостаток провозных возможностей текущему состоянию спроса на перевозки). Автотранспортные предприятия закономерно испытывают трудности при организации перевозок, зачастую не располагая информацией, как на научной основе организовать работу автомобильного грузового транспорта в данных условиях. В результате стоимость издержек на осуществление транспортной работы значительно возрастает. Решение данной задачи с применением методов векторной оптимизации позволяет получить дифференцированные значений ТЭП в данных инвариантных условиях и сформировать оптимальное или близкое к оптимальному решение по распределению провозных возможностей автотранспортного предприятия при оперативно-производственном планировании перевозок.*

*Article focuses on operational production planning of freight traffic in changing environment of "consumer-carrier" relationships, namely: there are three types of customers and applications (permanent, non-permanent, and episodic) and three scenarios of balance between demand and carriage capacities of automobile enterprise (equilibrium, excess or lack of carriage capacities in relation to current delivery demand). Accordingly, automobile operating companies face difficulties while organizing freight carriages as they often cannot employ scientific methods in these circumstances. As a result, marginal costs of whole transporting significantly grow. Solving this problem with the use of vector optimization method helps get differentiated values of technical and economic indicators under given invariant conditions and design optimal or near-to-optimal solution of how carriage capacities can be distributed at automobile enterprise with operational production planning of shipment.*

В современных рыночных условиях изменилась практика взаимоотношений работы грузовых автотранспортных предприятия АТП и их клиентуры. Произошло резкое увеличение количества грузоотправителей (ГО) и АТП за счет разделения крупных и образования новых мелких производств и частных автохозяйств. Изменяющиеся условия среды взаимоотношений «потребитель-перевозчик» приводят к тому, что многие АТП испытывают значительные трудности, а их службы организации перевозок зачастую не располагают информацией, как на научной основе организовать работу автомобильного грузового транспорта в современных условиях. В результате стоимость издержек на осуществление транспортной работы значительно возросла, так же как стоимость конечной продукции проходящей через этап транспортирования. В ряде исследований разрабатываются методики, позволяющие учитывать сложный характер производства сменно-суточного планирования грузовых АТП в современных условиях. Например, в работе [1] отмечается, что специфической особенностью работы грузового АТП является «частое изменении клиентуры, видов грузов и их объемов, расстояний перевозок и т.д.» и что существующие методики планирования и анализа работы ав-

томобилей ГАТП не дают возможности получать достоверные результаты в режиме оперативного планирования. В данных условиях становится актуальным вопрос оптимального соотношения собственного и наёмного подвижного состава, обуславливаемый рядом причин, таких как:

1) неравномерность (колебание) спроса на перевозки грузов как результат экономического состояния в стране или влияния сезонных факторов;

2) разница в затратах, их соотношение между способом осуществления перевозок может быть как в пользу привлечения наёмного подвижного состава, так и в пользу эксплуатации собственных автомобилей в зависимости от вида перевозимого груза, объёма перевозки, регулярности поступления заявок и т.д.;

3) необходимость обеспечения требований качества перевозки (сохранность, безопасность, соблюдение специфических условий перевозки и т.д.).

Подтверждением актуальности этой темы исследований является ряд работ. Например, в работе [2] прямо указывается о необходимости разработки оптимальных схем перевозок с учётом рационального распределения перевозок грузов между различными видами: привлечение автомобилей или использования собственных. В работе [3] справедливо отмечается, что современная практика грузовых автомобильных перевозок, в частности мелкопартионных грузов, фиксирует ежедневное изменение количества заявок клиентов на перевозки (по объемам перевозок, количеству и расположению грузоотправителей и грузополучателей), что вызывает постоянные изменения в расстояниях между пунктами в районах обслуживания предприятий. Данная практика требует определения (теоретического) зависимостей влияния изменения пробегов автомобилей на эффективность функционирования транспортных систем (в том числе и при решении задачи маршрутизации), а также механизмов возможного влияния на изменения. В работе приводятся данные, когда в процессе работы автомобилей в городских условиях зафиксированы следующие ситуации:

1) изменение количества заявок происходит в диапазоне от – 20 % до + 20 % по сравнению с предшествующим периодом (сменой) работы АТП;

2) изменение объемов перевозок по заявкам варьируется от –20 % до + 20 % по сравнению с предшествующим периодом (сменой) работы АТП;

3) регулярное изменение расстояний перевозок, а соответственно, длин гружёных и порожних ездок автомобилей.

Сегодня, пользующихся услугами АТП клиентов подразделяют на постоянных, непостоянных и эпизодических. В таких условиях работают, согласно статистическим данным в РФ, преобладающее количество небольших автопредприятий (около 80 % от общего числа), имеющих в своём составе парк подвижного состава от 10 до 30 ед.

**Постоянные клиенты**, как правило, обеспечивают устойчивый спрос как по объемам, так и по номенклатуре и условиям перевозок. Деловые связи с ними устанавливаются и оформляются юридически, посредством заключения договоров на организацию перевозок. Эта группа клиентов, в зависимости от заказываемых объёмов перевозок, может обеспечивать основную часть реализуемых АТП перевозок.

**Непостоянную клиентуру** составляют потребители транспортных услуг, у которых отсутствует постоянная потребность в перевозках, но статистические данные показывают, что таких клиентов довольно большое количество и средний суточный объем совокупного спроса данной клиентуры является сравнительно устойчивой величиной. Такие клиенты поддерживают деловые связи по мере возникновения у них потребности. Заказ на транспортные услуги они осуществляют, подавая заявки на перевозки. С такими клиентами заключается договор перевозки груза, который оформляется составлением товарно-транспортной накладной непосредственно в ходе перевозок.

**Эпизодическая клиентура** составляет сегмент заказов**,** когда средний суточный объем совокупного спроса данной клиентуры не является сравнительно устойчивой величиной.

В связи с этим провозные возможности автотранспортного предприятия рекомендуют определять на основе анализа конкретных заказов на транспортное обслуживание исходя из конкретных условий перевозок: расстояния доставки грузов, времени простоя под погрузочно-разгрузочными операциями, а также прогноза состояния парка и выпуска машин, показателей использования грузоподъемности, пробега и других эксплуатационных показателей [4,5,6]. Провозные возможности парка автомобилей в данном случае определяются по известным соотношениям:

$$Q = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} Q_{ij}, \tag{1}$$

$$Q_{ij} = A_{cn_{ij}} \bullet Д_к \bullet \alpha_{в_i} \bullet q_{ij} \bullet \gamma_{ij} \bullet n_{e_{ij}} \tag{2}$$

$$n_{e_{ij}} = \frac{T_н - t_н}{\left(\frac{l_{e_{ij}}}{\beta_{ij} \bullet V_{m_{ij}}}\right) + t_{n-p_{ij}}}, \tag{3}$$

где $Q$ – общие провозные возможности АТП, т; $Q_{ij}$ – объем перевозок автомобилями *i*-го типа *j*-ой заявке; $A_{cn_{ij}}$ – списочное количество автомобилей, привлекаемых для перевозок, ед.; $Д_к$ – количество календарных дней, ед.; $\alpha_{в_i}$ – коэффициент выпуска *i*-го типа автомобилей; $q_{ij}$ – номинальная грузоподъёмность *i*-го типа автомобилей на *j*-ой заявке; $\gamma_{ij}$ – коэффициент использования грузоподъёмности *i*-го типа автомобилей на *j*-ой заявке; $n_{e_{ij}}$ – количество ездок *i*-го типа автомобилей на *j*-ой заявке; $T_н$ – время работы в наряде автомобилей; $l_{e_{ij}}$ – длина гружёной ездки *i*-го типа автомобилей на *j*-ой заявке; $\beta_{ij}$ – коэффициент использования пробега *i*-го типа автомобилей на *j*-ой заявке; $V_{m_{ij}}$ – среднетехническая скорость *i*-го типа автомобилей на *j*-ой заявке; $t_{n-p_{ij}}$ – время простоя под погрузкой и разгрузкой *i*-го типа автомобилей на *j*-ой заявке.

Применение данного поход к оперативному планированию перевозок усложняется тем, что в реальных условиях при сопоставлении спроса на перевозки и провозных возможностей должны рассматриваться следующие варианты [7,8]:

**1-й вариант**. Спрос и провозные возможности максимально соответствуют один другому. Это идеальный вариант и в этом случае АТП в состоянии удовлетворить все заявки на перевозку грузов и закономерно получает прибыль. Однако такой вариант на практике разработать очень сложно.

