

М.В. Феоктистова, В.А. Подвербный, К.М. Титов

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

ПРИМЕР КОЛЛЕКТИВНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ ВАРИАНТА РЕКОНСТРУКЦИИ УЧАСТКА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Аннотация. В связи с важной ролью железнодорожного транспорта в грузообороте страны и постоянно увеличивающейся нагрузкой на путь производятся мероприятия по реконструкции и развитию железнодорожных линий.

При проведении реконструкции железнодорожных участков возможны различные варианты проектных решений: реконструкция плана железнодорожной линии для повышения скоростей движения грузовых и пассажирских поездов, замена верхнего строения пути, ликвидация больших мест земляного полотна, реконструкция искусственных сооружений, строительство дополнительных главных путей и двухпутных вставок и др.

Выбор мероприятий по реконструкции железнодорожной линии является многокритериальной задачей. Для оценки вариантов проектных решений используются различные показатели – частные критерии эффективности. Одни критерии следует минимизировать, другие максимизировать. Чтобы структурировать процесс выбора и учесть различные факторы целесообразно применять методы из теории принятия решений. Определение наилучшего варианта в области проектирования железных дорог (и не только) неразрывно связано с коллективным выбором.

Принятие решение группой отличается от индивидуального, так как на итоговый результат влияют предпочтения членов экспертной группы, мнение которых может быть различно. Конечно, группа может сразу достичь консенсуса относительно наилучшего варианта. Однако в данной статье рассматривается случай, когда предпочтения экспертов расходятся. В работе приводится пример коллективного принятия решения по выбору варианта реконструкции участка железной дороги с помощью метода линейной свертки. Итоговый результат (принятый группой) сравнивается с результатом, полученным при индивидуальном решении (на основе метода идеальной точки).

Ключевые слова: пропускная способность, барьерные места, частные критерии эффективности, проектные решения, сравнение вариантов, метод линейной свертки, метод идеальной точки

M.V. Feoktistova, V.A. Podverbnyi, K.M. Titov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

AN EXAMPLE OF COLLECTIVE DECISION MAKING ON THE CHOICE OF AN OPTION FOR RECONSTRUCTION OF A RAILWAY SECTION

Abstract. Due to the important role of railway transport in the country's freight turnover and the constantly increasing load on the track measures are being taken to reconstruct and develop railway lines.

When reconstructing railway sections, various design solutions are possible: reconstruction of the railway line plan to increase the speed of freight and passenger trains, replacement of the superstructure of the track, elimination of sore spots in the roadbed, reconstruction of artificial structures, construction of additional main tracks and double-track inserts and others.

The selection of measures for the reconstruction of a railway line is a multi-criteria task. To evaluate options for design solutions, various indicators are used - private efficiency criteria. Some criteria should be minimized, others maximized. To structure the selection process and take into account various factors, it is advisable to use methods from decision theory. Determining the best option in the field of railway design (and not only) is inextricably linked with collegial choice.

Group decision-making differs from individual decision-making, since the final result is influenced by the preferences of the members of the expert group, whose opinions may be different. Of course, the group can immediately reach consensus on the best option. However, this article considers the case where the experts' preferences diverge. The paper provides an example of collective decision-making on the choice of reconstruction option for a section of a railway using the linear convolution method. The final result (accepted by the group) is compared with the result obtained with an individual decision (based on the ideal point method).

Keywords: throughput, barrier places, partial efficiency criteria, design solutions, comparison of options, linear convolution method, ideal point method

Введение

Реконструкция железнодорожной линии – это комплексный термин, так как при проектировании реконструкции перед инженером-проектировщиком могут стоять несколько целей сразу, таких как:

- увеличение пропускной способности железнодорожной линии;
- повышение безопасности и надежности эксплуатации железнодорожного пути;
- снижение шума и вибрации во время движения поездов, что повысит комфортность поездки пассажиров и уменьшит негативное влияние на окружающую среду.

