

**М.В. Феоктистова, М.В. Зуев**

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

## **ВЫБОР ВАРИАНТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ «ИДЕАЛЬНОЙ» ТОЧКИ И ЛИНЕЙНОЙ СВЕРТКИ**

**Аннотация.** В статье рассматривается актуальная в настоящее время задача – выбор наилучшего варианта железнодорожного мостового перехода среди конкурентных альтернатив. Проблема состоит в том, что выбор не всегда обусловлен только одним критерием, как правило, экономическим.

В данной статье были рассмотрены методы принятия решений, основанные на «идеальной» точке и линейной свертке. Оба метода предполагают многокритериальность, что позволяет сделать выбор даже при противоречивости критериев.

В ходе проделанной работы были отмечены явные преимущества используемых методик, такие как: повышение эффективности, т.е. решение принимается быстрее и точнее, учитывая все необходимые факторы и ограничения; уменьшение риска допущения ошибок, так как они обеспечивают более объективный подход к выбору решений; методики помогают структурировать процесс принятия решений и делают его более понятным для всех участников. Также отмечены недостатки используемых моделей, например, возможность манипулирования результатами групповой экспертизы.

Приведен краткий анализ литературы отечественных и зарубежных авторов, история развития теории принятия решений и расширения сферы ее применения. Приведено обоснование выбранных моделей для решения поставленной задачи.

В статье рассмотрен практический пример с шестью вариантами железнодорожных мостов и перечнем критериев, по которому необходимо выбрать среди них наилучшую альтернативу.

Сделан выбор о применимости методов «идеальной» точки и линейной свертки при решении задач из области проектирования.

**Ключевые слова:** лицо принимающее решение, коллективный выбор, метод «идеальной» точки, метод линейной свертки, экспертная группа, нормализация критериев, лучшая альтернатива

**M.V. Feoktistova, M.V. Zuev**

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

## **CHOICE OF RAILWAY BRIDGE OPTION BASED ON THE «IDEAL» POINT AND LINEAR CONVOLUTION METHODS**

**Abstract.** The article considers the currently relevant task: choosing the best option for a railway bridge crossing among competitive alternatives. The problem is that the choice is not always conditioned by only one criterion, as a rule, economic.

In this article, decision-making methods based on the ideal point and linear convolution were considered. Both methods assume a multi-criteria approach, which allows you to make a choice even if the criteria are contradictory.

In the course of the work done, the obvious advantages of the methods used were noted, such as: increased efficiency, that is, the decision is made faster and more accurately, taking into account all the necessary factors and limitations; reducing the risk of making mistakes, since they provide a more objective approach to decision-making; methods help to structure the decision-making process and make it more understandable for all participants. The disadvantages of the models used are also noted, for example, the possibility of manipulating the results of a group examination.

A brief analysis of the literature of domestic and foreign authors, the history of the development of decision-making theory and the expansion of its scope is given. The justification of the selected models for solving the task is given.

The article considers a practical example with six variants of railway bridges and a list of criteria according to which it is necessary to choose the best alternative among them.

The choice is made about the applicability of the «ideal» point and the linear convolution methods in solving problems in the field of design.

**Keywords:** decision maker, collective choice, «ideal» point method, linear convolution method, expert group, criteria normalization, the best alternative

## **Введение**

Строительство мостового перехода – сложный, долгий и дорогостоящий процесс. Для снижения риска возникновения ошибок и учета различных условий и требований в процессе проектирования разрабатываются несколько вариантов. Большой набор факторов и критериев делает данный выбор сложной задачей. Для того чтобы эффективно и оперативно выбрать наилучшую альтернативу, следует воспользоваться методами из теории принятия решений – области науки, которая включает в себя исследование процессов выбора вариантов действий из множества возможных, а также изучение факторов, влияющих на принятие решений. Методы теории принятия решений разделяются на одиночные и коллективные. Одиночные методы принятия решений – это те, которые используются одним человеком для принятия решения на основе его личных предпочтений и убеждений. Они могут включать в себя оценку затрат и выгод, анализ рисков и возможностей, а также рассмотрение этических и моральных аспектов. Одиночные методы могут быть полезными для принятия решений в ситуациях, когда нет необходимости в консультации с другими людьми или, когда решение должно быть принято быстро [1].

