

## Принятие решений по этапному изменению облика и мощности мультимодальной транспортной сети

Н. С. Нестерова<sup>1</sup>✉, В. А. Анисимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ mer-maid2@yandex.ru

### Резюме

В статье предложена методика принятия решений по этапному изменению облика и мощности мультимодальной транспортной сети для методологии проектирования ее развития. Мультимодальная транспортная сеть формируется из объектов единой транспортной сети: мультимодальных транспортных узлов и транспортных звеньев различных видов транспорта как совокупность мультимодальных транспортных коридоров. Предлагаемая методика является инструментом методологии, с помощью которого лицо, принимающее решение, выбирает из сформированной области эффективных стратегий развития мультимодальной транспортной сети наилучшую. Для учета неопределенности сценариев социально-экономического развития страны, ее регионов, конъюнктуры на мировых рынках экспортного минерального сырья, международной геополитической ситуации и других факторов, влияющих на принятие решения, используются расчетные случаи. Они задают вариативность условий реализации стратегий. Математическая модель расчетного случая включает в себя: вариант сценария социально-экономического развития исследуемого региона, вариант потребных объемов перевозок по мультимодальным транспортным коридорам и соответствующую им расчетную схему облика мультимодальной транспортной сети. Область эффективных стратегий формируется для каждого расчетного случая. Выбор наилучшей стратегии возможен, во-первых, из области эффективных стратегий, сформированной по одному расчетному случаю; во-вторых, из объединенной по всем расчетным случаям области эффективных стратегий; в-третьих, из множества эффективных стратегий, обеспечивающих освоение потребных объемов перевозок в нескольких расчетных случаях. Лицо, принимающее решение, при выборе стратегий использует сбалансированную систему показателей как инструмент многокритериальной оценки стратегий изменения облика и мощности мультимодальной транспортной сети. Совокупность сбалансированных показателей позволяет оценить эффективность стратегий с учетом возможных социально-экономических последствий их реализации для общества в целом, экономики страны, транспортной отрасли, а также оценить привлекательность инвестиционного проекта для его потенциальных участников.

### Ключевые слова

мультимодальная транспортная сеть, стратегия развития, транспортный коридор, транспортный узел, область эффективных стратегий, расчетный случай, сбалансированная система показателей

### Для цитирования

Нестерова Н. С. Принятие решений по этапному изменению облика и мощности мультимодальной транспортной сети / Н. С. Нестерова, В. А. Анисимов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 4 (72). – С. 59–67. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.4(72).59-67

### Информация о статье

поступила в редакцию: 10.09.2021, поступила после рецензирования: 15.09.2021, принята к публикации: 11.10.2021

## Decision-making to gradually change the appearance and capacity of the multimodal transport network

N. S. Nesterova<sup>1</sup>✉, V. A. Anisimov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, the Russian Federation

<sup>2</sup> Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, the Russian Federation

✉ mer-maid2@yandex.ru

### Abstract

A method of decision-making on the step-by-step change of the appearance and capacity of a multimodal transport network for the methodology of designing its development is proposed. A multimodal transport network is formed with the objects of a single transport network: multimodal transport hubs and transport links of various types of transport, as a set of multimodal transport corridors. The proposed methodology is a methodological tool, by which the decision-maker chooses the best one from the formed area of effective strategies for the development of a multimodal transport network. Calculation cases are used to take into account the uncertainty of the scenarios of the socio-economic development of the country, its regions, the conjuncture on the

world markets of export mineral raw materials, the international geopolitical situation and other factors affecting the decisions to be made. They set the variability of the conditions for the implementation of strategies. The mathematical model of the calculated case includes: a variant of the scenario of the socio-economic development of the studied region, a variant of the required volumes of traffic along multimodal transport corridors and the corresponding calculation scheme of the appearance of the multimodal transport network. The area of effective strategies is formed for each calculation case. Choosing the best strategy is possible: 1) from the area of effective strategies formed for one calculated case; 2) from the area of effective strategies combined for all calculated cases; 3) from a variety of effective strategies that ensure the development of the required traffic volumes in several calculated cases. The decision-maker, when choosing strategies, uses a balanced system of indicators as a tool for multi-criteria evaluation of strategies for changing the appearance and capacity of a multimodal transport network. The combination of balanced indicators makes it possible to assess the effectiveness of strategies, taking into account the possible socio-economic consequences of their implementation for society as a whole, the country's economy, the transport industry, as well as to assess the attractiveness of an investment project for its potential participants.

### Keywords

multimodal transport network, development strategy, transport corridor, transport hub, area of effective strategies, calculation case, balanced scorecard

### For citation

Nesterova N. S., Anisimov V. A. Prinyatie resheniy po ehtapnomu izmeneniyu oblika i moshhnosti mul'timodal'noy transportnoy seti [Decision-making to gradually change the appearance and capacity of the multimodal transport network]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 4 (72), pp. 59–67. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.4(72).59-67

### Article Info

Received: 10.09.2021, Revised: 15.09.2021, Accepted: 11.10.2021

### Введение

В Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. (далее – Стратегия) обозначены основные общесистемные проблемы развития транспортной отрасли страны [1]. Выделим из них те, которые особенно актуальны на текущий момент для Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны России:

- наличие территориальных и структурных диспропорций в развитии транспортной инфраструктуры;
- недостаточный уровень доступности транспортных услуг для населения, мобильности трудовых ресурсов;
- недостаточное качество транспортных услуг;
- низкий уровень экспорта транспортных услуг, в том числе использования транзитного потенциала.