При проектировании реконструкции железнодорожной линии инженер-проектировщик решает ряд проектных задач, влекущих за собой дополнительные затраты и издержки, такие как уширение существующего земляного полотна или возведение нового земляного полотна; переустройство искусственных сооружений; перенос зданий и сооружений; перенос опор контактной сети, светофоров, релейных шкафов; перенос переездов и переустройство автодорог; возведение защитных сооружений.

Для наиболее эффективного решения задачи выбора наилучшего варианта реконструкции железной дороги целесообразно использовать различные методы теории принятия решений, которые позволяют структурировать процесс выбора и учитывают различные факторы, влияющие на принятие решения [1–3].

Цель статьи – рассмотреть пример коллективного принятия решения по выбору варианта реконструкции участка железной дороги на основе принципов многокритериального выбора с учетом мнения экспертов. Сделать сравнение коллективного (на основе метода линейной свертки) и индивидуального (на основе метода «идеальной точки») выбора.

Основные характеристики участка реконструкции железнодорожной линии

Приведем основные характеристики участка реконструкции железнодорожной линии:

- протяженность участка – 9,980 км;
- грузонапряженность – 125 млн т нетто на км год;
- класс пути – О1, особогрузонапряженная категория железнодорожной линии;
- участок дороги двупутный (реконструируется II путь), электрифицирован на переменном токе, оборудован системами централизации и автоблокировки;
- размеры движения – 102 пары поездов в сутки, из них доля пассажирских поездов составляет 10,5 % от общего числа, всего пассажирских поездов с учетом пригородных – 16 пар поездов в сутки;
- конструкция верхнего строения пути до ремонта – звеньевой путь, рельсы Р65, шпалы деревянные II типа, скрепления ДО, балласт – щебеночный;
- участок реконструкции II пути в плане представлен прямыми и кривыми участками различных радиусов от 489 м до 1 999 м;
- кривые участки пути представлены однорадиусными и многорадиусными кривыми с несимметричными переходными кривыми;
- максимальные скорости движения пассажирских поездов – 105 км/ч, грузовых – 90 км/ч.

Тяговые расчеты выявили барьерное место – участок пути ПК229 + 40,87–ПК239 + 40,92, на котором по параметрам плана линии при малом радиусе $R = 490$ м ограничена скорость движения поездов: пассажирских – до 95 км/ч; грузовых – до 80 км/ч (рис. 1).

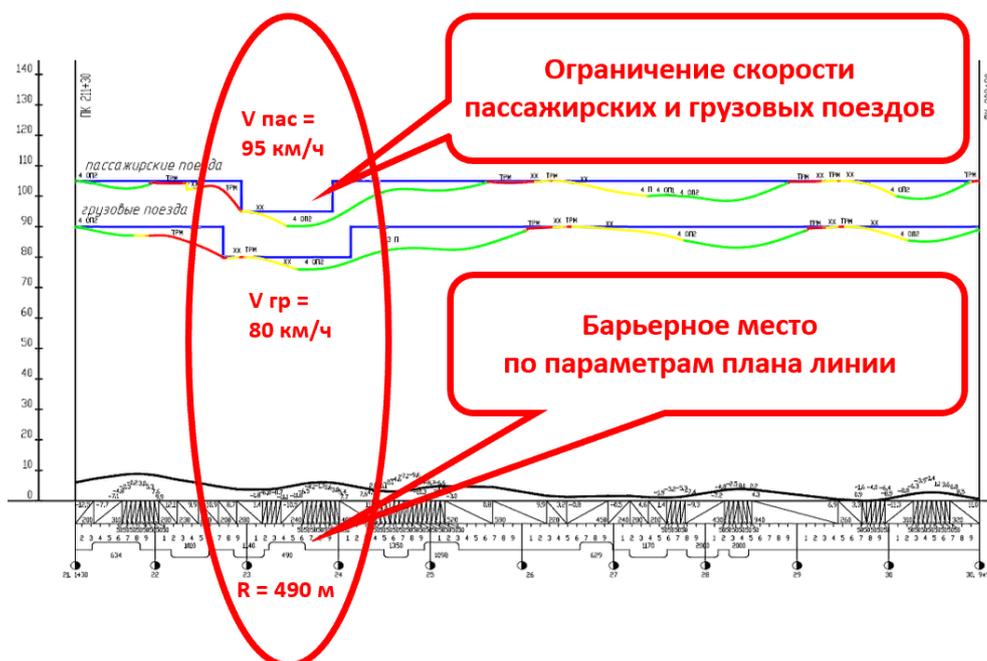


Рис. 1. График скорости грузовых и пассажирских поездов в четном направлении по II пути, построенные по результатам тяговых расчетов в ПК ЭРА до реконструкции

