

# АГРЕГИРОВАННЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ УЛАН-БАТОРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

С.И. Носков, М.П. Базилевский, Ю.А. Трофимов, Архит Буяннэмэх  
*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск*

В статье рассматривается проблема разработки (формирования) функции эффективности (агрегированного критерия, свертки критериев) входящих в состав Улан-Баторской железной дороги (УБЖД) участков, которая содержала бы специальным образом взвешенные частные характеристики качества функционирования этих участков. Решение этой проблемы осуществляется на основе разработанной в Иркутском государственном университете путей сообщения информационно-вычислительной технологии (ИВТ) многокритериального оценивания эффективности функционирования сложных социально-экономических и технических систем. ИВТ позволяет на модельном уровне оценивать эту эффективность одним числом (выраженным, например, в процентах), что открывает широкие возможности в управлении этими системами, поскольку позволяет выполнять, в частности, масштабный многофакторный сравнительный анализ деятельности однородных организационных и других структур и принимать на этой основе решения самого различного характера. Построена функция эффективности функционирования участков УБЖД, включающая в свой состав взвешенные частные индикаторы такой эффективности: погрузка, статическая нагрузка, выгрузка, отправление вагонов, перевозка пассажиров, простои вагонов с одной переработкой, простои местных вагонов, простои транзитных вагонов с переработкой, простои транзитных вагонов без переработки. На основе этой функции рассчитана масштабированная на сто процентов эффективность каждого участка. При этом все показатели предпочтения упорядочены по убыванию значимости. Подобная информация, формируемая с годичной периодичностью, может быть весьма полезна руководству УБЖД для принятия широкого спектра управленческих, в том числе кадровых, решений. Аналогичная работа может быть выполнена в интересах РАО РЖД.

*Ключевые слова:* железная дорога, участки, функция эффективности, частные показатели эффективности, многокритериальность, теория принятия решений.

## ВВЕДЕНИЕ

Улан-Баторская железная дорога (УБЖД) играет ключевую роль в экономике и социальной сфере Монголии. Достаточно указать величины только двух важнейших показателей – около 30 млн. тонн объема погрузки и более 5 млн. перевезенных пассажиров в год. Весьма эффективным средством анализа закономерностей функционирования железнодорожной отрасли является аппарат математического моделирования. Так, в работе [1] рассмотрена математическая модель системы управления скоростью движения, включающая в себя модели грузового поезда. Для моделирования динамических процессов тяговой передачи в приложении Simulink/Matlab разработана комплексная модель системы и всего грузонапряжённого маршрута Толгойт - Чойр. В исследовании включены локомотивы 2ЭС5К, 2ТЭ116УМ, 2ТЭ116УД, EVOLUTION MR1001, DASH01, газотурбовоз ГТh-001, УБЖД. В [2] рассмотрены некоторые аспекты математического моделирования устойчивости конструкционных материалов подвижного состава железных дорог Монголии к воздействиям опасных факторов чрезвычайных ситуаций.

Оценке эффективности функционирования железнодорожного транспорта посвящено значительное количество работ. Так, в статье [3] к числу важных его индикаторов предложено относить пропускную способность линий, качество обслуживания пассажиров, стоимость проезда, наличие мест и время пересадок. В [4] предлагается особое внимание уделять показателям, отражающим экологические последствия деятельности железных дорог. Ключевым фактором деятельности пассажирского железнодорожного транспорта в Китае является уровень комфортности (см., например, [5]). Наконец, в [6] предлагается в первую очередь учитывать индикаторы, отражающие динамику спроса на транспортные услуги с учетом цен на перевозку одной тонны груза в грузовом железнодорожном транспорте.

Настоящая работа посвящена решению важной проблемы разработки (формирования) функции эффективности (агрегированного критерия, свертки критериев) входящих в состав УБЖД участков, которая содержала бы взвешенные специальным образом частные характеристики качества функционирования этих участков. Такая функция позволяет оценить это качество не набором характеристик, а **одним числом**, выраженном, например, в процентах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В состав УБЖД входят пять участков: Сухэ-Батор – Зуунхараа (участок №1); Зуунхараа – Улан-Батор (участок №2); Улан-Батор – Чойр (участок №3); Чойр – Сайншанд (участок №4); Сайншанд – Замын-Удэ (участок №5). Принято считать, что эффективность функционирования каждого из этих участков характеризуется следующими частными показателями (критериями, факторами, индикаторами):

- $x_1$  – погрузка (тонны);
- $x_2$  – погрузка (вагоны);
- $x_3$  – статическая нагрузка (тонны);
- $x_4$  – выгрузка (вагоны);
- $x_5$  – отправление (вагоны);
- $x_6$  – перевозка пассажиров (пассажиры);
- $x_7$  – простои вагонов с одной переработкой (часы);
- $x_8$  – простои местных вагонов (часы);
- $x_9$  – простои транзитных вагонов с переработкой (часы);
- $x_{10}$  – простои транзитных вагонов без переработки (вагоны/часы).