**2-й вариант**. Провозные возможности АТП превышают спрос на перевозки. В этом случае часть автомобилей должна будет простаивать из-за недостатка заказов на выполнение перевозок. Тогда предприятию необходимо проводить дополнительные мероприятия по привлечению подвижного состава к перевозкам: активизировать маркетинговую деятельность по изысканию новых заказов с приемлемыми условиями, расширять перечень услуг для постоянных и непостоянных клиентов; сдавать автомобили в аренду или сокращать парк подвижного состава.

**3-й вариант**. Текущая потребность в перевозках превышает провозные возможности. Такая ситуация может произойти в периоды экономического роста региона либо при возникновении повышенного спроса на отдельные виды перевозок (строительство новых промышленных и жилых объектов и т.д.). В этом приходиться изыскивать способы повышения провозных возможностей; приобретать необходимый подвижной состав нанимать автомобили в аренду у других транспортных предприятий или (самый нежелательный вариант) отказаться от выполнения части заявок, тем самым лишив предприятие прибыли. Данная тактика является наиболее распространённой в современных условиях, так как АТП стараются избежать лишних затрат на содержание подвижного состава и располагают минимумом единиц техники, гарантированно обеспеченных текущими заказами на перевозки [9]. Подобные динамические изменения в структуре «заказа» перевозок в условиях применения «фиксированной» декомпозиции может приводить к неполноценному использованию провозных возможностей АТП и грузоподъемности подвижного состава; перегрузке автомобилей; несвоевременному удовлетворению спроса на перевозки; неуравновешенному балансу в потребности подвижного состава; неэффективному применению автомобилей во времени; несоответствию плановых и фактических показателей работы АТП; невозможности обслужить по времени клиентов, подавших заявки в последнюю очередь и т.д. Использование единственного критерия в качестве оценки эффективности распределения автомобилей по маршрутам (маршрутизации), в частности, по минимуму пробега, не может исчерпывать всех характеристик транспортных систем, осуществляющих перевозки мелкопартионных грузов. Чтобы оценивать целесообразность принятых решений по нескольким различным критериям, должен быть инструмент, который позволял бы на научной аналитической основе разрабатывать алгоритмы принятия необходимых решений и выполнять их оценку, т.е. методики, которые позволяют учитывать различные условия работы подвижного состава в транспортных системах различной сложности. Оперативно-производственное планирование (ОПП) перевозок грузовых автомобильных предприятий (ГАП) предполагает необходимость систематизаций действий всех его участников, выявление многочисленных факторов, определяющих транспортный процесс, их оценку и разработку мероприятий, направленных на повышение эффективности доставки грузов [10, 11].

Наиболее сложным в данной ситуации оказывается формирование заключительного этапа внутрипроизводственного планирования, каковым является оперативно-производственное планирование - ОПП [7,8]. Важно отметить, что организация перевозок грузов в инвариантных условиях спроса на перевозки является сложным многогранным процессом, определяющим производственные взаимоотношения грузоотправителей, грузополучателей грузов и транспортных предприятий.

**Пример**

Рассмотрим один из возможных подходов к решения данной задачи. В [12,13] было обосновано, что матричная многокритериальная задача может быть сведена к линейной задаче векторной оптимизации при условии, что соблюдается непрерывность функции показателя эффективности от изменения вектора критерия. Тогда необходимо найти решение следующей задачи:

$$\begin{aligned} K_1 &= a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + a_{31}x_3 \to opt, \\ K_2 &= a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + a_{32}x_3 \to opt, \\ K_3 &= a_{13}x_1 + a_{23}x_2 + a_{33}x_4 \to opt, \\ x_1 + x_2 + x_3 &= N \end{aligned} \qquad (4)$$

при ограничениях

$$x_i = \begin{cases} N, i = j \\ O, i \neq j \end{cases}$$

Матрица эффективных планов ОПП в нашем случае будет иметь следующий вид:

1. Если решается задача по оптимизации планирования по отдельным заявкам и определения приоритета их выполнения по степени значимости:

$$A = \begin{pmatrix} w_{11} & s_{12} & u_{13} \\ w_{21} & s_{12} & u_{23} \\ \cdots & & \cdots \\ w_{m1} & s_{m2} & u_{m3} \end{pmatrix} \to opt, \qquad (5)$$

где $w_{m1}$ – значение показателя работы автомобилей по $i$-й заявке, ($i = \overline{1,m}$) по критерию производительность работы автомобилей, т·км; $s_{m2}$ – значение показателя работы автомобилей по $i$-й заявке, ($i = \overline{1,m}$) по критерию себестоимость перевозки, руб.; $u_{m3}$ – значение показателя работы автомобилей по $i$-й заявке, ($i = \overline{1,m}$) по критерию производительность работы автомобиля, т/час;

2. Если решается задача по оптимизации планирования по отдельным видам заявок (постоянные, непостоянные и эпизодические) с целью планирования использования провозных возможностей транспортного предприятия:

$$A=\begin{pmatrix} \overline{w}_{11} & \overline{s}_{12} & \overline{u}_{13} \\ \overline{w}_{21} & \overline{s}_{12} & \overline{u}_{23} \\ \dots & & \dots \\ \overline{w}_{m1} & \overline{s}_{m2} & \overline{u}_{m3} \end{pmatrix} \to opt, \qquad (6)$$

где $\overline{w}_{m1}$ – математическое ожидание показателя работы автомобилей по *i*-у типу заявок, ($i = \overline{1,3}$) по критерию производительности работы автомобилей, т·км; $\overline{s}_{m2}$ – математическое ожидание показателя работы автомобилей по *i*-у типу заявок, ($i = \overline{1,3}$) по критерию себестоимость перевозки, руб.; $\overline{u}_{m3}$ – математическое ожидание показателя работы автомобилей по *i*-у типу заявки, ($i = \overline{1,m}$) по критерию производительности работы автомобиля, т/час.

Смоделируем матрицу эффективности решений по вариантам (1, 2 и 3) ОПП ГАП.

$$A=\begin{pmatrix} 6076 & 38 & 23.1 \\ 5043 & 41 & 18,6 \\ 4071 & 48 & 14,0 \end{pmatrix}$$

Тогда для определения приемлемого решения по трём критериям эффективности необходимо найти решение задачи:

$$\begin{cases} K_1 = 6076x_1 + 5043x_2 + 4071x_3 \to max \\ K_2 = 48x_1 + 41x_2 + 38x_3 \to min \\ K_3 = 23,1x_1 + 18,6x_2 + 14,0x_3 \to min \end{cases}. \qquad (7)$$

при ограничениях:

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1, \quad x_1 \ge 0, \quad x_2 \ge 0, \quad x_3 \ge 0$$

Рассматриваемые показатели имеют различную размерность и несопоставимые по абсолютному значению величины, поэтому их необходимо представить в относительных единицах, поэтому определяется матрица $\delta_{ij}$ численных значений показателей, представленных в относительных единицах,

$$A^{\delta}=\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0,62 \\ 0,83 & 0,93 & 0,76 \\ 0,67 & 0,79 & 1 \end{pmatrix}$$

Далее производится нормализация значений матрицы $A^{\delta}$ по столбцам

$$b_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{\sum_{k=1}^{3} \delta_{ik}}, \quad i = 1,2,3; \quad j = 1,2,3. \qquad (8)$$

$$A^{н}=\begin{pmatrix} 0,400 & 0,368 & 0,251 \\ 0,332 & 0,342 & 0,334 \\ 0,268 & 0,290 & 0,415 \end{pmatrix}$$

После выполненных преобразований формируем задачу линейного программирования для определения множества эффективных планов в виде условия:

$$\left.\begin{array}{l} k_1 = 0,4x_1 + 0,342x_2 + 0,268x_3 \to max \\ k_2 = 0,368x_1 + 0,342x_2 + 0,290x_3 \to min \\ k_3 = 0,251x_1 + 0,334x_2 + 0,415x_3 \to min \\ \sum_{j=1}^{n} x_j = 1, \quad x_j \ge 0, \quad j = \overline{1,3} \end{array}\right\} \qquad (9)$$

Решение данной задачи с применением методов векторной оптимизации [14] позволяет получить дифференцированные значения результативных технико-эксплуатационных показателей работы автомобилей по отдельным критериям эффективности. Диаграммы решений по вариантам (1,2 и 3) приведены на рисунке 1.

1. **Решение 1** соответствует условиям среды ГАП, характерным при эксплуатации автомобилей по регулярно поступающим заявкам от постоянных клиентов.
2. **Решение 2** соответствует условиям среды ГАП, характерным при эксплуатации автомобилей по не регулярно поступающим заявкам, но от постоянных клиентов.
3. **Решение 3**. соответствует условиям среды ГАП, характерным при эксплуатации автомобилей по эпизодически поступающим заявкам и от случайных клиентов.