Выбор частных критериев и разработка вариантов реконструкции

Для оценки и выбора варианта проектного решения были намечены 7 частных критериев эффективности вариантов реконструкции, которые позволят оценить степень достижения целей и задач проекта реконструкции.

Критерии и обоснование их значимости в проекте реконструкции приведены в табл. 1.

Таблица 1. Частные критерии эффективности и их обоснование

Частные критерии эффективности		Обоснование значимости критериев
R_1	Участковая скорость	Участковая скорость показывает, с какой скоростью поезд двигался по участку с учетом стоянок на промежуточных станциях. Повышение данного показателя на 10 км/ч и более на перегоне способствует увеличению пропускной способности железнодорожной линии
R_2	Время хода	Время в минутах, затрачиваемое поездом на прохождение расстояния между отдельными пунктами. Чем меньше данный показатель, тем выше пропускная способность
R_3	Экономия в эксплуатационных расходах	Достигается за счет уменьшения времени хода и увеличения скорости поездов, тыс. руб.
R_4	Капитальные вложения в реконструкцию	Желательно снизить стоимость строительно-монтажных работ по реконструкции участка, тыс. руб.
R_5	Затраты времени работы машин и трудозатраты	Снижение трудозатрат по варианту реконструкции участка железнодорожной линии позволяет сократить продолжительность реконструкции, уменьшить потери доходов железной дороги из-за предоставления «окон», во время которых движение поездов по перегону прекращается для производства ремонтно-строительных, машино-часов и человеко-часов
R_6	Доля переустраиваемых участков с выносом на новую ось от общей длины участка реконструкции	Отношение длины участков пути, переустраиваемых на новую ось, к длине всего участка реконструкции, %
R_7	Количество реконструируемых или вновь строящихся сооружений	а) Мосты: шт./ м либо строительство новых мостов шт., б) Трубы: шт./ удлинение в м. либо строительство новых, шт., в) Земляное полотно: длина/м ³ досыпка или вырезка, г) Опоры контактной сети, светофоры, релейные шкафы в шт., д) Переезды в шт., е) Защитные сооружения в м. длины вдоль пути.

Для повышения пропускной способности на рассматриваемом перегоне было предложено два варианта реконструкции данного участка:

x_1 – *Минимальный вариант реконструкции* – основные проектные решения по усилению верхнего строения пути, приведение плана и профиля к нормативным значениям;

x_2 – *Максимальный вариант реконструкции* – проектные решения в рамках реконструкции включают в себя реконструкцию плана пути для устранения барьерного места с увеличением радиуса кривой, что приводит к большим сдвигкам и переносу конструкций [4, 5].

Описание основных проектных решений по вариантам реконструкции представлено в табл. 2.