Оценить обобщенно эффективность функционирования каждого из пяти участков УБЖД с помощью перечисленных десяти показателей проблематично, поскольку по одному из них лучшим может быть один участок, по другому – второй и т.д. В результате, как правило, эти участки оказываются несравнимыми по эффективности, что делает невозможным их упорядочение, сильно затрудняет процедуру выявления лидеров и аутсайдеров и сужает тем самым возможности для принятия необходимых управленческих, в том числе, организационных решений.

В Иркутском государственном университете путей сообщения (ИрГУПС) разработана информационно-вычислительная технология (ИВТ) многокритериального оценивания эффективности

функционирования сложных социально-экономических и технических систем (см., в частности, работы [7, 8]). ИВТ позволяет на модельном уровне оценивать эту эффективность одним числом (выраженным, например, в процентах), что открывает широкие возможности в управлении этими системами, поскольку позволяет выполнять, в частности, масштабный многофакторный сравнительный анализ деятельности однородных организационных и других структур и принимать на этой основе решения самого различного характера.

Основанная на методах математической теории принятия решений информационно-вычислительная технология позволяет посредством обработки статистической и специальным образом сформированной экспертной информации строить линейную, а в более общих случаях аддитивную или мультипликативную свертки частных показателей эффективности деятельности объектов анализа, что и приводит к возможности агрегированной оценки этой эффективности одним числом. При этом одновременно со сворачиванием, агрегированием частных критериев эффективности может производиться проверка и учет допустимости или степени недопустимости их значений.

Отметим, что данная технология успешно использовалась для агрегированной оценки уровней пожарной безопасности территорий и уязвимости объектов транспортной инфраструктуры [9, 8], а также для оценки высших учебных заведений Российской Федерации [10].

Применим эту технологию для решения сформулированной выше проблемы.

В таблице 1 приведены данные о функционировании каждого из пяти участков УБЖД в 2019 и 2020 годах.

Табл. 1. Показатели функционирования участков УБЖД в 2019 и 2020 годах

Участок	Год	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
№1	2019	8447381	124420	60	38090	1071597	2805858	8	23	13	7
	2020	12233853	136019	61	39902	1156063	2398991	10	21	10	2
№2	2019	403881	37308	26	171001	952428	2805858	11	26	12	4
	2020	434263	28892	27	163897	1014295	2398991	11	23	9	3
№3	2019	4219578	92473	47	147669	1105627	123452	12	24	9	1,23
	2020	5355602	101991	51	145816	1069386	93809	12	22	7	1,28
№4	2019	6787638	102033	61	11790	1419865	123452	13	24	7	1
	2020	7225302	108329	62	10397	1429805	93809	9	22	6	1,61
№5	2019	784783	12589	61	10856	1005752	123452	10	20	8	5,32
	2020	742158	12625	56	17539	1083792	93809	9	18	6,32	1,61

В соответствии с реализованной в ИВТ алгоритмической схемой выделим в столбцах таблицы 1 минимальное и максимальное значение для каждого частного показателя эффективности, после чего на основе построенных отрезков случайным образом сгенерируем двадцать возможных

(гипотетических) сценариев функционирования всех пяти участков (таблица 2).

Отметим, что среди сценариев в таблице 2 нет такого, который либо превосходит все остальные сценарии, либо хуже их абсолютно по всем показателям, т.е. все сценарии образуют так называемое множество Парето, являющееся

ключевым в теории решения многокритериальных задач (см., например, [11]).

Затем проведем специальным образом организованную экспертизу данных таблицы 2. Отметим, что в состав экспертной группы вошли руководители УБЖД, специалисты-железнодорожники и высококвалифицированные ученые. В результате экспертизы была сформирована матрица парных сравнений эффективности функционирования участков (таблица 3).

Для пояснения содержания таблицы 3 рассмотрим ее первую строку. Символ "1" означает, что, по мнению экспертов, первый объект функционирует не хуже второго; "-1" – что первый объект

функционирует не лучше пятнадцатого; "0" – что объекты первый и одиннадцатый обладают одинаковой эффективностью; "#" – эксперты затрудняются в сравнительной оценке эффективности объектов первого и седьмого.

Для обработки экспертных мнений была использована программа [4], в которой реализован весьма сложный в вычислительном отношении алгоритм, основанный на применении математического аппарата линейного программирования. Предварительно показатели  $x_7, x_8, x_9$  и  $x_{10}$  в таблице 2 были преобразованы с помощью операции  $1/x_i, i = 7, 10$ .