Основные мероприятия Стратегии направлены на решение перечисленных проблем. В качестве ограничений приняты заданные уровни безопасности и экологичности транспорта, при этом разработаны три сценарных варианта – инерционный, энергосырьевой и инновационный.

Во всех сценарных вариантах Стратегия указывает на приоритетность реализации транзитного потенциала страны и опережающего развития транспортной инфраструктуры на

направлениях экспортных поставок грузов, в первую очередь развитие морских портов и подходов к ним. При этом требуется совместить рост добычи, переработки и транспортировки к морским портам запасов природных ресурсов общемирового значения и реализацию транзитного потенциала на направлениях с экспортными перевозками грузов. Задача очень сложная вследствие ее большой размерности, а также неопределенности социально-экономического развития страны и регионов, конъюнктуры на мировых рынках экспортного минерального сырья и международной геополитической ситуации, и требует научно-методологического сопровождения ее реализации.

Анализ отечественных и зарубежных научных исследований ученых и специалистов транспортной сферы [2–26] показал, что разработки модели, методы и методики решения однокритериальных и многокритериальных, детерминированных и недетерминированных, статических и динамических задач развития участков, звеньев, узлов, направлений и отдельных транспортных коридоров. Для того чтобы их использовать в качестве инструментов единой методологии проектирования развития многовидовой транспортной инфраструктуры, необходима их модификация. В [27–32] предложены и разработаны понятия, модели и методики, объединенные в методоло-

гию проектирования развития мультимодальной транспортной сети (МТС) (далее – Методология) с учетом логических и функциональных связей задач развития транспортной инфраструктуры для мультимодальных транзитных и экспортно-импортных перевозок.

Для уменьшения размерности задач развития МТС в Методологии предлагается формировать ее из объектов единой транспортной сети как совокупности мультимодальных транспортных коридоров (МТК), состоящих из мультимодальных транспортных узлов (МТУ) и транспортных звеньев (ТЗ) различных видов транспорта [27].

Методология разработана и изложена в [27–30], ее функциональная структура представлена:

- постановкой проблемы проектирования развития МТС;
- формированием вариантов облика МТС;
- формированием возможных стратегий этапного изменения облика и мощности объектов МТС;
- формированием области эффективных стратегий этапного изменения облика и мощности МТС;
- выбором наилучшего решения из области эффективных стратегий этапного изменения облика и мощности МТС с учетом принятых ограничений;
- научно-методологическим сопровождением реализации принятой стратегии формирования и развития МТС [27].

В данной статье рассмотрим подробнее разработанную методику принятия решений по этапному изменению облика и мощности МТС, которую авторы предлагают использовать для выбора наилучшего решения из области эффективных стратегий с учетом вариативности условий их реализации.

### Методика принятия решений

В [27, 28] с применением теории систем разработаны теоретико-множественные модели МТС, МТК, МТУ, ТЗ и стратегий их развития, являющиеся математической основой методологии проектирования МТС. С помощью данных моделей, применяя четырехуровневую декомпозицию МТС, объединяют результаты решения локальных задач развития объектов МТС в единую стратегию.

В [29] предложена методика формирования исходного множества возможных стратегий изменения облика и мощности объектов МТС  $Str^{g^o}(t) = \{\Omega_{ИМС_{irs}}\}$ , из которых агрегируют исходное множество стратегий развития МТС  $Str^{MTN}(t) = \{\Omega_{ИМС_{irs}}^{MTN}\}$  для каждого расчетного случая  $RS = \{RS_{i_{rs}} | i_{rs} = \overline{1, n_{rs}}\}$ .

С помощью расчетных случаев задают вариативность условий реализации стратегий. Они позволяют учесть влияние политических, экономических, социальных и других факторов, воздействующих на развитие МТС извне.

Математическая модель расчетного случая предложена в [30] и включает в себя сценарий социально-экономического развития исследуемого региона  $scr_{i_{scr}} = \{\Gamma_{i_{scr}}, A_{i_{scr}}, K_{i_{scr}}\}$ , вариант потребных объемов перевозок по мультимодальным транспортным коридорам  $VG_{i_{vg}}$  и соответствующую им расчетную схему облика МТС  $Rsch_{i_{Rsch}}$ , где  $\Gamma_{i_{scr}}$  – потребные объемы перевозок при  $i_{scr}$ -м сценарии без учета транспортных потоков по МТК;  $A_{i_{scr}}$  – тарифы на перевозки при  $i_{scr}$ -м сценарии;  $K_{i_{scr}}$  – возможный объем инвестиций при  $i_{scr}$ -м сценарии. По сценариям определяются варианты загрузки объектов МТС транспортными потоками по годам расчетного периода и направлениям движения:

$$\Gamma_{i_{scr}}^{g^o}(t) = \sum_{dir(g^o)} \Gamma_{i_{scr}}^{g^o, dir(g^o)}(t),$$

где  $dir(g^o)$  – направления движения транспортных потоков на объекте МТС [27].