Таблица 2. Описание основных проектных решений по вариантам реконструкции

Варианты		Перечень мероприятий, входящий в проектные решения
x_1	<i>Минимальный вариант реконструкции</i>	<p>Выправка пути со сдвигками до 40 см в пределах существующей основной площадки земляного полотна с соблюдением габаритов приближения строений, искусственных сооружений, опор и светофоров;</p> <p>Замена деревянных шпал и креплений типа ДО на железобетонные шпалы со креплением типа ЖБР – 65Ш;</p> <p>Вместо звеньевого укладывается бесстыковой путь;</p> <p>Ширина обочины земляного полотна не менее 50 см; балласт на участке ремонта отсыпается с толщиной под шпалой 40 см; ширина плеча балластной призмы – 45 см;</p> <p>Горизонтальные расстояния между осями главных путей после ремонта приводятся к нормативным значениям;</p> <p>Толщина балласта и эксцентриситеты на мостах приводятся к нормативным значениям</p>
x_2	<i>Максимальный вариант реконструкции</i>	<p>Реконструкция плана: участок пути ПК213+5,0–ПК 218+41,7 радиус кривой 634 м увеличивается до 775 м, а также длины переходных кривых увеличиваются от 90 до 100 м, максимальное значение сдвижки вправо – 8,45 м, что приводит к переносу 25 опор контактной сети №78, №79, №80, №81, №2, №1, №3, №4, №5, №6, №7, №10, №11, №12, №13, №14, №15, №16, №17, №18, №19, №20, №21, №22, №23 и светофора НД;</p> <p>переустройство барьерного места: участок пути ПК 231+98,1 – ПК 237+1,02 радиус 490 м кривой увеличивается до 775 м, а длины переходных кривых уменьшаются с 140 м до 100 м; при этом максимальное значение сдвижки вправо – 10,78 м, что приводит к переносу 18 опор контактной сети №82, №83, №84, №85, №86, №87, №88, №89, №92, №93, №94, №95, №96, №97, №98, №99, №100, №101;</p> <p>участок пути ПК 265+98,8 – ПК 270+20,1 радиус кривой 629 м увеличивается до 775 м, а длины переходных кривых увеличиваются от 90 до 100 м, что приводит к максимальному значению сдвижки вправо – 3,23 м, и, соответственно, к переносу 14 опор контактной сети №216, №217 №218, №219, №220, №221, №222, №223, №224, №225, №226, №227, №228, №229;</p> <p>Реконструкция моста: переустройство малого железобетонного моста с отверстием 4,26 м путем пристройки прямоугольной железобетонной трубы, переустройство требуется в связи с максимальной сдвижкой оси пути 9,48 м из-за увеличения радиуса кривой</p>

На рис. 2 показан поперечный профиль по переустройству малого железобетонного моста путем пристройки прямоугольной железобетонной трубы, что потребовалось в связи с большой сдвижкой оси пути равной 9,48 м из-за увеличения радиуса кривой.



Рис. 2. Поперечник переустройства моста

Разработанные варианты реконструкции участка железнодорожной линии требуют различных затрат и достигают различных результатов.

В первом – *минимальном варианте реконструкции* – требуется меньше капитальных вложений и трудозатрат, не нужно переносить конструкции, однако остается барьерное место, требующее снижения скорости.

В то время как во втором – *максимальном варианте реконструкции* – предусмотрено значительное улучшение параметров плана линии и устранение барьерного места, что приведет к значительному улучшению по критериям R_1, R_2, R_3 .

На рис. 3 показаны графики скорости грузовых и пассажирских поездов в четном направлении по II пути, построенные по результатам тяговых расчетов после реконструкции по максимальному варианту.



Рис. 3. Графики скорости грузовых и пассажирских поездов в четном направлении по II пути, построенные по результатам тяговых расчетов после реконструкции по максимальному варианту

Принятие решения по выбору варианта реконструкции железнодорожной линии

Для принятия решения в многокритериальной детерминированной задаче коллективного выбора варианта реконструкции железнодорожной линии предлагается применить метод линейной свертки критериев. Суть метода состоит в назначении коэффициентов для каждого критерия в линейной функции и ее последующей максимизации или минимизации, в зависимости от цели и задачи [6–8].

Метод линейной свертки зарекомендовал себя в работе по выбору оптимального варианта железнодорожного моста [9].

Сначала необходимо назначить весовые коэффициенты частных критериев эффективности v_j так, чтобы в сумме их значение было равно 1. Они учитывают относительную важность каждого критерия при принятии решения.

Некоторые критерии предпочтительнее минимизировать, например, капитальные вложения и время хода и т.д., а некоторые максимизировать – участковая скорость, экономия в эксплуатационных расходах.

В табл. 3 приведены весовые коэффициенты частных критериев эффективности и направление их оптимизации.