Коллективные методы предполагают участие группы людей в процессе принятия решения. Это может включать в себя проведение совещаний, мозговых штурмов, опросов или других форм обратной связи. Коллективные методы могут помочь учесть различные точки зрения и обеспечить всестороннюю оценку ситуации. Они также могут помочь в разработке консенсусных решений и снизить вероятность ошибок [2].

Целью работы является анализ методик при одиночном и коллективном принятии решений, а также их адаптация к задачам проектирования (в частности, при выборе варианта железнодорожного моста).

## **Обзор литературы и выбор методов решения**

Существует множество литературы по данной теме, и она продолжает развиваться и расширяться. Наиболее известными авторами, которые писали о теории принятия решений, являются Герберт Саймон, Дэниел Канеман, Амос Тверски, Стюарт Карсон, Ричард Херрнстайн и др.

Герберт Саймон, американский ученый, является одним из основателей теории принятия решений. Его книга «Новая наука управления» (1960) стала одной из самых влиятельных работ в этой области. Саймон утверждал, что люди не всегда принимают решения рационально, и что часто они используют эвристики и предубеждения для принятия решений.

Дэниел Канеман и Амос Тверски продолжают данную тему. Их работа «Суждение под неопределенностью: эвристика и предубеждения» (1974) показала, что люди часто принимают решения на основе предвзятых мнений или стереотипов, которые могут не учитывать все необходимые факты и обстоятельства.

Стюарт Карсон написал книгу «Теория решения: критическое введение» (2001), в которой он рассматривает различные аспекты теории принятия решений и предлагает новые подходы к ее изучению.

Ричард Херрнстайн и Чарльз Руск в своей книге «Принятие решений» (2011) рассматривают различные аспекты принятия решений, включая рациональность, этику и социальные вопросы [3, 4].

Среди отечественных авторов можно выделить работу «Математические методы коллективного принятия решений» Колбина В.В., которая представляет собой подробное исследование различных математических методов, начиная от классических, таких как линейное программирование и теория игр, до более современных методов, таких как теория нечетких множеств и многокритериальный анализ [5].

Книга М.Б. Гитмана и В.Ю. Столбова «Экспертные системы поддержки принятия коллективных решений» посвящена разработке и применению экспертных систем для поддержки принятия коллективных решений в различных областях. Авторы рассматривают основные принципы работы экспертных систем, а также предлагают методы и алгоритмы для их со-

здания [6].

Методы принятия проектных решений в строительстве – книга, написанная В.А. Подвербным, П.Н. Холодовым и К.М. Титовым, которая представляет собой руководство по принятию решений в области проектирования и строительства. В книге рассматриваются различные методы принятия решений, в том числе математические модели, анализ рисков, оценка затрат др. Книга предназначена для студентов и специалистов в области строительства и проектирования [7].

Проанализировав литературу по теме исследования и различные методики, были выбраны следующие методы:

1. Метод «идеальной» точки. Он позволяют сравнивать альтернативы на основе их близости к идеальному решению. Он прост в использовании и позволяет быстро получить результаты.

2. Метод линейной свертки критериев. При решении прикладных многокритериальных задач привлекает исследователей своей простотой. Действительно, линейная функция в математике считается наиболее простой.

Оба метода учитывают многокритериальность, что было основополагающим при выборе методик. Разница в том, что в первом методе одно лицо, принимающее решение (ЛПР), а во втором – группа ЛПР.

### Описание вариантов и подборка критериев

Было рассмотрено шесть вариантов железнодорожных мостов, представленных в табл. 1.