Анализ полученных данных в виде областей распределения эффективных решений в количественных оценках позволяют сформировать оптимальное или близкое к оптимальному решение по распределению провозных возможностей АТП при ООП ГАП.

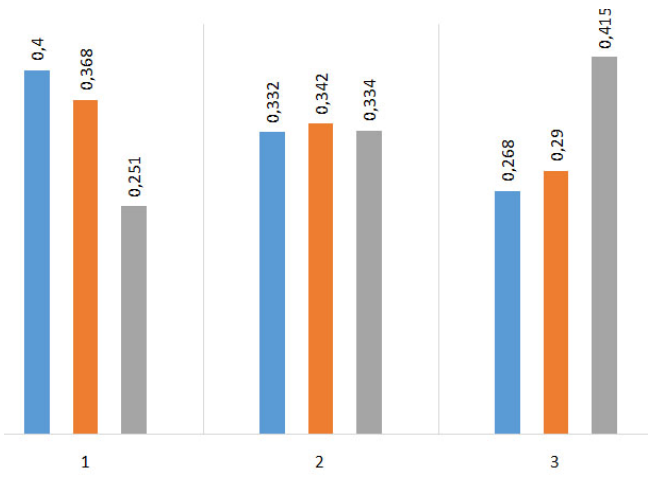



Рис. 1. Диаграмма изменения значений результативных технико-экономических показателей - ТЭП по отдельным критериям эффективности ГАП

## Выводы

Оптимальные или приближённые к ним решения на всех этапах организации и планирования перевозок невозможны без четкой математической постановки задач и применения научно обоснованных методов организации работы и управления в сложных системах. Можно сказать, что в настоящее время формируются предпосылки перехода на новые методы управления перевозочным процессом, обязательными элементами которого являются:

1. Использование в управлении современного программного обеспечения автоматизации принятия решений при регулировании перевозочного процесса.

2. Применение математического аппарата многокритериальной оптимизации результативных показателей и показателей использования подвижного состава.

Особенно актуальным становится данное утверждение в условиях несоответствия теоретических представлений и возможных практических решений ОПП ГАП.

**Литература**


1. Варакин В.В. Совершенствование сменно-суточного планирования работы подвижного состава грузового автотранспортного предприятия: автореферат дисс. … к-та. техн. наук: 05.22.10. – Омск: 2012 г.

2. Ёлкин А.В. Оптимизация парка автотранспортных и погрузочных средств на предприятиях пивоваренной отрасли с учетом неравномерности потребления готовой продукции: автореферат дисс. … к-та. техн. наук: 05.22.10. – Тверь: 2006.

3. Шаповал Д.В. Совершенствование оперативного планирования перевозок мелкопартионных грузов автомобилями на радиальных маршрутах в городах: автореферат дисс. … к-та. техн. наук: 05.22.10. – Омск: 2012 г.

4. Миротин Л.Б. Транспортная логистика: Учебник для транспортных вузов. / Л.Б. Миротин, Ы.Э. Ташбаев, В.А. Гудков, под общ. ред. Л.Б. Миротина. – М.: Издательство «Экзамен», 2002. – 512 с.

5. Николин В.И. Грузовые автомобильные перевозки / В. И. Николин, Е. Е. Витвицкий, С. М. Мочалин. – Омск: Вариант-Сибирь, 2004. – 480 с.

6. Панайотов К.К. Совершенствование организации автомобильных грузоперевозок на технологических маршрутах непрерывных производств: автореферат дисс. … к-та. техн. наук: 05.22.10. Волгоград – 2015 г.

7. Горев А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие. 5-е изд. /А.Э. Горев. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.

8. Володькин П.П., Рыжова А.С., Рыжов С.Ю. Особенности лизинговой схемы обновления автотранспорта для лизингополучателя транспортного предприятия// Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ.- 2019.- № 1.- С. 38-42.

9. Арифуллин И.В. Комплексная оценка качества доставки запасных частей для технического обслуживания автотранспортного парка / И.В. Арифуллин// Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), 2016, № 2(45), - С. 37-41.

10. Арифуллин И.В. Методика организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах / И.В. Арифуллин// Вестник гражданских инженеров, 2017, № 3(62), - С. 211-215.

11. Кузнецов А.П., Лысенко Н.Е., Пашков Н.Н. Актуальные проблемы информационно-технологического обеспечения грузовых фронтов // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНИТИ.- 2019.

12. Терентьев А.В. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования. А. В. Терентьев, Б.Д. Прудовский. Записки Горного института. Том 211. – СПб.:Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – С. 89-90.

13. Терентьев А.В. Методы принятия решений в условиях неопределённого состояния «внешней среды»/ А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Транспортное планирование и моделирование: сб. трудов Международной научно-практической конференции (26-27 мая 2016) СПбГАСУ. – СПб., 2016. С. 145-149.

14. Терентьев А.В. Векторная оптимизация / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский// Материалы 2-ой международной научно-практической конференции. Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014, – С. 64-66.


**Сведения об авторах**


**Арифуллин Илья Владимирович**, к.т.н., доцент кафедры «Менеджмент», МАДИ.

125319, Москва, Ленинградский проспект, д. 64.

E-mail: i_arifullin@mail.ru.

**Терентьев Алексей Вячеславович**, к.т.н., доцент кафедры «Детали машин и теории механизмов» МАДИ.

E-mail: aleksej.terentev.67@bk.ru.

**Ткачёв Евгений Игоревич, М**агистрант, кафедра «Транспорно-технологических процессов и машин», Санкт-Петербургский горный университет.

199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2.

E-mail: nikolai.popravcka@yandex.ru.

**Кузнецов Кирилл Алексеевич,** студент, кафедра «Мосты, тоннели и строительные конструкции», МАДИ.

E-mail: stramar97@mail.ru.

УДК 656.13.08

# СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В США

Канд. техн. наук **Грушников В.А.**
(Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук. ВИНИТИ РАН)

# MODERN SOLUTIONS OF THE ROAD SAFETY IN THE USA

**Grushnikov V.A.,** Ph.D. (Tech.)
(All-Russian Institute of Scientific and Technical Information. VINITIof RAS)

*Автомобильный транспорт, колесные транспортные средства, безопасность дорожного движения, предотвращение столкновений в дорожно-транспортных происшествиях*

*Roadtransport, wheeledvehicles, roadsafety, collisionavoidanceintrafficaccidents*

*Плотные и интенсивные транспортные потоки в мегаполисах являются потенциальной причиной столкновений в дорожно-транспортных происшествиях, которые необходимо предотвращать. Рассмотрим решение этой проблемы на примере автомобильных дорог США*

*Dense and intensive traffic flows in megalopolises are a potential cause of collisions in traffic accidents that must be prevented. Consider solving this problem on the example of US highways.*

Общая для всех стран мира, независимо от уровня их экономического развития, проблема безопасности дорожного движения на разном техническом и технологическом уровнях с разным успехом решается реализацией комплекса мероприятий на всех стадиях транспортного процесса, начиная с его основанного на исследованиях планирования, заканчивая предотвращением столкновений в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП).

Динамика их причинно-следственных связей является основанием для оптимизации стратегии повышения безопасности дорожного движения. Специалисты по безопасности дорожного движения из Института безопасности высокоскоростных автомагистралей в североамериканском Арлингтоне провели углубленный анализ причин и последствий ДТП во временном диапазоне с 1998 по 2014 гг., который позволил оценить изменение факторов риска и спрогнозировать тенденции безопасности и/или опасности в этой сфере деятельности на ближайшие десять лет [1]. С использованием действующей в США Системы отчетности по анализу смертности (FARS) по данным официальной статистики ДТП они были идентифицированы по шкале рисков и тяжести.

Анализ показал, что наибольшее количество ежедневных смертельных случаев (в среднем - 116) было зарегистрировано в июле и августе, июне, сентябре и октябре. В течение недели наибольшее количество смертельных случаев в среднем приходилось на выходные дни, а в течение дня большинство смертельных случаев, как правило, происходило между тремя и семью часами, т. е. ночью и ранним утром. На праздничные дни приходился повышенный процент ДТП, связанных с алкогольным опьянением водителей автомобилей. Результаты этого исследования свидетельствуют об успешности работы по оснащению современной дорожной инфраструктуры и усилий дорожной полиции и необходимости повышения их эффективности на новом уровне с целью снижения дорожной смертности и аварийности.