Таблица 3. Весовые коэффициенты критериев и направление оптимизации

Критерий оценки		Значение v_j	Направление оптимизации
R_1	Участковая скорость	0,17	Максимизация
R_2	Время хода	0,17	Минимизация
R_3	Экономия в эксплуатационных расходах	0,20	Максимизация
R_4	Капитальные вложения в реконструкцию	0,30	Минимизация
R_5	Затраты времени работы машин и трудозатраты	0,06	Минимизация
R_6	Доля переустраиваемых участков с выносом на новую ось от общей длины участка реконструкции	0,05	Минимизация
R_7	Количество реконструируемых или вновь строящихся сооружений	0,05	Минимизация

В табл. 4 приведены реальные значения частных критериев эффективности R_j^i по двум сравниваемым вариантам реконструкции.

Таблица 4. Реальные значения частных критериев эффективности R_j^i

Варианты реконструкции	R_1 км/ч (макс.)	R_2 минут (миним.)	R_3 тыс. руб. (макс.)	R_4 тыс. руб. (миним.)	R_5 маш.-ч и чел.-ч (миним.)	R_6 % (миним.)	R_7 шт. (миним.)
x_1	105	7,1	5 321,42	6 154,45	16 228,82	0	6
x_2	116	5,2	8 072,34	9 860,23	23 326,16	1,56	58

Выбранные критерии имеют разную размерность. Поэтому необходимо привести критерии к нормализованному виду. Нормализация критериев – это процесс приведения критериев к единой шкале измерения, чтобы они могли быть сравнимы между собой.

Нормализованные значения для минимизируемых критериев C_j^i рассчитываются как:

$$C_k^i = 1 - \frac{c_k^i}{\max(c_k^i)}.$$

Нормализованные значения для максимизируемых критериев C_j^i рассчитываются как:

$$C_k^i = \frac{c_k^i}{\max(c_k^i)}.$$

В табл. 5 приведены нормализованные значения критериев эффективности и определен показатель S – суммарная оценка критериев с учетом их веса, определенная по формуле:

$$S = \sum_{k=1}^r v_k \cdot C_k^i .$$

Таблица 5. Нормализованные значения частных j -тых критериев C_j по i -тому варианту

Варианты реконструкции	C_1 км/ч (макс.)	C_2 минут (миним.)	C_3 тыс. руб. (макс.)	C_4 тыс. руб. (миним.)	C_5 маш.-ч и чел.-ч (миним.)	C_6 % (миним.)	C_7 шт. (миним.)	S
x_1	105	7,1	5 321,42	6 154,45	16 228,82	0	6	0,51154
x_2	116	5,2	8 072,34	9 860,23	23 326,16	1,56	58	0,41556
v_j	0,17	0,17	0,20	0,30	0,06	0,05	0,05	

В процессе выбора лучшей альтернативы в подобных задачах всегда участвуют несколько сотрудников или отделов, каждый из которых представляет свои интересы и предложения. На основе анализа данных и обсуждения различных аспектов, члены команды выставляют свои предпочтения λ относительно рассматриваемых вариантов в числовой форме, так, чтобы, суммарно коэффициенты предпочтения в сумме были равны 1.

На рис. 4 представлен результат расчета по методу линейной свертки, который выражается в виде функции предпочтительности:

$$pr(x_i)_{i=1}^n = \sum_{j=1}^m \lambda_j^i \left(\sum_{k=1}^r v_k \cdot C_k^i \right).$$

Экспертная группа состоит из главного инженера проекта (ГИП), представителя инвестора, начальника отдела проектирования, отраслевого представителя (ОАО «РЖД»), финансового аналитика. Лицами, принимающие решения (ЛПР) были расставлены оценки предпочтительности λ и в MSExcel определены значения функции предпочтительности.