**Таблица 1.** Варианты моста

Вариант моста	Описание	Схема
1 Вантовый $x_1$	Трехпролетный мост с железобетонным коробчатым пролетным строением со схемой расположения вант «пучок»	
2 Арочный $x_2$	Трехпролетный криволинейный неразрезной арочный мост с подвесками	
3 Рамный $x_3$	Четырехпролетный железобетонный мост с переменной высотой пролетного строения	
4 Стальной балочный $x_4$	Неразрезной балочный четырехпролетный мост со стальным коробчатым пролетным строением	
5 Ферменный $x_5$	Стальной трехпролетный неразрезной мост со сквозными главными фермами	
6 Висячий $x_6$	Трехпролетный мост с железобетонным коробчатым пролетным строением	

При сравнении альтернатив предлагается использовать пять частных критериев эффективности, представленных в табл. 2.

**Таблица 2.** Критерии эффективности, влияющие на выбор мостового перехода

Частные критерии эффективности	Обоснование критерия
$R_1$ – Экономический	В него входят укрупненные расценки стоимости работ, а именно установка свай, сооружение ростверка, сооружение тела опоры, монтаж пролета, устройство верхнего строения пути, устройство гидроизоляции
$R_2$ – Технологический	Определяет наименее трудоемкий вариант, а именно проводится анализ преимуществ и недостатков способов сооружения моста, изготовления пролетных строений, а также временных конструкций
$R_3$ – Технический	Сравнивает характер работы различных схем мостов и сложность устройства конструкции пролетных строений

$R_4$ – Эксплуатационный	Позволяет сравнить варианты мостового перехода с точки зрения безопасности движения железнодорожного транспорта и обслуживающего персонала, а также удобство ремонта и осмотра конструкции
$R_5$ – Архитектурный	Используется для оценки внешнего вида и соответствия сооружения окружающей среде. Он включает в себя оценку таких аспектов, как форма, пропорции, цвет, материалы и детали конструкции [8, 9]

### Метод «идеальной» точки

Суть метода заключается в создании «идеальной» точки в пространстве критериев и выбор альтернативы, которая наиболее близка к этой точке.

Метод «идеальной» точки был создан Гербертом Саймоном, американским ученым и лауреатом Нобелевской премии по экономике. Он предложил этот метод в 1978 г. в своей книге «Науки об искусственном».

Выбранные критерии имеют разную размерность, так как в числовом виде можно представить только экономический критерий, а остальным дать словесную качественную оценку. Поэтому необходимо привести критерии к нормализованному виду. Нормализация критериев – это процесс приведения критериев к единой шкале измерения, чтобы они могли быть сравнимы между собой. В нашем случае оценка вариантов производится по шкале от 1 до 5 (табл. 3) [10, 11].

**Таблица 3.** Показатели критериев оценки метода «идеальной» точки

Вариант	Частные критерии эффективности				
	Экономический	Технологический	Технический	Эксплуатационный	Архитектурный
Вантовый $x_1$	888,91	1	1	2	5
Арочный $x_2$	1073,02	2	2	1	4
Рамный $x_3$	584,90	3	5	5	2
Стальной балочный $x_4$	792,58	5	4	2	1
Ферменный $x_5$	710,08	4	3	3	3
Висячий $x_6$	1061,72	2	1	1	4

Для максимизируемых критериев оценки значения нормализованных частных критериев определяются по формуле:

$$r_j^i = \frac{R_j^+ - R_j^i}{R_j^+ - R_j^-}.$$

Для минимизируемых критериев оценки значения нормализованных частных критериев определяются по формуле:

$$r_j^i = \frac{R_j^i - R_j^-}{R_j^+ - R_j^-}.$$

В нашем случае экономический критерий является минимизируемым, а остальные – максимизируемыми. Теперь необходимо определить границы допустимых значений для каждого критерия. Это позволяет сравнить различные альтернативы и выбрать ту, которая наиболее соответствует «идеальной» точке. Для этого определим амплитудные значения частных критериев оценки (табл. 4).