При агрегировании исходного множества  $Str^{MTN}(t)$  для каждого расчетного случая по уровням декомпозиции МТС сначала определяют допустимые множества стратегий развития ТЗ –  $\Omega_{ДМС_{irs}}^{ZV}$ , МТУ –  $\Omega_{ДМС_{irs}}^{MTY}$ , МТК –  $\Omega_{ДМС_{irs}}^{MTK}$ , исключая из исходных множеств стратегии с потребным объемом инвестиций, превышающим возможный в соответствующем расчетному случаю сценарии. Затем на сетевом уровне декомпозиции для каждого  $RS_{i_{rs}}$  из  $\Omega_{ИМС_{irs}}^{MTN}$  выделяют допустимое множество

$\Omega_{\text{ДМС}_{i_{rs}}}^{\text{MTN}}$ , в котором все стратегии удовлетворяют условию  $K(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) \leq K_{i_{scr}(i_{rs})}(t)$ .

В [31] приведено описание методики формирования области эффективных стратегий (ОЭС) развития МТС  $Str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}(t)^*$ , народнохозяйственная эффективность которых положительна.

ОЭС используется в методологии для выбора наилучшей стратегии этапного изменения облика и мощности МТС.

Выбор наилучшей стратегии возможен:

1. Из области эффективных стратегий  $Str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}(t)^*$ , сформированной по одному расчетному случаю  $i_{rs}$ .

2. Из объединенной по всем расчетным случаям области эффективных стратегий  $\bigcup_{i_{rs} \in RS} Str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}(t)^*$ ,  $RS = \{RS_{i_{rs}} \mid i_{rs} = \overline{1, n_{rs}}\}$ .

3. Из множества эффективных стратегий  $\bigcap_{i_{rs} \in RS} Str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}(t)^* \neq \emptyset$ ,  $RS = \{RS_{i_{rs}} \mid i_{rs} = \overline{1, n_{rs}}\}$ , обеспечивающих освоение потребных объемов перевозок в нескольких расчетных случаях.

Лицо, принимающее решения (ЛПР), при выборе использует инструмент многокритериальной оценки стратегий изменения облика и мощности МТС, разработанный на основе сбалансированной системы показателей (ССП). Совокупность сбалансированных показателей позволяет оценить эффективность стратегий с учетом возможных социально-экономических последствий их реализации для общества в целом, экономики страны, транспортной отрасли, а также оценить привлекательность инвестиционного проекта для его потенциальных участников [32].

Рассмотрим три варианта математической постановки задачи принятия решения по этапному изменению облика и мощности МТС на основе использования СПП:

1. Из области эффективных стратегий развития МТС выбрать такую стратегию, для которой при заданных инвестициях все критерии цели будут максимальны:

$$\left. \begin{aligned} & K(t, Str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) \leq K_{i_{scr}(i_{rs})}(t), \\ & \left. \begin{aligned} & \mathcal{E}_{\text{общ}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}), \mathcal{E}_{\text{нх}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}), \mathcal{E}_o(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}), \\ & tm(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}), \Delta t_{\text{д(сп)}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}), \Delta t_{\text{д(нс)}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}), \\ & K_z(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) - \Delta t_{\text{ном}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) \end{aligned} \right\} \rightarrow \max \end{aligned}$$

где  $K(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})$  – потребные инвестиции для реализации стратегии, млн руб.;  $K_{i_{scr}(i_{rs})}(t)$  – заданные инвестиции, т. е. возможный объем инвестиций в соответствующем расчетном случае сценарии социально-экономического развития исследуемого региона, млн руб.;  $\mathcal{E}_{\text{общ}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})$  – общественная эффективность, млн руб.;  $\mathcal{E}_{\text{нх}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})$  – народнохозяйственная эффективность, млн руб.;  $\mathcal{E}_o(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})$  – отраслевая эффективность, млн руб.;  $tm(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})$  – транспортная мобильность населения, тыс. пасс.-км на 1 чел. в год;  $\Delta t_{\text{д(сп)}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})$  – сокращение времени доставки грузов, ч;  $\Delta t_{\text{д(нс)}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})$  – сокращение времени доставки пассажиров, ч;  $\Delta t_{\text{ном}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})$  – задержки в доставке грузов из-за отказов в работе объектов МТС, ч;  $K_z(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})$  – коэффициенты готовности МТС к освоению потребного объема перевозок.

2. Из области эффективных стратегий развития МТС выбрать стратегию, для которой выполняются следующие условия:

$$\begin{aligned} & 3(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) \rightarrow \min, \\ & \mathcal{E}_{\text{общ}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) \geq \mathcal{E}_{\text{общ}}^{\text{зад}}, \\ & \mathcal{E}_{\text{нх}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) \geq \mathcal{E}_{\text{нх}}^{\text{зад}}, \\ & \mathcal{E}_o(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) \geq \mathcal{E}_o^{\text{зад}}, \\ & tm(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) \geq tm^{\text{зад}}, \\ & \Delta t_{\text{д(сп)}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) \geq \Delta t_{\text{д(сп)}}^{\text{зад}}, \\ & \Delta t_{\text{д(нс)}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) \geq \Delta t_{\text{д(нс)}}^{\text{зад}}, \end{aligned}$$

$\Delta t_{\text{ном}}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) \leq \Delta t_{\text{ном}}^{\text{зад}}$ ,  $\{K_z(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})\} \geq K_z^{\text{зад}}$ , где  $\mathcal{E}_{\text{общ}}^{\text{зад}}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{нх}}^{\text{зад}}$ ,  $\mathcal{E}_o^{\text{зад}}$ ,  $tm^{\text{зад}}$ ,  $\Delta t_{\text{д(сп)}}^{\text{зад}}$ ,  $\Delta t_{\text{д(нс)}}^{\text{зад}}$ ,  $\Delta t_{\text{ном}}^{\text{зад}}$ ,  $K_z^{\text{зад}}$  – заданные значения критериев.