Альтернативы		Экспертная группа по принятию решения					$pr(x_i)_{i=1}^n$
		 Представитель инвестора	 ГИП	 Начальник отдела проектирования	 Представитель ОАО «РЖД»	 Финансовый аналитик	Значения функции предпочтительности
x_1	λ_1	0,55	0,35	0,5	0,7	0,4	
	S_1	0,51154					
	$\lambda_1 S_1$	0,28	0,18	0,26	0,36	0,20	1,28
x_2	λ_2	0,45	0,65	0,5	0,3	0,6	
	S_2	0,41556					
	$\lambda_2 S_2$	0,19	0,27	0,21	0,12	0,25	1,04

Наилучшим вариантом по предлагаемой модели является минимальный вариант реконструкции x_1

Рис. 4. Результат расчета лучшей альтернативы по линейной многокритериальной модели

Сравнение коллективного и одиночного принятия решения

Рассмотрим тот же пример участка с максимальным и минимальным вариантом реконструкции. Необходимо сделать выбор с помощью метода «идеальной» точки, основываясь тех же семи критериях (табл. 1), в условиях определенности, и задача решается одним ЛПР, веса критериев остаются такими же, как в табл. 3.

Суть метода заключается в нахождении точки, наиболее близкой к идеальной. Идеальная точка считается лучшим из возможных решений, и ее координаты представляют собой комбинацию лучших значений заданных параметров.

Метод «идеальной» точки хорошо зарекомендовал себя для выбора оптимального варианта комплекса защитных сооружений от размыва, принятия решения по выбору типа укрепления водоотводных и нагорных канав и для выбора варианта берегоукрепительного сооружения [10,11].

Нормализованные значения критериев r_j^i рассчитываются:

– для максимизируемых критериев по формуле:

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

– для минимизируемых критериев по формуле:

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

Глобальный критерий рассчитывается по формуле:

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

Была составлена программа «Метод идеальной точки» в MSExcel.

На рис. 5 показан результат расчета. При индивидуальном принятии решений программа рекомендует выбрать максимальный вариант реконструкции.

Метод идеальной точки.								
Какая-то задача	Реальные значения частных j-тых критериев R _j ⁱ по i-тому варианту							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	
x1	105	7,1	5321,42	6154,45	16228,82	0	6	
x2	116	5,2	8072,34	9860,23	23326,16	1,56	58	
Rj+	116	7,1	8072,34	9860,23	23326,16	1,56	58	
Rj-	105	5,2	5321,42	6154,45	16228,82	0	6	
Rj+Rj-	111	1,9	2750,92	3705,78	7097,34	1,56	52	
направление оптимизации, мин/ макс	1	0	1	0	0	0	0	
Вариант решения xi	Нормализованные значения частных j-тых критериев r _j ⁱ по i-тому варианту							Значения глобального
x1	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,75	
x2	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,68	
Весовые коэффициенты c _j	0,17	0,17	0,2	0,3	0,06	0,05	0,05	
Проверка: проверка пройдена								1
Наиболее целесообразно принять вариант с минимальным значением глобального критерия. Получаем значение равное = 0,68								
Оптимальный вариант решения задачи = x2								

Решение, рекомендуемое программой –
Максимальный вариант реконструкции – X2

Метод «идеальной» точки
Один ЛПР

Метод линейной свёртки							
Варианты	Реальные значения частных j-тых критериев C _j по i-тому варианту						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Реконструкция	мм/ч (макс.)	минут (мин.)	тыс. руб. (макс.)	тыс. руб. (мин.)	Экономия в эксл-х ра- вложения	Кап. затраты	Трудо- траиваемых сооружений
Участковая скорость	Время	Экономия	Кап.	Трудо-	Доля переу- траиваемых сооружений	Кол-во	
x1	105	7,1	5321,42	6154,45	16228,82	0	6
x2	116	5,2	8072,34	9860,23	23326,16	1,56	58
x1	0,905	0	0,66	0,376	0,30	1	0,897
x2	1	0,268	1,00	0	0,00	0	0
Vk	0,17	0,17	0,20	0,3	0,06	0,05	0,05
Предпочтения экспертов							
	A1	A1S1	A2	A2S2			
Представитель инвестора	0,55	0,28	0,45	0,19			
Главный инженер проекта	0,35	0,18	0,65	0,27			
Начальник отдела изыскани	0,5	0,26	0,5	0,21			
Отраслевой представитель	0,7	0,36	0,3	0,12			
Финансовый аналитик	0,4	0,20	0,6	0,25			
предпочтительности по	PP(X ₁ , X ₂)				1,28		
монотонной линей					1,04		
модели	Целесообразно выбирать вариант с наибольшим значением функции предпочтительности						
	Оптимальный вариант решения задачи X1						