**Таблица 4.** Амплитудные значения частных критериев оценки

Значения критериев оценки	Амплитудные значения частных критериев оценки				
	Экономический	Технологический	Технический	Эксплуатационный	Архитектурный
Максимальное значение $R_j^+$	1073,02	5	5	5	5
Минимальное значение $R_j^-$	584,90	1	1	1	1
Диапазон значений $R_j^+ - R_j^-$	488,12	4	4	4	4

Назначим весовые коэффициенты частных критериев эффективности  $c_j$  (табл. 5), которые учитывают относительную важность каждого критерия при принятии решения. Они позволяют определить, какой критерий наиболее важен и как он влияет на общий результат. При этом должно выполняться условие:

$$\sum c_j = 1.$$

**Таблица 5.** Весовые коэффициенты критериев

Критерий оценки	Значимость критерия, $c_j$
$R_1$ Экономический	0,50
$R_2$ Технологический	0,20
$R_3$ Технический	0,10
$R_4$ Эксплуатационный	0,15
$R_5$ Архитектурный	0,05

Глобальный критерий  $\rho_i$  – «расстояние» до «идеальной» точки – рассчитан в табл. 6 и определяется по формуле:

$$\rho_i = \sqrt{c_j \cdot (r_j^i)^2}.$$

**Таблица 6.** Нормализованное значение частных критериев  $r_j^i$  и значения глобального критерия  $\rho_i$

Вариант	Частные критерии эффективности $r_j^i$					
	Экономический	Технологический	Технический	Эксплуатационный	Архитектурный	Глобальный критерий $\rho_i$
$x_1$	0,623	1,000	1,000	0,750	0,000	0,760
$x_2$	1,000	0,750	0,750	1,000	0,250	0,907
$x_3$	0,000	0,500	0,000	0,000	0,750	<b>0,280</b>
$x_4$	0,425	0,000	0,250	0,750	1,000	0,481
$x_5$	0,256	0,250	0,500	0,500	0,500	0,347
$x_6$	0,977	0,750	1,000	1,000	0,250	0,918
$c_j$	0,5	0,200	0,100	0,150	0,050	

В качестве «идеальной» точки выступает 0, поэтому наилучшим результатом будет считаться тот, у которого значение глобального критерия ближе к нулю. Согласно табл. 6 наилучшим вариантом является рамный мост  $x_3$ .

### Метод линейной свертки

В предыдущем методе подразумевалось то, что оценки альтернативам по каждому критерию производились одним лицом. В методе линейной свертки для достижения результата используется коллективная оценка, то есть формируется обобщенный критерий, который вычисляется как сумма произведений частных критериев на их веса. Веса критериев отражают важность каждого критерия и обычно определяются экспертным путем. Еще в обобщенный критерий входит оценка квалификации экспертов в соответствии с той сферой компетенции, которую представляет член экспертной группы. Итоговый результат будет определяться по функции предпочтительности  $pr(x_i)$  после расставления экспертных оценок  $\lambda_j^i$  [12, 13].

В данном методе также потребуется нормализация критериев. Пусть оценки останутся такими же, как в табл. 3, но теперь их значения должны быть от 0 до 1. Оценки максимизируемых критериев (технологический, технический, эксплуатационный, архитектурный) в таком случае будут выражены в виде процента: если 5 – это 100% (1), то 4 – 80% (0,8), 3 – 60% (0,6), 2 – 40% (0,4), 1 – 20% (0,2) (табл. 7).

Оценка минимизируемого критерия (экономического) определяется по формуле:

$$j_k^i = 1 - \frac{j_k^i}{\max(j_k^i)}$$

Таблица 7. Нормализованные оценки критериев метода линейной свертки

Вариант	Частные критерии эффективности $j_k^i$				
	Экономический $j_1$	Технологический $j_2$	Технический $j_3$	Эксплуатационный $j_4$	Архитектурный $j_5$
$x_1$	0,172	0,2	0,2	0,4	1
$x_2$	0,000	0,4	0,4	0,2	0,8
$x_3$	0,455	0,6	1	1	0,4
$x_4$	0,261	1	0,8	0,4	0,2
$x_5$	0,338	0,8	0,6	0,6	0,6
$x_6$	0,011	0,4	0,2	0,2	0,8
$v_k$	0,50	0,20	0,10	0,15	0,05
$\sum_{k=1}^r v_k \cdot j_k^i$	0,618	0,680	0,320	0,420	0,190

Весовые коэффициенты критериев  $v_k$  остаются такими же, как в табл. 5. Теперь необходимо оценить квалификацию экспертов.