3. Используя метод идеальной точки, из области эффективных стратегий развития МТС выбрать стратегию с наилучшим соотношением значений всех критериев цели:

$$\rho(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}}) = \sqrt{\sum_{i_c=1}^{n_c} \lambda_{i_c} R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $\rho(t, str_{i_{rs}}^{\text{MTN}})$  – обобщенный критерий, определяющий расстояние в  $n_c$ -мерном пространстве до некоторой «идеальной» точки с наилучшими значениями критериев цели;  $i_c$  –

порядковый номер критерия цели;  $n_c$  – количество критериев цели;  $\lambda_{i_c}$  – весовые коэффициенты (приоритеты), учитывающие значимость каждого критерия в общей оценке стратегии и назначаемые экспертной группой, при выполнении условий:

$$\sum_{i_c=1}^{n_c} \lambda_{i_c} = 1, \lambda_{i_c} > 0, \quad (2)$$

где  $R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{MTN})$  – нормализованные критерии цели, приведенные к безразмерному виду на основании интервалов их максимального изменения и определяемые по следующим формулам:

– максимизируемые критерии цели –

$$\begin{aligned} & (\mathcal{E}_{общ}(t, str_{i_{rs}}^{MTN}), \mathcal{E}_{нх}(t, str_{i_{rs}}^{MTN}), \mathcal{E}_o(t, str_{i_{rs}}^{MTN}), \\ & tm(t, str_{i_{rs}}^{MTN}), \Delta t_{\partial(зр)}(t, str_{i_{rs}}^{MTN}), \Delta t_{\partial(нс)}(t, str_{i_{rs}}^{MTN}), \\ & K_z(t, str_{i_{rs}}^{MTN}) - \Delta t_{nom}(t, str_{i_{rs}}^{MTN})): \\ R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{MTN}) &= \frac{\max R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{MTN}) - R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{MTN})}{\max R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{MTN}) - \min R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{MTN})}; \end{aligned} \quad (3)$$

– минимизируемый критерий цели ( $\mathcal{Z}(t, str_{i_{rs}}^{MTN})$ ):

$$R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{MTN}) = \frac{R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{MTN}) - \min R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{MTN})}{\max R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{MTN}) - \min R_{i_c}(t, str_{i_{rs}}^{MTN})}. \quad (4)$$

На основе предложенных трех вариантов математической постановки задачи принятия решения предлагается следующая методика принятия решения по этапному изменению облика и мощности МТС:

1. Используя информационную систему управления проектом развития МТС [27] и экспертные оценки влияния внешних (природно-климатических, экономических, политических, социальных) и внутренних (надежность функционирования объектов МТС, обеспеченность трудовыми ресурсами требуемого уровня квалификации, стоимость мониторинга программ и мероприятий по изменению облика и мощности объектов МТС) факторов на развитие МТС, определяются вероятности реализации расчетных случаев и выбирается ОЭС:

–  $Str_{i_{rs}}^{MTN}(t)^*$  – если будет выявлен расчетный случай  $i_{rs}^*$ , который будет иметь высокую вероятность реализации по сравнению с другими;

–  $\bigcup_{i_{rs} \in RS} Str_{i_{rs}}^{MTN}(t)^*$ ,  $RS = \{RS_{i_{rs}} | i_{rs} = \overline{1, n_{rs}}\}$  – если вероятности реализации расчетных случаев близки;

$$- \bigcap_{i_{rs} \in RS} Str_{i_{rs}}^{MTN}(t)^* \neq \emptyset, RS = \{RS_{i_{rs}} | i_{rs} = \overline{1, n_{rs}}\} -$$

если вероятности реализации расчетных случаев близки и множество эффективных стратегий, обеспечивающих освоение потребных объемов перевозок в заданных расчетных случаях, не являются пустыми.

2. Выбирают вариант математической постановки задачи.

3. Если выбран первый или второй вариант, то для принятия решения используют модифицированный метод динамического программирования – обобщенный алгоритм Кеттеля [33], с помощью которого формируется полное множество Парето-оптимальных решений, являющихся основой для выбора наилучшей стратегии этапного изменения облика и мощности МТС. Для этого выполняют следующие действия:

– ранжируют критерии цели;

– определяют для каждой стратегии ОЭС значения критериев цели с первым и вторым уровнями приоритета;

– применяя алгоритм Кеттеля, строят доминирующую последовательность стратегий, исключая неконкурентоспособные стратегии по критериям первого и второго уровней приоритета;

– для оставшихся стратегий определяют значения критерия цели следующего уровня приоритета и повторяют предыдущий пункт с учетом данного критерия;

– действия предыдущего пункта последовательно выполняют для каждого следующего по приоритету критерия цели и, таким образом, применив последний критерий по приоритету, получают доминирующую последовательность стратегий для принятия решения;

– из полученной доминирующей последовательности стратегий принимают решение, удовлетворяющее условиям выбранной математической постановки задачи.