Не менее результативным оказался анализ безопасности труда и серьезности травматизма в наземных колесных транспортных средствах (КТС), проведенный в Университете Детройта (штат Мичиган, США) [2]. Исследование официальной статистики безопасности труда машинистов-операторов строительно-дорожных комплексов в виде экскаваторов, погрузчиков, бульдозеров, грейдеров, водителей и пассажиров автомобильных КТС продемонстрировало зависимость влияния степени опасности факторов технических повреждений машин и автомобилей на вероятность травматизма находящихся в них людей. Рассчитаны коэффициенты вероятности летальных исходов аварийных ситуаций, ранжированных по относительному воздействию каждого конкретного фактора. В порядке убывания вреда они расположились следующим образом: несоблюдение требований по технике безопасности (относительная весомость фактора 2,54), отсутствие оборудования системы коллективной и средств индивидуальной защиты (2,38), непрофессионализм работников (2,26), в особенности машиниста-оператора и водителя (1,93) и обслуживающего персонала (1,58).

Близкие результаты дал [3] и анализ тяжести травматизма коммерческого грузового подвижного состава с использованием модели интеллектуального анализа ДТП. Предоставленная Федеральной службой безопасности на автомобильном транспорте США официальная статистика ДТП в штатах Северная и Южная Дакота и Колорадо с 2010 по 2016 гг. позволила выявить основные факторы и степень тяжести дорожного травматизма в столкновениях с участием грузового подвижного состава разного типоразмера, габаритов и грузоподъемности, в разной степени оснащенного интеллектуальными электронными системами и принадлежащего транспортным компаниям и водителям-собственникам, с разной эффективностью занимающимся предпринимательской деятельностью в области транспортной логистики. Из 25 переменных - факторов риска столкновений 22 были идентифицированы как существенные, приводящие к серьезным травмам, а на

11 главных переменных приходится более 80% прогнозируемого травматизма. Выделяется несколько наиболее значимых факторов, таких как принадлежность автотранспортных средств компании определенного размера, частота контрольных инспекторских проверок технического состояния подвижного состава, характер перевозок (например, межгосударственные или внутригосударственные), время суточной эксплуатации, возраст водителя, его аварийность и серьезность его травм в ДТП. Результаты этого исследования могут быть полезны для сетевых транспортных операторов, выбирающих низкорисковые компании и водителей, характеризуемые степенью и тяжестью травматизма, и разрабатывающих эффективные меры предотвращения дорожно-транспортного травматизма.

В особенности это касается снижения рисков смертельного исхода водителей КТС самого разного типоразмера. Решение такой сложной задачи стало целью аналитического исследования тяжести последствий ДТП специалистами по безопасности дорожного движения штата Мичиган, США[4]. На основе точных описательных идентификаций ДТП с зарегистрированными в базе данных NASS-CDS столкновениями и обработанными в программно-вычислительном пакете Excel в 1997-2015 гг. было зарегистрировано участие в ДТП 20610000 водителей, из которых 37974 получили смертельный исход и 19772 тяжелые травмы. С привлечением аппарата имитационного регрессионного математического моделирования спрогнозированы вероятности и оценены тяжести, в том числе смертельных, повреждений водителей по шкалам типового (MAIS) и индивидуального (AIS) травматизма со смертельными исходами в течение 24 ч и после 30 дней после ДТП. Эти данные позволили лучше понять причинно-следственные связи столкновений в ДТП и разработать мероприятия по совершенствованию дорожно-транспортной инфраструктуры.

Она обеспечивает безопасность дорожного движения на автомагистралях и улицах городов, в особенности густонаселенных мегаполисов, и должна препятствовать проявлениям рискованной манеры управления легковыми и грузовыми КТС. Положительные примеры решения этой проблемы имеются. Так, по результатам анализа официальной статистики ДТП с выделением особенно опасных маневров и столкновений на улицах городов США с участием так называемых водителей-рецидивистов, неоднократно нарушавших правила дорожного движения, специалистами по организации транспортного процесса и медиками штата Юта, США разработаны мероприятия по совершенствованию программы Ticking Aggressive Carsand Trucks [5]. Первоначально они предназначались для использования работы на государственных автомагистралях федерального значения, внутри мегаполисов для снижения вероятности столкновений большегрузных и легковых КТС. Их эффективность повышена проведенной кампанией по информированию общественности с использованием обмена сообщениями в средствах массовой информации и усилением правоохранительной деятельности. По ее результатам прогнозы и оценки вероятности и тяжести рассматриваемых столкновений с доверительной вероятностью 95% снизились до 30%.

Успешным в плане реализаций мероприятий по повышению безопасности дорожного движения оказался [6] анализ характерных для мегаполисов скоростных режимов движения, оцененных по перемещениям таксомоторов в китайском Шанхае исевероамериканском Нью-Йорке. Результаты трех целевых исследований по определению манеры вождения водителей такси в Шанхае и Нью-Йорке с использованием данных системы глобального позиционирования формата GPS позволили оценить влияние психофизическим особенностей водителей на безопасность дорожного движения. На основе анализа интенсивности ежедневного рабочего времени таксистов в Шанхае (18,6 ч) и в Нью-Йорке (8,5 ч) и средней скорости передвижения колесных транспортных средств в Шанхае (21,3 км/ч) и в Нью-Йорке (20,3 км/ч) установлены наиболее нагруженные временные режимы и протяженности маршрутов движения таксомоторов, определяющие критические режимы. И в Шанхае и Нью-Йорке максимальное количество нарушений скоростного режима выявлено во временном диапазоне 4-7 ч утра, что дало возможность определенным образом настроить светосигнальные устройства дорожно-транспортной инфраструктуры.

В первую очередь, это касается оценки эффективности и повышения безопасного обустройства автомобильных перекрестков. Так, по результатам анализа официальной статистики ДТП в США и оценки эффективности экспериментального обустройства автомобильных перекрестков установлена высокая действенность конструкционно-технологических мероприятий по предотвращению угловых столкновений, составляющих 22% от общего количества этого вида ДТП в США [7]. Эти перспективные мероприятия основаны на эффективном использовании информационно-коммуникационной электронной системы типа V2V взаимодействия КТС на дорожной сети с цифровой инфраструктурой. Эффективность этой системы подтверждена результатами семи сценариев виртуальных испытаний на четырех типовых перекрестках, продемонстрировавших 26%-е снижение вероятность столкновений в ДТП.

В предотвращении этих опасных событий важное значение принадлежит достоверному прогнозу доли их типов. С этой целью в совместном исследовании новозеландских и североамериканских специалистов по безопасности дорожного движения с использованием имитационных математических моделей структурных регрессионных уравнений проведен [8] анализ тяжести травмированияв ДТП. Установлено, что вторичные столкновения КТС на дорогах общего пользования густонаселенного нью-йоркского Манхэттена составляют 7,5-9,3% всех ДТП, приводящих к инвалидности и смертельным травмам. Выявлена структурная взаимосвязь между вторичными столкновениями, серьезностью травматизма и такими факторами, как скорость, алкогольное опьянение, усталость водителей, дефекты тормозной системы, ограниченная обзорность и низкий коэффициент сцепления шин с дорожным покрытием в дождь, снег и обледенение. Отмечается улучшенная производительность инновационной модели прогнозирования этих причинно-следственных связей, описываемых определяющими тяжесть вторичных столкновений функциями с 13-ю переменными, среди которых важнейшими факторами являются алкоголь, наркотики, невнимательность, неопытность, сонливость, игнорирование контроля, несанкционированные ускорения, усталость, дефектные тормоза, неадекватные пешеходы, дефекты проезжей части, ограниченная обзорность и аномальные погодные условия.

Однако главными причинами дорожной смертности и травматизма продолжают оставаться фронтальные и задние столкновения [9]. Смертельные травмы оказались наиболее вероятными как для фронтальных, так и для задних столкновений в виде черепно-позвоночных повреждений с рисками 5, 25 и 50% смертельных исходов при перегрузках 89, 105 и 114 g, соответственно, в первом случае, и 96, 122, 138 g, соответственно, во втором случае.

Рис. 1. Результат фронтального столкновения

Предотвращение или значительное снижение тяжести опасных последствий при наиболее массовых фронтальных и задних столкновениях автомобилей эффективно при использовании водителями и пассажирами ремней безопасности. Это неоднократно подтверждено результатами многих исследовательских и контрольных полигонных испытаний. В то же самое время, по данным официальной статистики ДТП, в США из-за не использования ремней безопасности в 2015 г. в результате столкновений пассажирских КТС разных типоразмеров и вместимости погибли почти 10 000 человек. Но даже их использование, как продемонстрировали данные эксплуатационных и полигонных испытаний, не гарантируют отсутствия повреждений пользователей автомобильных и автобусных сидений вследствие высоких перегрузок при резких замедлениях по причине большого натяжения и воздействия на грудную клетку водителя и пассажиров. Это подтвердили результаты подконтрольных проездных испытаний с участием 16 водителей и 16 пассажиров [10]. Повышение эффективности защитного воздействия ремней безопасности достигается использованием усовершенствованных конструкций их натяжения с адаптивной подтяжкой и ступенчатым ослаблением. С их применением повышение пассивной безопасности прогнозируется на уровне 16-21%.