В состав экспертной группы входят: инвестор, представитель строительной организации, главный инженер проектной организации, представитель дистанции искусственных сооружений, архитектор. Квалификация членов экспертной группы определяется несколькими факторами, включая их образование, профессиональный опыт, навыки и знания в конкретной предметной области, репутацию и отзывы от коллег по предыдущим проектам. В табл. 9 приведена оценка квалификации  $\beta_r^i$ , которая варьируется от 0 до 1: чем ближе к единице, тем эксперт компетентнее в рассматриваемом вопросе.

**Таблица 8.** Оценка квалификации экспертов по выбранным критериям

Эксперт	Оценка квалификации эксперта по критерию $\beta_r^i$					$S_i$
	$j_1$	$j_2$	$j_3$	$j_4$	$j_5$	$\sum_{k=1}^r \beta_r^i v_k \cdot j_k^i$
Инвестор	0,9	0,5	0,3	0,4	0,4	1,236
Представитель строительной организации	0,6	0,6	0,9	0,3	0,2	1,231
Главный инженер проектной организации	0,7	0,9	0,5	0,3	0,1	1,350
Представитель дистанции искусственных сооружений	0,5	0,5	0,3	0,9	0,4	1,199
Архитектор	0,2	0,3	0,3	0,2	0,95	0,688

В этой же таблице приведено значение обобщенного критерия  $S_i$ , и мы можем видеть различный вклад экспертных оценок в итоговый результат.

Теперь экспертам нужно оценить каждый вариант по предпочтительности в числовом виде от 0 до 1 ( $\lambda_j^i$ ) так, чтобы  $\sum \lambda_j^i = 1$ . Экспертная оценка умножается на обобщенный критерий  $S_i$ , и полученные значения суммируются по каждой альтернативе, что и представляет собой значения функции предпочтительности  $pr(x_i)$ .

**Таблица 9.** Значение функции предпочтительности вариантов железнодорожного моста

Эксперт	Варианты											
	Вантовый $x_1$		Арочный $x_2$		Рамный $x_3$		Стальной $x_4$		Ферма $x_5$		Висячий $x_6$	
	$\lambda_j^1$	$\lambda_j^1 S_i$	$\lambda_j^2$	$\lambda_j^2 S_i$	$\lambda_j^3$	$\lambda_j^3 S_i$	$\lambda_j^4$	$\lambda_j^4 S_i$	$\lambda_j^5$	$\lambda_j^5 S_i$	$\lambda_j^6$	$\lambda_j^6 S_i$
Инвестор	0,10	0,124	0,15	0,185	0,30	0,371	0,15	0,185	0,20	0,247	0,10	0,124
Представитель строительной организации	0,10	0,123	0,10	0,123	0,25	0,308	0,25	0,308	0,20	0,246	0,10	0,123
Главный инженер проектной организации	0,10	0,135	0,15	0,202	0,20	0,270	0,15	0,202	0,25	0,337	0,15	0,202
Представитель дистанции искусственных сооружений	0,10	0,120	0,10	0,120	0,30	0,360	0,25	0,300	0,15	0,180	0,10	0,120
Архитектор	0,25	0,172	0,22	0,151	0,08	0,055	0,05	0,034	0,18	0,124	0,22	0,151
Значение функции предпочтительности $pr(x_i)$	–	0,674	–	0,782	–	<b>1,363</b>	–	1,030	–	1,135		0,721

Лучшая альтернатива определяется по наибольшему значению  $pr(x_i)$ , т.е. третий вариант – рамный мост  $x_3$ . Отметим, что принятое общее решение соответствует результату, полученному по методу «идеальной» точки.

### Заключение

В данной статье были рассмотрены методы выбора железнодорожного моста, основанные на «идеальной» точке и линейной свертке. Оба метода предполагают оценку вариантов на основе математической многокритериальной модели, которая затрагивает различные характеристики моста, такие как стоимость, технологичность, эстетическая составляющая и т.д. Методика позволяет определить наиболее подходящий вариант на основе этих оценок.