4. Если выбран третий вариант, то выполняют следующие действия:

– определяют весовые коэффициенты критериев цели с учетом условия (2), вычисляемых для всей МТС и отдельно для входящих в нее коридоров.

– для всех стратегий ОЭС вычисляют значения критериев цели и по (3) и (4), определяют их нормализованные значения;

– рассчитав по (1) обобщенный критерий, выполняют по нему ранжирование стратегий.

– из полученной последовательности выбирают стратегию с минимальным обобщенным критерием, а также стратегии, имеющие значения критерия близкие к минимальному.

Блок-схема предложенной методики представлена (рис. 1).

При работе ЛПП с областью эффективных стратегий развития МТС для наглядной визуализации значений критериев авторы рекомендуют один из компонентов сбалансированной системы показателей – «приборную панель» ЛПП, один из ее примеров приведен на рис. 2.

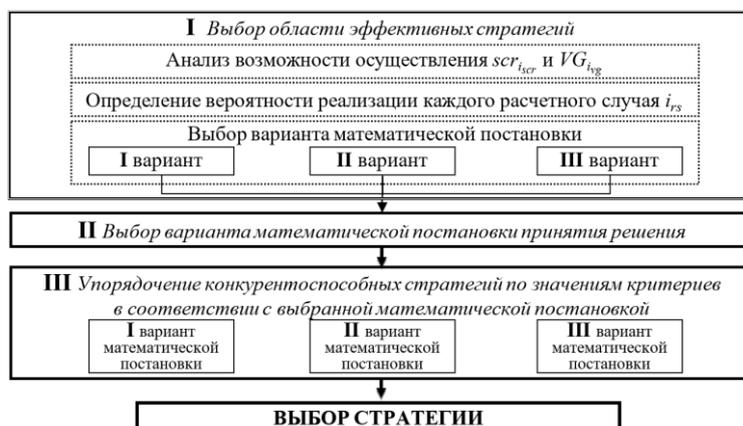


Рис. 1. Блок-схема методики принятия решения по этапному изменению облика и мощности мультимодальной транспортной сети

Fig. 1. Decision-making scheme for gradual change in the appearance and capacity of a multimodal transport network

Приоритет	Показатели Наименование	Заданные усл.		Стратегии развития МТС					
		min	max	17	16	15	...	11	...
1	Инвестиции в развитие МТС, млрд руб.		993	992,362	895,244	750,565		629,720	
2	Общественная эффективность, млрд руб.		18 00	1782	1676	1568		1325	
3	Народнохозяйственная эффективность, млрд руб.		1200	1139	1051	905		737	
4	Отраслевая эффективность, млрд руб.		-100	-92,362	-85,244	-70,565		-64,720	
5	Коэффициент готовности МТС к освоению потребного объема перевозок	0,950		0,981	0,980	0,977		0,968	
6	Транспортная мобильность населения, тыс. пасс.-км на 1 человека в год	14		16,8	16,0	15,3		14,6	
7	Задержки в доставке грузов из-за отказов в работе объектов МТС, часы		15000	9445	9859	12224		14961	
8	Сокращение времени доставки грузов, часы	24		52	48	39		26	
9	Сокращение времени доставки пассажиров, часы	36		62	54	48		40	

Рис. 2. Пример «приборной панели» для принятия решений по развитию мультимодальной транспортной сети

Fig. 2. An example of a decision-making ‘dash panel’ for the development of the multi-modal transport network

**Заключение**

Предложенная методика принятия решений по этапному изменению облика и мощности МТС является инструментом методологии, с помощью которого ЛПР выбирает из сформированной ОЭС развития МТС наилучшую стратегию. ЛПР имеет возможность учесть неопределенность факторов, влияющих на принятие решения. Выбор наилучшей стратегии осуществляется, по многокритериальной оценке, эффективности стратегий с учетом социально-экономических последствий их реализации для

общества, экономики, транспортной отрасли на основе сбалансированной системы показателей.

В качестве перспектив практической реализации методологии авторы предлагают ее использовать для формирования и развития региональной МТС Дальнего Востока, Сибири и Арктической зоны России с учетом сценариев социально-экономического развития страны, ее регионов, обозначенных в Стратегии, а также конъюнктуры на мировых рынках экспортного минерального сырья и международной геополитической ситуации [1, 34, 35].