Анализ детского дорожного травматизма в США также продемонстрировал [11] снижение травматизма в ДТП в связи с успехами в последнее десятилетие в области совершенствования дорожного законодательства и, в особенности, по защите детей, перевозимых в КТС по дорогам общего пользования. С января 1990 г. по декабрь 2014 г. в 11759 ДТП зарегистрировано 3396 погибших детей, средний возраст которых составил 3,7 г. В перечне причин этих печальных инцидентов на первом месте находятся неиспользование или не надлежащее использование детских удерживающих устройств системы ISOFIX. Их правильное применение значительно снизило детскую смертности и травматизм на автомобильных дорогах США.

Эффективность использования электронных систем поддержки водителя КТС постоянно повышается и, хотя превышает возможности человека за рулем, пока не реализуется в полной мере, что подтверждается данными использования системы превентивного автоматического торможения.

По результатам углубленного анализа официальной статистики ДТП и тяжести повреждений водителя и пассажиров легковых автомобилей во фронтальных и боковых столкновениях исследователями проблемы безопасности дорожного движения из штата Северная Каролина США разработана [12] модульная модифицированная имитационная конечно-элементная математическая модель прогнозирования травматизма. В этом исследовании рассматривались травмы грудной клетки водителя при ударе о рулевое колесо и пассажиров - о стойку или обивку салона кузова в зависимости от упруго-демпфирующих свойств компонентов кузова. Разработаны рекомендации по оптимизации конструктивно-технологических исполнений трехточечных ремней и надувных подушек безопасности. Их испытания проводились при столкновениях КТС на скоростях 17 км/ч, 34 км/ч и 56,4 км/ч (по стандартной методике NCAP). Зарегистрирована характерная кинематика перемещений пристегнутого и/или не пристегнутого ремнями безопасности и удерживаемого и/или не удерживаемого надувной подушкой безопасности корпуса пользователя автомобильного сиденья с деформацией и вероятностью перелома ребер.

Успешность предотвращения столкновений КТС в ДТП во многом определяется целевым использованием предшествующей этим событиям информации, эффективной для лучшего понимания мотивации водителей автомобилей. В рамках исследовательского проекта разработан комплекс мероприятий по улучшению защиты стареющего населения цивилизованных стран мира. Для лучшего понимания мотивации водителей разных возрастных категорий в принятии решений в критических ситуациях специалистами в области безопасности дорожного движения штата Мичиган, США проанализирована эффективность использования зарегистрированной информации о ранее совершенных ими нарушениях Правил дорожного движения и участии в ДТП [13]. На основе этой статистической информации сотрудниками Института транспортных исследований Университета Мичигана произведены испытания с участием 108 случайно выбранных водителей личных легковых автомобилей 16-ти последних модификаций модели легкового автомобиля Honda Accord. Возраст водителей составлял от 20 до 30 (младше), от 40 до 50 (средний возраст) и от 60 до 70 лет (старшие) и учитывался пол. Результаты этого комплексного анализа продемонстрировали сильную зависимость когнитивных способностей, главным образом, водителей старшей возрастной группы от временного диапазона эксплуатации автомобиля и их замедленную реакцию на критические ситуации, а младшей - ее большую спонтанность.

Анализ типовых ДТП с участием подростков, молодых и опытных водителей позволил [14] исследователям проблемы безопасности дорожного движения и дорожного травматизма из штата Пенсильвания, США, заполнить пробел в статистике ДТП в разрезе возраста и квалификации водителей КТС.

Проведенный целевой анализ причинно-следственных связей по количеству и тяжести их повреждений во фронтальных, боковых и задних столкновениях, точно идентифицируемых наблюдениями в режиме реального времени и по результатам оценок в рамках стратегической программы исследований Naturalistic Driving Study (NDS) дал возможность сформировать информационный банк данных водителей. Он составлен на основе анализа 1653 проклассифицированных по нескольким характерным типам ДТП, сгруппированным в категориях подростков (16-19 лет), молодых (20-24 года) и опытных взрослых (35-54 года) водителей автомобилей и получены регистрациями устройствами наружного видеонаблюдения с использованием локальных камер и средств глобального динамического позиционирования и встроенными бортовую систему автомобилей акселерометрами отслеживания режимов разгона и торможения. Эти результаты использованы для разработки целенаправленных программ обучения и переподготовки водителей, управляющих КТС с современными ассистент-системами активной безопасности.

Наряду с бортовыми системами активной и пассивной безопасности КТС, важную роль в предотвращении столкновений в ДТП играют элементы обустройства дорожной инфраструктуры. Влияние высоты дорожного ограждения по показателям безопасности системы Midwest Guardrail, оценено [15] североамериканскими специалистами по организации безопасного транспортного процесса по результатам анализа ДТП с боковыми столкновениями и опрокидываниями на извилистых, главным образом, горных дорогах в штатах Небраска и Айова США.

Установлено, что низкие дорожные ограждения при относительно высоком уровне оперативной защиты с лучшей деформацией обладают меньшей способностью к опрокидыванию, еще более усугубляемой при временной осадке столбов в грунте. Оптимальное их заглубление рекомендуется выбирать с учетом характера местности и интенсивности трансп. потоков. В стандартных испытаниях на столкновение лучшие результаты удержания потерявшего управление на дороге КТС продемонстрировали гофрированные брусья системы Midwest Guardrail шириной 787 мм, установленные на высоте над проезжей частью автомагистрали 864-914 мм. Они выдержали столкновение под углом 25° легкового автомобиля на скорости 102 км/ч с его удержанием от опрокидывания и схода с крайней полосы движения.

В комплексной системе безопасности КТС и системе безопасности дорожного движения, наряду с технической безопасностью, важная роль принадлежит экологической безопасности, определяющей нагрузку в виде выбросов вредных веществ системами выпуска автомобильных КТС с двигателями внутреннего сгорания как на людей вне КТС – пешеходов, так и внутри них – водителей и пассажиров.

Проведенная в комплексном компетентном приборно-аналитическом исследовании оценка загазованности атмосферного воздуха в североамериканском Лос-Анджелесе позволила оценить влияние загазованности атмосферного воздуха на 22 добровольных участников экологического эксперимента - водителях такси модели Toyota Prius и их пассажирах [16]. Загрязнение воздуха анализировалось по концентрации содержания в нем взвесей твердых частиц размерами 2,5 мкм и менее. Установлена их концентрация в размере 1,46 х $10^4$ частиц/$см^3$ в пробах воздуха на автомагистралях и улицах Лос-Анджелеса, что соответствует удельному содержанию 26 мкг/$м^3$токсичных веществ. В этих условиях рекомендовано использовать средства внутренней системы кондиционирования воздуха без открывания оконных дверных проемов и воздушные фильтры повышенной эффективности очистки.

Рассмотренная аналитическая и экспериментальная информация по комплексной многогранной проблеме безопасности дорожного движения с аспектами активной и пассивной механической безопасности КТС, их экологической безопасности и инфраструктурного обустройства дорожной сети составляет основу для создания условий для обеспечения эффективного предотвращения столкновений в ДТП.

**Литература**


1. Weast R. Temporal factors in motor-vehicle crash deaths: The years later// J. Safety Res. [Электронный ресурс].- 2018.- 65.- С. 125-131.
2. Kazan E., Usmen M.A. Worker safety and injury severity analysis of earthmoving equipment accidents// J. Safety Res. [Электронный ресурс].- 2018.-65.- С. 73-81.
3. Zheng Z., Lu P., Lantz B. Commercial truck crash injury severity analysis using gradient boosting data mining model// J. Safety Res. [Электронный ресурс].- 2018.- 65.- С. 115-124.
4. Viano D.C., Parenteam C.S. Belted driver fatalities: Time of death and risk by injury severity// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- 19, № 3.- С. 153-158.
5. Telford R., CookL. J., Olson L.V. Ticketing aggressive cars and trucks (TACT): How does it work on city strects? // Traffic Injury Prev. . [Электронный ресурс].- 2018.- 19, № 3.- С. 147-152.
6. Huang Y., Sun D., Tang J. Taxi driver speeding: Who, when, where and how? A comparative study between Shanghai and New York City// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- 19, № 3.- С. 311-316.
7. Wu K.-F., Ardiansyan M.N. Ya W.-J. An evaluation scheme for assessing the effectiveness on intersection movement assis (IMA) on improving traffic safety// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- 19, № 2.- С. 179-183.
8. Xie K., Yang H. Secondary Collisions and Injury Severity: A Joint Analysis Using Structural Equation Models // Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- 19, № 2.- С. 189-194.
9. Olszko A.M., Beltran C.M., Vasquez K.B., MvGhee J.S., Chancey V.C., Yoganandan N., Pintar F.A., Baisden J.L. Initial Analysis of Archived Non-Human Primate Frontal and Rear Impact Data from the Biodynamies Data Resource// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- 19. Прил. 1.- С. 44-49.
10. Kidd D.G., Singer J., Hucy R., Kerfoot L. The effect of a gearshift interlock on belt use by drivers who do not always use a belt and acceptance among those who do// J. Safety Res. [Электронный ресурс].-2018.- 65.- С. 39-51.
11. Zonfrillo M.R., Ramsay M.L., Fennell J.E., Andreasen A. Uninternational Non-Traffic Injury and Fatal Events: Threats to Children in and Around Vehicles// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- 19, № 2.- С. 184-188.