Решение, рекомендуемое программой –
Минимальный вариант реконструкции X1

Метод линейной свёртки
Пять ЛПР

Рис. 5. Сравнение результатов двух методов

Лучшим будет то решение, которое является оптимальным для конкретной ситуации. Коллективное принятие решения является осредненным мнением отдельных экспертов, и предполагается, что такое мнение близко к «истинному», так как в данном случае больше уровень обоснованности и качества, разнообразие аргументированных мнений и уменьшение вероятности ошибок. Однако этот процесс может быть затратным по времени и ресурсам. Индивидуальное принятие решения также может оказаться верным, осуществляется обычно быстрее и требует меньше ресурсов. Выбор между этими двумя подходами зависит от конкретной проблемы и предпочтений организации [12–14].

Заключение

Реконструкция железнодорожного участка – многофакторная задача, требующая учета различных критериев. Хотя финансовый показатель является определяющим при выборе того

или иного проектного решения, однако его *недостаточно*, чтобы учесть множество обстоятельств и рисков.

Для нахождения наилучшей альтернативы были использованы методы из теории принятия решений. На практике подобные решения принимаются коллективно, с участием всех заинтересованных лиц. Однако мнения участников могут быть противоречивы между собой. Модель линейной свертки позволяет учесть оценку каждого эксперта быстро и эффективно. К тому же, такая модель адаптивна к изменениям, если мнение или ситуация изменились, без труда можно менять коэффициенты и видеть итоговый результат.

Один нюанс в том, что до определения предпочтений экспертов, веса критериям эффективности назначаются все же одним ЛПР, так как если позволить каждому эксперту назначить свои веса критериям, то задача будет переходить в другую плоскость, решение которой следует находить в других математических моделях, в частности теория мультимножества может дать ответ на данный вопрос [15], что планируется изучать в дальнейшем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубровская Т.А., Тавтын А.В. Реконструкция участка железной дороги с целью увеличения скоростей движения поездов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2022. № 1(73). С. 64–74.

2. Морозова А.Е., Новак Е.Д., Кравчук И.С. Новые подходы к определению приоритетности выбора участка железнодорожного пути для проведения ремонта (реконструкции) // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки : материалы Всероссийской конференции с международным участием. Москва, 2019. С. 308–312.

3. Казарина В.В., Подвербный В.А. Принятие решения по выбору варианта трассы железнодорожной линии // Мир транспорта. 2019. Т. 17. № 3 (82). С. 140–151.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Пиявский С. А. Метод универсальных коэффициентов при принятии многокритериальных решений // Онтология проектирования. 2018. Т. 8. № 3 (29). С. 449–468.

8. Математическое моделирование многомерной оптимизации производства тонкоплечных структур методом свертки критериев / Е.О. Тарасенко, А.В. Шапошников, А.В. Гладков и др. // Инженерный вестник Дона. 2019. № 4 (55). URL : https://elibrary.ru/download/elibrary_39277831_12545754.pdf.

9. Феоктистова М.В., Зуев М.В. Выбор варианта железнодорожного моста на основе методов «идеальной» точки и линейной свертки // Молодая наука Сибири. 2024. № 1(23). URL : <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/1557/1111>.

10. 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.

11. 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.

12. Веприкова М.Я. Коллективные методы принятия решений в современных организациях, их эффективность // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Т. 8. № 9А. С. 353–360.

13. Степанова А.Ю. Индивидуальные и коллективные решения проблем уникального выбора // Экономическая наука сегодня: теория и практика : сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. Чебоксары, 2017. С. 142–145.