**Список литературы**

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 11 июня 2014 г. № 1032-р. 2014. 495 с.
2. Свинцов Е.С. Регионально-транспортные исследования в современных условиях. М.: Маршрут, 2005. 301 с.
3. Цветков В.А., Зойдов К.Х., Медков А.А. Формирование новой эволюционной модели транспортно-коммуникационного взаимодействия России и Китая. М.: ЦЭМИ РАН, 2013. 231 с.
4. Цветков В.А., Зойдов К.Х., Медков А.А. О возможности и целесообразности организации транзита через Россию грузов между странами Тихоокеанского региона и Европы. М.: Депонент Соционет, 2013. 50 с.
5. Сазонов С.Л., Кудрявцев Е.С., У Цзы. Транспортная составляющая проектов сопряжения Европейского экономического союза и «экономического пояса шелкового пути» // Проблемы Дальнего Востока. 2015. № 2. С. 47–58.
6. Чумляков К.С., Чумлякова Д.В. Национальный транзитный потенциал в системе международных транспортных коридоров // Бюллетень транспортной информации. 2015. № 11(245). С. 8–13.
7. Быков Ю.А., Васильев А.Б., Фадеева В.А. Прогнозирование развития транспортных коридоров России в сообщении Европа – Азия // Транспорт Урала. 2015. № 1(44). С. 53–56.
8. Выков Y.A., Buchkin V.A., Fadeeva V.A., Guskova M.F. Prospects for the development of railway transport corridors between Europe and Asia and the methodology for their multicriteria evaluation // Proceedings of the 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies», IT and QM and IS 2017. 2017. С. 66–68.
9. Подвербный В.А., Холодов П.Н., Титов К.М. Методы принятия проектных решений в строительстве. Иркутск: ИрГУПС, 2010. 72 с.
10. Холодов П.Н. Выбор оптимального решения в проектировании железных дорог на основе многокритериальной оценки: дис. канд. техн. наук: 05.22.06 / Холодов Пётр Николаевич. Хабаровск: ДВГУПС, 166 с.
11. Перельгина А.А., Подвербный В.А. Принятие решения по выбору варианта трассы на горно-перевальном участке Восточно-Сибирской железной дороги // Вестник транспорта Поволжья. 2021. № 2 (86). С. 33–44.
12. Подвербный В.А., Перельгина А.А. Принятие решения по выбору типа укрепления водоотводных и нагорных канав на основе метода идеальной точки // Транспорт Урала. 2021. № 2 (69). С. 57–62.
13. Гавриленков А.В. Теоретические основы проектирования скоростных и высокоскоростных железнодорожных магистралей. Хабаровск: ДВГУПС, 2004. 213 с.
14. Подвербный В.А. Выбор варианта железной дороги на основе критерия нечеткой полезности // Транспортное строительство. 2000. № 7. С. 10–13.
15. Подвербный В.А. Выбор проектного решения в нечеткой среде на основе индексов ранжирования // Железнодорожный транспорт. Серия «Строительство. Проектирование»: ЭИ / ЦНИИТЭИ МПС. 2000. Вып. 2–3. С. 34–47.
16. Быков Ю.А., Сидраков А.А., Фадеева В.А. Формирование множества вариантов направления проектируемых железных дорог и оценка их конкурентоспособности // Качество. Инновации. Образование. 2020. № 1 (165). С. 44–49.
17. Drożdziel P. Prospects of international freight transport in the East-West direction / P. Drożdziel, B. Buková, E. Brumerčíková // Transport Problems. 2015. Vol. 10, no 4. pp. 5–13.
18. Zhang J, Liao F, Arentze T, Timmermans H 2011 Procedia Computer Science 5, pp. 912–919.
19. Zhang J, Liao F, Arentze T, Timmermans H 2011 Procedia Social and Behavioral Sciences 20, pp. 313–322.
20. Regmi M, Hanaoka S. Research in Transportation Business & Management 5, 2005. Pp. 27–37.
21. Reis V, Meier J, Pace G, Palacin R 2013 Research in Transportation Economics 41 (1), pp. 17–30.
22. Drożdziel P, Buková B, Brumerčíková E 2015 Transport Problems 10 (4), pp. 5–13.
23. Wang Y, Yeo G-T 2016 The Asian Journal of Shipping and Logistics 32 (1), pp. 41–47.
24. Dib O, Manier M-A, Moalic L, Caminada A 2017 Transportation Research Procedia 20 134–143.
25. Oberg M, Nilsson K, Johansson C. Transportation Research Procedia 25, 2017. pp. 3694–3702.
26. Stoilova S, Munier N, Kendra M, Skrúčaný T 2020 Sustainability, 12(4), 1482.
27. Нестерова Н.С. Методология проектирования мультимодальной транспортной сети: дис. ... д-ра техн. наук, специальность: 05.22.01 / Нестерова Наталья Станиславовна. Хабаровск, ДВГУПС, 2017. 387 с.
28. Nesterova N.S., Goncharuk S.M., Anisimov V.A., Anisimov A.V., Shvartsfeld V.S. Set-theoretic Model of Strategies of Development for Objects of Multimodal Transport Network. Procedia Engineering, Vol. 165 (2016), pp. 1547–1555.

29. Нестерова Н.С., Анисимов В.А. Формирование множества возможных стратегий этапного изменения облика и мощности объектов мультимодальной транспортной сети // Известия ПГУПС. 2019. Т.16, вып. 3. С. 329–338. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-3-329-338.

30. Natalia S. Nesterova, Sergey M. Goncharuk, Vladimir A. Anisimov, Aleksandr V. Anisimov. A Mathematical Model of the Estimated Cases for Designing a Multimodal Transport Network // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017, Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Т. 692. С. 177–183. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_19).

31. Nesterova N.S., Anisimov V.A. Effective strategies for multimodal transportation network // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGRO-MASH 2019. Vol. 403. С. 012204. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012204.

32. Нестерова Н.С., Анисимов В.А. Сбалансированная система показателей для оценки стратегий развития мультимодальной транспортной сети // Известия ПГУПС. 2016. Т. 13, вып. 2 (47). С. 197–205.

33. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. М.: Наука, 1984. 328 с.