12. Guleyupoglu B., Koya B., Barnard R., Gayzik F.S. Failed Rib Region Prediction in a Human Body Model During Crash Events With Precrash Braking// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- 19. Прил. 1.-С. 37-43.

13. Molnar L.J., Eby D.W., Bogard S.E., Le Blanc D.J., Zakrajsek J.S. Using Naturalistic Driving Data to Better Understand the Driving Exposare and Patterns of Older Drivers// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- 19. Прил. 1.-С. 83-88.

14. Seacrist T., Douclas E.C., Huang E., Megariotis J., Prabahar A., Kashem A., Elzarka A., Haber L., MacKinney T., Loeb H. Analysis of Near Crashes Among Teen, Round and Experienced Actual Drivers Using the SHRP2 Naturalistic Driving Study// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- 19. Прил. 1.-С. 89-96.

15. Asadollahi P.M., Julin R.D., Stolle C.S., Reid J.D., Faller R.K. Rail Height Effects on Safety Performance of Midwest Guardrail System// Traffic Injur Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- 19, № 2.- С. 219-224.

16. Yu N., Shu S., Lin Y., Zhu Y. Assissing and reducing fine and ultrafine particles Los Angeles taxis// Atmos. Environ. [Электронный ресурс].- 2018.- С. 155-163.

**Сведения об авторе**

**Грушников Виктор Александрович**, старший научный сотрудник ОНИ по машиностроению Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ) РАН.

Телефон 8 499 152 59 10 (сл.),

e-mail: mach04@viniti.ru

УДК 002:(083.75)

# ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ БЛОКЧЕЙН-ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Кандидат техн. наук **Раткин Л.С.**
(Научно-производственное предприятие “АРГМ”)

# PROTECTION OF INFORMATION FOR TRANSPORT SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF DEVELOPMENT OF STEGANOGRAPHIC BLOCK-ENCLOSED APPLICATIONS FOR THE AEROSPACE INDUSTRY

Ph. D. (Tech.) **Rathkeen L.S.**
(Scientific-production enterprise “ARGM”)

*Транспортные предприятия (ТП); программные продукты (ПП); компьютерная стеганография; блокчейн-технологии; жизненный цикл (ЖЦ); непрерывная поддержка ЖЦ продукции (CALS); компьютерное проектирование программных систем (CASE); оперативная аналитическая обработка данных (OLAP); Международная космическая станция (МКС); Международная окололунная станция (МОС); системы защиты информации (СЗИ); системы взлома информационных комплексов (СВИК); несанкционированный доступ к данным (НДД).*

*Transport Enterprises (TE); Software Products (SP); computer steganography; blockchain technologies; Life Cycle (LC); Continuous Acquisition and Life-cycle Support (CALS); Computer-Aided Software Engineering (CASE); On-Line Analytical Processing (OLAP); International Space Station (ISS); International Moon Station (IMS); System for Data Protection (SDP); System for Cracking of Information Complexes (SCIC); Non-sanction Data Access (NDA).*

*В публикации рассматривается проблематика внедрения технологий защиты информации для транспортных систем на примере разработки стеганографических блокчейн–приложений для аэрокосмического комплекса.*

*The article is devoted to the implementation of the data protection technologies for the transport systems on the example of development of Steganographic blockchain applications for the aerospace complex.*

Одним из важных направлений создания технологий защиты информации для транспортных систем, разрабатываемых в институтах Российской академии наук (РАН), являются психофизиологические комплексы, учитывающие эргономику рабочих мест диспетчеров транспортных предприятий (ТП) и влияние человеческого фактора на процесс принятия решения при управлении структурным подразделением ТП [1-2]. С этой точки зрения стеганографические блокчейн–приложения для аэрокосмического комплекса применимы для эргономического сопровождения процессов создания антропоморфных роботов для поддержания жизнедеятельности космонавтов, при моделировании процессов приземления пилотируемых космических кораблей. В России и за рубежом уже в 2019 году планирует увеличение финансирования национальных космических программ. Это предполагает внедрение новых программных продуктов (ПП) с концепцией поддержки жизненного цикла (ЖЦ) и технологий непрерывной поддержки ЖЦ продукции (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support, CALS), компьютерного проектирования программных систем (Computer-Aided Software Engineering, CASE), оперативной аналитической обработки данных (On-Line Analytical Processing, OLAP) и оперативной обработки трансакций (On-Line Transaction Processing, OLTP). Программные продукты вместе с технологиями защиты информации для ТП применимы для разработки новых систем защиты, для повышения уровня управляемости беспилотных и пилотируемых грузовых, грузопассажирских, пассажирских и экспедиционных лунных взлетно-посадочных комплексов (ЛВПК), а также для полигонов различного назначения. ПП нужны для проектирования объектов лунной космической инфраструктуры (например, пусковых и посадочных площадок, модульных конструкций лунной базы) для ЛВПК, инжиниринга и реинжиниринга внешнего облика и внутренних конструкций многоразовых ЛВПК с визуализацией сценариев доставки шлюзовых модулей перспективными средствами выведения, расчета схем стыковки шлюзовых, грузовых, грузопассажирских, пассажирских и экспедиционных модулей с лунной орбитальной станцией. Стеганографические блокчейн–приложения смогут повысить уровень защиты данных при проектировании лунных грузовых, грузопассажирских, пассажирских и экспедиционных модулей, научной визуализации экспериментов и компьютерного моделирования процессов исследования лунной поверхности при выполнении миссии на лунном грузовом, грузопассажирском или пассажирском корабле и на экспедиционных модулях [3]. Технологии стеганографического блокчейна минимизируют риски при эвакуации членов экипажа и пассажиров с поверхности Луны на обычных или резервных ЛВПК, космических исследованиях в различных модулях Международной космической станции (МКС) и Международной окололунной станции (МОС), применении модификаций внутрикорабельных скафандров для моделирования и отработки визуализации полета на МОС. Даны примеры этой сложной технологической проблемы.

**Первый пример:** проектирование светофильтров для универсального скафандра, предназначенного для работы вне космического корабля под прямыми солнечными лучами. Скафандр необходимо спроектиро-

вать с применением технологий CALS, CASE, OLAP и OLTP, при этом стеганографические блокчейн-приложения должны быть совместимы с ПП, разработанными как в РФ, так и за рубежом, что предполагает интеграцию с системой библиотек российских и иностранных стандартов ПП. В стеганографическом репозитории, в частности, должны присутствовать данные о технических характеристиках материалов, применяемых для изготовления универсального скафандра и светофильтров для него, финансово-экономических параметрах инвестиционных проектов, в соответствии с которыми изготавливаются скафандр и фильтр. В состав стегорепозитория должен включаться расширенный набор библиотек цифровых моделей космических скафандров, при этом необходимо присутствие функций компоновки скафандров стандартным и дополнительным оборудованием с пересчетом суммарной нагрузки, удельного давления на грунт и т.д. Перечисленный функционал реализуется с помощью стеганографических блокчейн–приложений [4]. В них следует учесть особенности разработки моделей скафандров для различных научных интерактивных визуализаций и возможности проектирования трехмерных моделей различных внекорабельных скафандров для длительных перелетов в открытом офисе. В данном случае эргономические показатели являются основными и экономически обоснованными, поскольку позволяют проводить расчет стоимости операций и финансово-экономических затрат на каждом этапе научного исследования. Реализация на базе стеганографических блокчейн–приложений репозитория с помощью CALS, CASE, OLAP и OLTP технологий значительно упрощает моделирование процессов перехода космонавтов во внутрикорабельных скафандрах, например, из ЛВПК - в МОС, из МОС – в МКС. Расширенная библиотека стеганографического репозитория физико-химических характеристик материалов, из которых изготавливаются скафандры, применима для 3D-печати на околоземной или окололунной орбите на 3D-принтере частей скафандров для их оперативного ремонта на космическом корабле. Расширение функционала орбитальной трехмерной печати позволяет формировать интерактивные программы, в соответствии с которыми проходят испытания и сдаются в эксплуатацию внутрикорабельные и внекорабельные скафандры: в базах данных и информационных хранилищах, разработанных с применением стеганографических блокчейн–технологий, отражаются все изменения состояния каждого члена экипажа и пассажира космического корабля для каждой экспедиции. Накапливаемая статистическая информация помогает выявить скрытые закономерности в различных выборках данных благодаря встроенному в стегорепозиторий механизму стеганографического анализа.