Преимущества использования метода «идеальной» точки включают простоту использования, быстроту получения результатов и возможность многокритериального сравнения.

Однако, коллективное решение может быть более эффективным, чем индивидуальное, поскольку оно позволяет использовать знания и опыт всех участников. В результате этого можно учесть различные точки зрения и найти наиболее оптимальное решение, которое будет учитывать все аспекты ситуации. Преимуществом последней модели является то, что она

упрощает работу экспертов при многокритериальном сопоставлении вариантов. Экспертам нужно лишь дать числовые оценки каждому варианту, а окончательное предпочтение определяется непосредственно моделью. Для прозрачности результатов важно видеть обоснование предпочтений каждого эксперта, правильно взвесить и оценить квалификацию. К недостатку относится то, что существует возможность манипулирования результатами.

Таким образом, оба метода имеют свои преимущества и недостатки, и выбор между ними зависит от конкретных требований и целей проекта. В любом случае, использование этих методов позволяет более объективно и научно обоснованно выбирать оптимальный вариант железнодорожного моста [14, 15].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковальчук М.В., Казарина В.В., Подвербный В.А. Многокритериальное сравнение вариантов проектных решений на основе комплексного критерия // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы VII Международной научно-практической конференции. Иркутск, 2016. Т. 1. С. 457–461.
2. Веприкова М.Я. Коллективные методы принятия решений в современных организациях, их эффективность // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Т. 8. № 9А. С. 353–360.
3. Завалищин Д.С., Гончарь П.С., Тимофеева Г.А. Теория принятия решения. Екатеринбург: УрГУПС, 2019. 84 с.
4. Ростовцев В.С. Теория принятия решений. Киров: ВятГУ, 2021. 192 с.
5. Колбин В.В. Математические методы коллективного принятия решений. СПб.: Лань, 2022. 256 с.
6. Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Экспертные системы поддержки принятия коллективных решений. Пермь: ПНИПУ, 2017. 38 с.
7. Подвербный В.А., Холодов П.Н., Титов К.М. Методы принятия проектных решений в строительстве. Иркутск: ИрГУПС, 2010. 72 с.
8. Усова О.И., Быкова Н.М. Вариантное проектирование мостов. Иркутск: ИрГУПС, 2014. 64 с.
9. Холодов П.Н. Основные факторы выбора способа принятия решений при проектировании железных дорог // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог : труды всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иркутск, 2008. Т. 1. С. 72–76.
10. Феоктистова М.В., Подвербный В.А. Выбор берегоукрепительного сооружения для Кругобайкальской железной дороги с применением методов многокритериального сравнения // Молодая наука Сибири. 2023. № 3(21). С. 82–91.
11. Казарина В.В., Подвербный В.А. Принятие решения по выбору варианта трассы железнодорожной линии // Мир транспорта. 2019. Т. 17. № 3 (82). С. 140–151.
12. Ногин В.Д. Линейная свертка критериев в многокритериальной оптимизации // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. № 4. С. 73–82.
13. Борисов В.И. Метод свертки критериев для решения задачи многокритериальной оптимизации // Проблемы и тенденции научных исследований в системе образования: сборник статей Международной научно-практической конференции. Тюмень, 2019. Ч. 1. С. 25–26.
14. Перельгина А.А., Подвербный В.А. Пример принятия решения в области проектирования железных дорог // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы IX Международной научно-практической конференции. Иркутск, 2018. Т. 1. С. 606–611.
15. Холодов П.Н. Многокритериальный выбор оптимального решения при проектировании железных дорог // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 4 (32). С. 76–82.

### REFERENCES

1. Koval'chuk M.V., Kazarina V.V., Podverbnyi V.A. mnogokriterial'noe sravnenie variantov proektnykh reshenii na osnove kompleksnogo kriteriya [Multicriteria comparison of design so-

lutions based on a complex criterion]. *Materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference «Transport infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2016, Vol. 1, pp. 457–461.

2. Veprikova M.Ya. Kollektivnye metody prinyatiya reshenii v sovremennykh organizatsiyakh, ikh effektivnost' [Collective decision-making methods in modern organizations, their effectiveness]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: yesterday, today, tomorrow], 2018, Vol. 8, no 9A (82), pp. 353–360.