34. Государственная программа Российской Федерации «Социально-экономическое развитие арктической зоны Российской Федерации» (утв. распоряжением Правительства РФ от 21 апреля 2014 г. № 336).

35. Anisimov V.A., Bogdanova L.A., Morozova O. S., Shkurnikov S.V., Nesterova N.S. Potential of the railways of the multimodal transport network of the Eastern Siberia and Far East of Russia // The 2020 International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region (SibTrans 2020) 11th-13th November 2020, Irkutsk, Russia, 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Vol. 1151, Pp. 012028.

### References

1. Transportnaya strategiya Rossijskoy Federatsii do 2030 goda [Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 (the decree of the Government of the Russian Federation no 1032-R of June 11, 2014)]. 2014. 495 p.

2. Svintsov E.S. Regional'no-transportnye issledovaniya v sovremennykh usloviyakh [Regional transport research in modern conditions]. Moscow: Marshrut Publ., 2005. 301 p.

3. Tsvetkov V.A., Zoidov K.Kh., Medkov A.A. Formirovanie novoy evolyutsionnoy modeli transportno-kommunikatsionnogo vzaimodejstviya Rossii i Kitaya [Formation of a new evolutionary model of transport and communication interaction between Russia and China]. Moscow: TSEMI RAN Publ., 2013. 231 p.

4. Tsvetkov V.A., Zoidov K.Kh., Medkov A.A. O vozmozhnosti i tselesoobraznosti organizatsii cherez Rossiyu gruzov mezhdru stranami Tikhookeanskogo regiona i Evropy [About the possibility and expediency of organizing the cargo transit through Russia between the countries of the Pacific region and Europe]. Moscow: Deponent Sopionet Publ., 2013. 50 p.

5. Sazonov S.L., Kudryavtsev E.S., U Tsy. Transportnaya sostavlyayuschaya proektov sopryazheniya Evropeiskogo ekonomicheskogo soyuza i «ekonomicheskogo poyasa shelkovogo puti» [Transport component of the projects of coupling the European Economic Union and the «Silk Road Economic Belt»]. *Problemy Dal'nego Vostoka [Problems of the Far East]*, 2015, No. 2, pp. 47–58.

6. Chumlyakov K.S., Chumlyakova D.V. Natsional'niy tranzitnyy potentsial v sisteme mezhdunarodnykh transportnykh koridorov [National transit potential in the system of international transport corridors]. *Byulleten' transportnoj informatsii [Bulletin of transport information]*, 2015, No. 11(245), pp. 8–13.

7. Bykov Yu.A., Vasiliev A.B., Fadeeva V.A. Prognozirovaniye razvitiya transportnykh koridorov Rossii v soobshhenii Evropa – Aziya [Prediction the development of transport corridors of Russia in the transport connection Europe-Asia]. *Transport Urala [Transport of the Urals]*, 2015, No. 1(44), pp. 53–56.

8. Bykov Y.A., Buchkin V.A., Fadeeva V.A., Guskova M.F. Prospects for the development of railway transport corridors between Europe and Asia and the methodology for their multicriteria evaluation. *Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2017*. 2017. pp. 66–68.

9. Podverbny V.A., Kholodov P.N., Titov K.M. Metody prinyatiya proektnykh resheniy v stroitel'stve [Methods of making design decisions in construction]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2010. 72 p.

10. Kholodov P.N. Vybor optimal'nogo resheniya v proektirovanii zheleznykh dorog na osnove mnogokriterial'noy otsenki: dis. ... kan. tekhn. nauk [Choosing the optimal solution in the design of railways based on a multi-criteria assessment: Ph.D. (Engineering) diss.]. Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2012. 166 p.

11. Perelygina A.A., Podverbnyj V.A. Prinyatie resheniya po vyboru varianta trassy na gorno-pereval'nom uchastke Vostochno-Sibirskoy zheleznoy dorogi [Making a decision on the choice of the route option on the mountain-perevalny section of the East Siberian Railway]. *Vestnik transporta Povolzh'ya [Bulletin of Transport of the Volga region]*, 2021, No. 2 (86), pp. 33–44.

12. Podverbnyj V.A., Perelygina A.A. Prinyatie resheniya po vyboru tipa ukrepleniya vodootvodnykh i nagornykh kanav na osnove metoda ideal'noy tochki [Decision-making on the choice of the type of strengthening of drainage and upland ditches based on the ideal point method]. *Transport Urala [Transport of the Urals]*, 2021, No. 2 (69), pp. 57–62.

13. Gavrilentsov A.V. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya skorostnykh i vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralей [Theoretical foundations of designing high-speed railway lines]. Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2004. 213 p.

14. Podverbnyj V.A. Vybor varianta zheleznoy dorogi na osnove kriteriya nechetkoy poleznosti [Choosing a railway alternative based on the criterion of fuzzy utility]. *Transportnoe stroitel'stvo [Transport construction]*, 2000, No. 7, pp. 10–13.

15. Podverbnyj V.A. Vybor proektnogo resheniya v nechetkoy srede na osnove indeksov ranzhirovaniya [The choice of a design solution in a fuzzy environment based on ranking indices]. *Zheleznodorozhnyy transport. Seriya «Stroitel'stvo. Proektirovaniye»: EHI / TSNITEHI MPS [Railway transport. The series «Construction. Designing»: EI / TSNITEHI MPS]*, 2000, issue 2-3, pp. 34–47.