**Второй пример:** применение стеганографических блокчейн–приложений для визуализации запусков ракет-носителей с пилотируемыми космическими кораблями. Использование CALS, CASE, OLAP и OLTP технологий, в отличие от обычных тренажерных систем и комплексов, упрощает моделирование и расчеты при формировании изображений – например, суперкомпьютерного моделирования процессов отделения ступеней для ракет различных классов – наполняемая специальная библиотека стеганографического репозитория формируется из расчетных данных, обновляемых регулярно. Упрощается задача построения оптимальной конфигурации ЛВПК, построения высокоскоростных телекоммуникационных систем для обеспечения взаимодействия, например, многоразовых взлетно-посадочных комплексов с орбитальными системами. Стеганографический репозиторий хранит в различных библиотеках, в частности, различные значения разных характеристик пилотируемых и беспилотных модулей, параметры моделирования процессов интерактивной визуализации и внешнего вида средств выведения (ракет) тяжелого класса, конструирования технологических процессов и систем, проектирования космических кораблей различного назначения. Встроенный режим идентификации и аутентификации пользователей позволяет защитить в стеганографическом репозитории данные, в частности, по инновационным программно-аппаратным и конструктивно-технологическим решениям для космических кораблей различных типов и модификаций, а также по параметрам вывода на орбиту разных грузов, выполнения операций по доставке различных грузов с орбиты - на Землю и с Земли – на орбиту (например, луноходов – с последующей доставкой на поверхность Луны).

**Третий пример**: применение CALS, CASE, OLAP и OLTP технологий с использованием технологий компьютерной стеганографии, в частности, стеганографических блокчейн–приложений – логистика. В библиотеках стегорепозитория хранятся данные о транспортировке грузов на логистических модулях (например, от Земли – к МКС, от МКС – к МОС, от МОС – к Луне). Хранятся также данные об уровне материального обеспечения космических станций и прогнозе динамике изменения по различным показателям, грузопассажирском трафике по разным космическим маршрутам различной степени загруженности, этапах сборки разных космических станций, моделировании взлетно-посадочных космических модулей и их подсистем (в частности, для хранения грунта, пищевых продуктов, резервных источников питания). В стеганографическом репозитории допустимо хранение массивов данных с разным уровнем доступа, например, по особенностям конструкции луноходов разных типов и миссий (полярный, экспедиционный, грузовой, пассажирский, грузопассажирский и т.д.), моделированию их применения для геологической разведки на разных участках Луны (полярных, околополярных, среднеширотных, экваториальных). В библиотеки стеганографического репозитория заносятся различные данные о планетарных миссиях: загрузке контейнеров для отправки (например, с Земли, МКС, МОС, Луны); проведении стыковочных операций на разных участках станций; моделировании стыковки с учетом технологических особенностей и ресурса узлового модуля; этапах сборки новых станций и стадиях ремонта отдельных модулей. Библиотеки стегорепозитория сохраняют различные данные о параметрах и функциях разных компонентов (модулей, двигательных установок и т.д.), регламентах их обслуживания, необходимости их дозаправки топливом, моделирования процессов поведения в различных нештатных ситуациях и визуализации разных этапов с применением суперкомпьютерных технологий.

Не менее важное направление разработки технологий защиты информации для транспортных систем с применением стеганографических блокчейн–приложений [5] для аэрокосмического комплекса ориентировано на профессиональную подготовку экипажей аэрокосмической отрасли и оценку их действий в различ-

ных условиях и на разных этапах (например, предполетная подготовка, полет, послеполетное восстановление или реабилитационные мероприятия). Они применяются также для разработки индивидуальных тренажерных программ для Системы подготовки космонавтов, методик отборов в Отряд космонавтов Роскосмоса [6], подготовки космонавтов к работе в лабораториях на орбите и Луне, представления оперативной информации экипажам различных сегментов МКС. Стегорепозитории и технологии блокчейн применимы для изучения возможностей космонавтов по выполнению работ, связанных с исследованиями в ближнем и дальнем космосе, для анализа статистических данных орбитальных экспериментов, для оценки степени стрессоустойчивости и общего психоэмоционального состояния космонавта при подготовке к полету и в ходе полета. Технологии CALS, CASE, OLAP и OLTP в стеганографических блокчейн–приложениях используются для анализа выполнения полетных заданий с системой качественных оценок на разных этапах, участия в федеральных и международных программах фундаментальных и прикладных исследований, космических исследованиях с применением астрономических методов навигации для отработки механизмов стыковки и расстыковки в пилотируемых и беспилотных полетах. Технологии блокчейн и стегорепозитории позволяют повысить качество выполнения работ на орбите. Например, это важно для работ систем функционально-моделирующих стендов, для космических экспертных систем и систем искусственного интеллекта, для инструментальных средств разработки ПП по тестированию компонентов космического корабля в различных условиях эксплуатации, а также для определения и выявления правовых пробелов и внутренних и внешних противоречий в законодательной базе, регулирующей космические исследования.

Наконец, разработка стеганографических блокчейн–приложений для аэрокосмического комплекса способствует повышению уровня управления качеством в транспортных системах и обеспечивает высокий уровень сертификации отраслевых производств [7-8]. Применение технологий CALS, CASE, OLAP и OLTP положительно сказывается на результативности интегрированных систем менеджмента качества, скорости работы хранилищ данных и репозиторных систем с оцифрованными моделями изделий космических аппаратов, формировании высокопродуктивной технологической среды для проведения испытаний в космосе, а также на эффективности применения средств авиационной и космической техники, оценке рисков при эксплуатации грузовых и пассажирских самолетов [9]. При внедрении в промышленное производство стегорепозиториев и блокчейн–технологий не следует забывать о необходимости повышения уровня образования, в частности, в аэрокосмической отрасли [10]. На базе ряда ПП разрабатывается ряд учебных курсов по ключевым учебным дисциплинам (например, «Робототехника», «Современные информационные технологии», «Системы защиты информации», «Теоретическая механика», «Математическое моделирование физико-химических процессов», «Управление летательным аппаратом», «Конструирование авиационных двигателей», «Методы проведения исследование в летательных лабораториях», «Современные технологии дирижаблестроения»).

**Выводы**

1. В современных транспортных предприятиях активно внедряются программные продукты с концепцией жизненного цикла (ЖЦ) продукции и технологиями непрерывной поддержки ЖЦ продукции (Continuous Acquisition and Life-cycle Support, CALS), компьютерного проектирования программных систем (Computer-Aided Software Engineering, CASE), оперативной аналитической обработки данных (On-Line Analytical Processing, OLAP) и оперативной обработки транзакций (On-Line Transaction Processing, OLTP). Применение компьютерной стеганографии, в частности, стеганографических блокчейн–приложений повышает уровень защиты данных и минимизирует риски несанкционированного доступа к информационным ресурсам.

2. Одним из результатов проведенного научного исследования стала разработка автором технологии, позволяющей создавать стеганографические блокчейн-приложения для транспортной сферы: например, для аэрокосмического комплекса. Технология основана на принципах построения информационных хранилищ и репозиторных систем, предназначенных для высокоскоростной обработки данных. Применение, помимо криптографических, также и стеганографических технологий, существенно повышает уровень защиты от взлома и несанкционированного доступа при применении высокоскоростных вычислительных систем – например, суперкомпьютеров и квантовых компьютеров. Авторская разработка с уровнем релевантности «А» защищена патентом на изобретение в России и за рубежом [11].

3. Допустимо формулирование «Золотого правила защиты информации». Защиты данных 100%-ой не существует, на каждый фиксированный момент времени допустимо создание систем защиты информации (СЗИ) и ПП с уровнем защиты выше уровня современных систем взлома информационных комплексов (СВИК) и несанкционированного доступа к данным (НДД). Развитие и рост соответствующих рынков услуг и программно-технических решений стимулирует разработчиков СЗИ на создание СЗИ нового поколения, что, в свою очередь, приводит к появлению новых СВИК и НДД.