3. Zavalishhin D.S., Gonchar' P.S., Timofeeva G.A. Teoriya prinyatiya resheniya [Decision theory]. Ekaterinburg: UrGUPS Publ., 2019. 84 p.

4. Rostovtsev V.S. Teoriya prinyatiya reshenii [Decision Theory]. Kirov: VyatGU Publ., 2021. 192 p.

5. Kolbin V.V. Matematicheskie metody kollektivnogo prinyatiya reshenii [Mathematical methods of collective decision-making]. Saint Petersburg: Lan' Publ., 2022. 256 p.

6. Gitman M.B., Stolbov V.Yu. Ekspertnye sistemy podderzhki prinyatiya kollektivnykh reshenii [Expert systems to support collective decision-making]. Perm': PNIPU Publ., 2017. 38 p.

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

8. Usova O.I., Bykova N.M. Variantnoe proektirovanie mostov [Variant bridge design]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2014. 64 p.

9. Kholodov P.N. Osnovnye faktory vybora sposoba prinyatiya reshenii pri proektirovanii zheleznykh dorog [Main factors for choosing a method of decision-making in the design of railways]. *Trudy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Problemy i perspektivy izyskaniya, proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zheleznykh dorog»* [Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation «Problems and prospects for research, design, construction and operation of railways»]. Irkutsk, 2008, Vol. 1, pp. 72–76.

10. Feoktistova M.V., Podverbnyi V.A. Vychor beregoukrepitel'nogo sooruzheniya dlya Krugobaikal'skoi zheleznoi dorogi s primeneniem metodov mnogokriterial'nogo sravneniya [The choice of a coastal protection structure for the Circum-Baikal Railway using multicriteria comparison methods]. *Molodaya nauka Sibiri* [The Young Science of Siberia], 2023, no 3 (21), pp. 82–91.

11. Kazarina V.V., Podverbnyi V.A. Prinyatie resheniya po vyboru varianta trassy zheleznodorozhnoi linii [Decision-making on the choice of the route of the railway line]. *Mir transporta* [World of Transport], 2019, Vol. 17, no 3 (82), pp. 140–151.

12. Nogin V.D. Lineinaya svertka kriteriev v mnogokriterial'noi optimizatsii [Linear convolution of criteria in multi-criteria optimization]. *Iskusstvennyi intellekt i prinyatie reshenii* [Artificial intelligence and decision-making], 2014, no 4, pp. 73–82.

13. Borisov V.I. Metod svertki kriteriev dlya resheniya zadachi mnogokriterial'noi optimizatsii [The method of criteria convolution for solving the problem of multi-criteria optimization]. *Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Problemy i tendentsii nauchnykh issledovaniy v sisteme obrazovaniya»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Problems and trends of scientific research in the education system»]. Tyumen', 2019, part 1, pp. 25–26.

14. Perelygina A.A., Podverbnyi V.A. Primer prinyatiya resheniya v oblasti proektirovaniya zheleznykh dorog [An example of decision-making in the field of railway design]. *Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference «Transport infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2018, Vol. 1, pp. 606–611.

15. Kholodov P.N. Mnogokriterial'nyi vybor optimal'nogo resheniya pri proektirovanii zheleznykh dorog [Multicriteria selection of the optimal solution in the design of railways]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz* [Modelirovanie Modern technologies. System analysis. Modeling], 2011, no 4 (32), pp. 76–82.

### **Информация об авторах**

*Феоктистова Маргарита Владимировна* – аспирант кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: bambuk09990@gmail.com.

*Зуев Михаил Владимирович* – аспирант кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mikhail.zuev.00@list.ru.

### **Information about the authors**

*Feoktistova Margarita Vladimirovna* – Ph.D. Student of the Department of Construction of railways, bridges and tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: bambuk09990@gmail.com.

*Zuev Mikhail Vladimirovich* – Ph.D. Student of the Department of Construction of railways, bridges and tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mikhail.zuev.00@list.ru.