16. Bykov Yu.A., Sidrakov A.A., Fadeeva V.A. Formirovaniye mnozhestva variantov napravleniya proektiruemykh zheleznykh dorog i otsenka ikh konkurentosposobnosti [Formation of a set of variants of the direction of the projected railways and assessment of their competitiveness]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Innovations. Education]. 2020, No. 1(165), pp. 44–49.
17. Drożdźiel P., Buková B., Brumerčíková E. Prospects of international freight transport in the East-West direction. *Transport Problems*. 2015. Vol. 10, No. 4, pp. 5–13.
18. Zhang J, Liao F, Arentze T, Timmermans H 2011 *Procedia Computer Science* 5, pp. 912–919.
19. Zhang J, Liao F, Arentze T, Timmermans H 2011 *Procedia Social and Behavioral Sciences* 20, pp. 313–322.
20. Regmi M, Hanaoka S 2012 *Research in Transportation Business & Management* 5, pp. 27–37.
21. Reis V, Meier J, Pace G, Palacin R 2013 *Research in Transportation Economics* 41 (1), pp. 17–30.
22. Drożdźiel P, Buková B, Brumerčíková E 2015 *Transport Problems* 10 (4), pp. 5–13.
23. Wang Y, Yeo G-T 2016 *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 32 (1), pp. 41–47.
24. Dib O, Manier M-A, Moalic L, Caminada A 2017 *Transportation Research Procedia* 20, 134–143.
25. Oberg M, Nilsson K, Johansson C. *Transportation Research Procedia* 25, 2017. Pp. 3694–3702.
26. Stoilova S, Munier N, Kendra M, Skrúcaný T 2020 *Sustainability*, 12(4), 1482.
27. Nesterova N.S. Metodologiya proektirovaniya mul'timodal'noj transportnoj seti: dis. ... dok. tekhn. nauk [Methodology of designing a multimodal transport network: D. Sc. (Engineering) diss.]. Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2017. 387 p.
28. Nesterova N.S., Goncharuk S.M., Anisimov V.A., Anisimov A.V., Shvartsfeld V.S. Set-theoretic Model of Strategies of Development for Objects of Multimodal Transport Network. *Procedia Engineering*, 2016. Vol. 165, pp. 1547–1555.
29. Nesterova N.S., Anisimov V.A. Formirovaniye mnozhestva vozmozhnykh strategiy ehtapnogo izmeneniya oblika i moshhnosti ob"ektov mul'timodal'noj transportnoj seti [The formation of a set of possible strategies for stage-by-stage changes in the appearance and power of objects of a multimodal transport network]. *Izvestiya PGUPS* [Bulletin of PGUPS]. 2019. Vol. 16, issue 3, pp. 329–338. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-3-329-338.
30. Nesterova N.S., Goncharuk S.M., Anisimov V.A., Anisimov A.V. A Mathematical Model of the Estimated Cases for Designing a Multimodal Transport Network. *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017, Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. Vol. 692. pp. 177–183. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_19).
31. Nesterova N.S., Anisimov V.A. Effective strategies for multimodal transportation network. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGRO-MASH 2019*. Vol. 403. pp. 012204. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012204.
32. Nesterova N.S., Anisimov A.V. Sbalansirovannaya sistema pokazatelye dlya otsenki strategiy razvitiya mul'timodal'noy transportnoj seti [Balanced scorecard for evaluation of multimodal transportation network development strategies]. *Izvestiya PGUPS* [Bulletin of PGUPS]. 2016. Vol. 13, issue 2(47), pp. 197–205.
33. Barlow R., Proshan F. Statisticheskaya teoriya nadezhnosti i ispytaniya na bezotkaznost' [Statistical theory of reliability and reliability tests]. Moscow: Nauka Publ., 1984. 328 p.
34. Gosudarstvennaya programma Rossijskoj Federatsii «Sotsial'no-ehkonomicheskoe razvitie arkticheskoy zony Rossijskoj Federatsii» [State program of the Russian Federation «Socio-economic development of the Arctic zone of the Russian Federation»]. Enacted by Russian Federation government decree no 336 on April 21, 2014.
35. Anisimov V A, Bogdanova LA, Morozova O.S., Shkurnikov S.V., Nesterova N.S. Potential of the railways of the multimodal transport network of the Eastern Siberia and Far East of Russia. *The 2020 International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region (SibTrans 2020) 11th-13th November 2020, Irkutsk, Russia, 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* Volume 1151, pp. 012028.

### Информация об авторах

**Нестерова Наталья Станиславовна** – д-р. техн. наук, профессор кафедры изысканий и проектирования железных и автомобильных дорог, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: mer-maid2@yandex.ru.

**Анисимов Владимир Александрович** – д-р. техн. наук, доцент, профессор кафедры изысканий и проектирования железных дорог, Петербургский государственный университет Путей Сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: anisvl@mail.ru.

### Information about the authors

**Natalya S. Nesterova** – Doctor of Engineering Sciences, The Full Professor of the Department of Survey and Design of Railways and Highways, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: mer-maid2@yandex.ru.

**Vladimir A. Anisimov** – Doctor of Engineering Science, Associate Professor of the Department of Survey and Design of Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, e-mail: anisvl@mail.ru.