**Литература**

1. Бетелин В.Б. Суперкомпьютерные технологии в России: состояние и проблемы развития // Вестник Российской академии наук, 2015, т. 85, № 11. – С. 971-975.

2. Якунин В.И., Осипов Г.В., Садовничий В.А. Интегральный проект солидарного развития на Евро-Азиатском континенте (научно-практическая концепция) // Нефтегазопромысловый инжиниринг, специальный выпуск № 10: итоги-2014 и прогноз-2015. – С. 36-46.

3. Королев А. Сопровождение деятельности специализированных компаний: практический опыт // Энциклопедия российской секьюритизации – 2017» // СПб.: «Любавич», 2017 // С.147-151.

4. Мелани Свон. Блокчейн: Схема новой экономики. – Олимп-Бизнес, 2016. – С. 17.

5. Генкин А., Михеев А. Блокчейн. Как это работает и что ждет нас завтра. — М.: Альпина Паблишер, 2017. – С. 177.

6. Аристов С.А. Перспективные решения в сфере кадрового обеспечения транспортной отрасли // Транспорт Российской Федерации, № 1 (74), 2018. – С.3-5.

7. Горелик А.Л., Шабаров В.В. Ситуационный анализ промышленных корпораций // Вопросы оборонной техники, № 1 (302), 2001. // С. 8.

8. Горелик А.Л., Тимушев А.Г., Шабаров В.В. Организация внутреннего консалтинга промышленных корпораций // Тяжёлое машиностроение, № 6, 2001. // С. 16-20.

9. Горелик А.Л., Раткин Л.С. Об устойчивости корпоративных информационных сетей // Вопросы оборонной техники, № 2 (315), 2003. – С. 43-45.

10. Раткин Л.С. О необходимости создания Аэрокосмической молодежной секции при Научном совете Российской академии наук по изучению и охране культурного и природного наследия // XLIII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П.Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства (Москва, 29 января – 1 февраля 2019 года). – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2019, том 2, стр. 10-11.

11. Раткин Л.С. Патент на изобретение № 2322693.

**Сведения об авторе**

**Раткин Леонид Сергеевич**, к.т.н., начальник отдела научных разработок научно-производственного предприятия «АРГМ», действительный член Российской инженерной академии, Академии технологических наук РФ, Европейской академии естественных наук и Международной академии информатизации, член-корр. Российской академии естественных наук и Международной инженерной академии, офицер запаса.

Адрес АРГМ: 127006, г. Москва, ул. Долгоруковская, 5.
Тел. 8-915-450-77-67 моб., (499) 251-85-32 служ.
E-mail: rathkeen@bk.ru.

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ
## THE INFORMATION FOR AUTORS

### ПРАВИЛА
### направления, опубликования и рецензирования научных статей

1. К рассмотрению принимаются рукописи, отражающие результаты оригинальных исследований. Содержание рукописи должно относиться к тематике журнала, соответствовать его научному уровню, обладать определенной новизной и представлять интерес для широкого круга читателей журнала.
2. Опубликованные материалы, а также рукописи, находящиеся на рассмотрении в других изданиях, к публикации не принимаются.
3. Редакционная коллегия, а также рецензенты принимают на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи.
4. Рукопись должна содержать постановку задачи, исследование, библиографические ссылки и выводы.
5. К рассмотрению принимаются рукописи объемом не более одного авторского листа (авторский лист содержит 40 тыс. знаков, включая пробелы). Статьи принимаются в распечатанном виде и по электронной почте.
6. **Рукопись статьи должна быть представлена в следующем составе и последовательности:**

- перед названием статьи должно быть указан индекс УДК;
- название статьи на русском языке, под ним – фамилия автора (авторов) с указанием учёной степени, звания, места работы или учёбы;
- название статьи на английском языке, под ним – в латинской транслитерации фамилия автора (авторов) и на английском языке указание учёной степени (например, Doctor (Tech .), Ph. D.(Econ.)), звания (например, Professor, Associate Professor), места работы или учёбы;
- ключевые слова на русском языке, под ними - ключевые слова на английском языке (не менее пяти слов) (курсивом);
- аннотация (краткий реферат) не более 10 строк на русском языке, под ней - аннотация на английском языке (курсивом);
- текст, напечатанный шрифтом Times New Roman, кегль 14, через полтора интервала, в одну колонку, с полями не менее 20 мм, с пронумерованными страницами, с указанием номеров рисунков, рисунками, подрисуночными подписями и необходимыми к ним пояснениями. **Все рисунки должны быть черно-белыми, без оттенков, четко выполненными.** Рукопись не должна содержать более 10 рисунков и 5 таблиц;
- список использованной литературы (библиография) - не менее десяти источников, желательно использование также зарубежных источников;
- сведения об авторах: фамилия, имя и отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы и (или) учебы (полностью), адрес учреждения (с почтовым индексом) (домашний адрес не указывается), контактные телефоны (в том числе мобильный), e-mail;
- подписи авторов с указанием даты отправки рукописи.

7. **Рукопись должна быть представлена также на электронном носителе** (в программе Microsoft Word , шрифт Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5, расположение в одну колонку).

Текст и каждый рисунок должны быть представлены отдельными файлами:

- текста статьи – в формате DOC или RTF, имя файла текста статьи должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации (например, Karpuhin.doc)
- рисунки – в одном из форматов: TIFF, JPEG, GIF, EPS. Имя файла каждого рисунка должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации, дополненного знаком «подчеркивание» и номером рисунка в статье (например, Karpuhin_1.tif ; Karpuhin_2.tif и т.д.).

8. При написании математических формул, подготовке графиков, диаграмм, блок-схем не допускается применение размеров шрифтов менее № 8 (за исключением индексов). Таблицы, рисунки и формулы являются частью текста и должны допускать электронное редактирование. Сложные математические формулы должны быть представлены как встроенные в Word объекты Microsoft Equation (Math Type).
9. Ссылки на литературу даются в порядке упоминания; в тексте номер ссылки ставится в квадратные скобки. Список использованных источников приводится в конце рукописи под заглавием «Литература». Библиографические описания в этом списке литературы оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.
10. **К рукописи статьи прилагается экспертное заключение** о возможности публикации статьи в открытой печати, заверенное подписью и печатью.
11. Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. К рецензированию могут привлекаться члены Редакционной коллегии.
12. Редакция издания направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию сборника соответствующего запроса.

**Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, редакцией не рассматриваются.**

13. Все публикации в сборнике бесплатные. Авторские экземпляры научных сборников заказываются за плату.
14. Полные тексты статей сборника публикуются с отставанием на 12 мес. с момента выхода из печати и находятся в свободном доступе на сайте ВИНИТИ РАН (Раздел «Издания и продукты»). – URL: http://www.viniti.ru/products/publications/pub-12187#issues.
15. Полное содержание журнала и метаданные статей (по мере выхода) находятся в свободном доступе на сайте НЭБ. – URL: http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1367223

**ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**предлагает научным работникам, аспирантам и другим специалистам в области естественных, точных и технических наук, желающим быстро и эффективно опубликовать результаты своей научной и научно-производственной деятельности, использовать способ публикации своих работ через** *систему депонирования.*

**Депонирование (передача на хранение) –** особый метод публикации научных работ (отдельных статей, обзоров, монографий, сборников научных трудов, материалов научных конференций, симпозиумов, съездов, семинаров), разрешенных в установленном порядке к открытому опубликованию.

Подготовка и передача на депонирование научных работ происходит в соответствии с «Инструкцией о порядке депонирования научных работ по естественным, техническим, социальным и гуманитарным наукам» (М., 2014).

Депонированные научные работы находятся на хранении в депозитарии ВИНИТИ РАН, копии работ предоставляются заинтересованным организациям и специалистам на бумажном и электронном носителях и являются официальной публикацией.

Информация о депонированных научных работах включается в информационные издания ВИНИТИ РАН: Реферативный журнал, Базу данных и Аннотированный библиографический указатель «Депонированные научные работы».

Направить научную работу на депонирование можно, обратившись в Группу депонирования ЦНИО ВИНИТИ РАН по адресу:

**125190, Москва, ул. Усиевича, 20.**
**ВИНИТИ РАН, Группа депонирования ЦНИО**
**Тел.: 499-155-43-28, 499-155-43-76, 499-155-42-43, Факс: 499-943-00-60,**
**E-mail: cnio@viniti.ru, dep@viniti.ru**

С инструкцией о порядке депонирования можно ознакомиться на сайте ВИНИТИ РАН: **http://www.viniti.ru**