14. Трушкина С. И. Особенности коллективного выбора решений // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2019. № 5-1(33). С. 251–254.

15. Петровский А.Б. Теория измеримых множеств и мультимножеств. М. : Наука, 2018. 359 с.

REFERENCES

1. Dubrovskaya T.A., Tavtyn A.V. Rekonstruktsiya uchastka zheleznoi dorogi s tsel'yu uvelicheniya skorosti dvizheniya poezdov [Reconstruction of a railway section to increase traffic speed]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2022, no 1 (73), pp. 64–74.

2. Morozova A.E., Novak E.D., Kravchuk I.S. Novye podkhody k opredeleniyu prioritetnosti vybora uchastka zheleznodorozhnogo puti dlya provedeniya remonta (rekonstruktsii) [New approaches to determining the priority of choosing a section of a railway track for repair (reconstruction)]. *Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya otraslevoi nauki»* [Proceedings of the All-Russian Conference with international participation «Current state, problems and prospects for the development of industry-specific science»]. Moscow, 2019, pp. 308–312.

3. 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.

4. Koval'chuk M.V., Kazarina V.V., Podverbnyi V.A. Mnogokriterial'noe sravnenie variantov proektnykh reshenii na osnove kompleksnogo kriteriya [Multicriteria comparison of design solutions 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.

5. 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.

6. 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.

7. Piyavskii S.A. Metod universal'nykh koeffitsientov pri prinyatii mnogokriterial'nykh reshenii [Method of universal coefficients when making multicriteria decisions] *Ontologiya proektirovaniya* [Design Ontology], 2018, Vol. 8, no 3 (29), pp. 449–468.

8. Tarasenko E.O., Shaposhnikov A.V., Gladkov A.V., Tarasenko V.S. Matematicheskoe modelirovanie mnogomernoi optimizatsii proizvodstva tonkoplechnykh struktur metodom svertki kriteriev [Mathematical modeling of multidimensional optimization of the production of thin-film structures by the method of convolution of criteria]. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2019, no 4 (55). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_39277831_12545754.pdf.

9. Feoktistova M.V., Zuev M.V. Vybor varianta zheleznodorozhnogo mosta na osnove metodov «ideal'noi» tochki i lineinoi svertki [Selection of a railway bridge option based on the “ideal” point and linear convolution methods] *Molodaya nauka Sibiri* [The Young Science of Siberia], 2024, no 1 (24). Available at: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/1557/1111>.

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

11. Feoktistova M.V., Podverbnyi V.A. Vybora beregoukrepitel'nogo sooruzheniya dlya Kругобаikal'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.

12. 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.

13. Stepanova A.Yu. Individual'nye i kollektivnye resheniya problem unikal'nogo vybora [Individual and collective solutions to the problems of a unique choice]. *Sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekonomicheskaya nauka segodnya: teoriya i praktika»* [Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference «Economic science today: theory and practice»]. Cheboksary, 2017, pp. 142–145.

14. Trushkina S.I. Osobennosti kollektivnogo vybora reshenii [Features of collective choice of decisions]. *Skif. Voprosy studencheskoj nauki* [Skif. Questions of student science], 2019, no 5-1 (33), pp. 251–254.

15. Petrovskii A.B. Teoriya izmerimyykh mnozhestv i mul'timnozhestv [Theory of measurable sets and multisets]. Moscow: Nauka Publ., 2018, 359 p.

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.

Подвербный Вячеслав Анатольевич – д. т. н., доцент, профессор кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: vpodverbnyi@mail.ru.

Титов Константин Михайлович – к. т. н., доцент, и.о. заведующего кафедрой «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: forestgamping@mail.ru.

Information about the authors

Feoktistova Margarita Vladimirovna – Ph.D. Student of the Department of Construction of Railways, Bridges and Transport Tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: bambuk09990@gmail.com.

Podverbnyi Vyacheslav Anatol'evich – Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department of Construction of Railways, Bridges and Tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: vpodverbnyi@mail.ru.

Titov Konstantin Mikhailovich – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Construction of Railways, Bridges and Tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: forestgamping@mail.ru.