Табл. 2. Возможные сценарии функционирования участков

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
1	8036747	110566,8	44,82421	14979,52	1050522	1476632	12,5	24,7	6,7	3,4
2	6018261	54927,09	40,5043	96904,44	1175735	225702,9	9,3	24,7	11,6	3,3
3	8731872	77422,55	40,69557	94722,33	1122541	2197370	11,3	19,2	8,9	4,9
4	735226,4	85768,72	58,22164	63799,67	1374401	349956,1	10,4	24,1	6,4	2,5
5	5298755	118603	43,55253	22866,23	1211331	1930566	11,0	19,5	9,2	6,6
6	8840601	88217,2	34,80527	140193	1162935	918456,4	8,2	20,4	9,6	4,3
7	1967870	72892,36	41,41322	112091,1	1254063	1616340	10,0	23,1	11,8	2,5
8	1932917	101431,8	60,47443	91665,25	1014318	2770890	8,4	19,9	8,1	1,4
9	914084,9	28064,03	42,27437	66959,62	1075587	990085,9	10,6	23,3	8,8	1,3
10	6164209	72335,65	26,36309	130263	1340412	799444,5	11,8	21,8	9,1	5,3
11	8846937	64892,45	56,949	96368,72	1012915	262211,6	9,3	22,3	9,2	4,1
12	9325483	39563,16	53,52758	151418,2	1132071	2024105	10,1	23,3	12,6	6,8
13	599372,5	116771,1	49,73864	92114,42	1406486	475614,9	9,3	20,2	11,1	3,2
14	6169165	25307,52	46,85548	43434	1023781	2298304	12,5	18,3	7,9	2,1
15	11597562	34794,47	55,18069	18833,16	1091527	1006268	12,9	21,4	12,6	2,6
16	9003020	127836,7	56,24891	54912,85	966790,8	2289271	12,2	25,6	11,4	4,8
17	5379995	24054,8	31,34823	160107,3	1044151	2553989	8,5	25,3	8,1	3,0
18	2916310	62570,82	52,35917	167757,1	1288090	381235,3	8,2	20,2	9,3	6,1
19	3539974	100543,1	35,67301	49926,93	1144204	288608,2	12,2	24,4	10,6	2,6
20	6575537	56215,24	29,96763	55167,41	965780,7	1911405	12,3	22,3	10,3	4,8

Табл. 3. Матрица парных сравнений эффективности функционирования участков

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	■	1	0	1	1	0	#	#	#	1	0	0	1	1	-1	0	1	#	#	1
2	-1	■	-1	0	0	-1	#	#	#	0	-1	-1	1	0	-1	-1	0	#	#	0
3	0	1	■	0	1	0	#	#	#	1	0	-1	#	1	-1	-1	1	1	1	1
4	-1	0	0	■	#	#	-1	-1	0	#	#	#	0	-1	#	-1	-1	-1	-1	-1
5	-1	0	-1	1	■	-1	1	1	1	-1	-1	-1	#	-1	-1	-1	0	1	1	-1
6	0	1	0	#	1	■	1	1	1	1	0	-1	#	-1	-1	-1	1	1	1	1
7	#	#	#	1	-1	-1	■	0	0	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
8	#	#	#	1	-1	-1	0	■	1	-1	-1	-1	1	-1	#	-1	-1	-1	-1	-1
9	#	#	#	1	-1	-1	-1	-1	■	-1	-1	-1	-1	-1	#	-1	-1	-1	-1	-1
10	-1	0	-1	1	1	-1	1	1	1	■	-1	-1	1	0	-1	-1	1	1	1	0
11	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	■	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
12	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	■	1	1	1	0	-1	-1	-1	-1
13	-1	-1	#	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	■	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
14	-1	0	-1	1	1	-1	1	1	1	0	-1	-1	1	■	-1	-1	-1	1	1	0
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	■	1	1	1	1	1
16	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	-1	■	1	1	1	1
17	-1	0	-1	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	■	1	1	-1
18	#	#	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	■	-1	-1
19	#	#	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	■	-1
20	-1	0	-1	1	1	-1	1	1	1	0	-1	-1	1	0	-1	-1	-1	1	1	■

В результате работы программы был получен следующий агрегированный критерий эффективности функционирования участков УБЖД:

$$R = 3,2949 \cdot 10^{-6} x_1 + 3,72 \cdot 10^{-5} x_2 + 0,0985 x_3 + 5,961 \cdot 10^{-6} x_4 + 1,942 \cdot 10^{-5} x_5 +$$

$$+5,505 \cdot 10^{-7} x_6 + 8,2x_7^{-1} + 18,3x_8^{-1} + 42,066x_9^{-1} + 16,4616x_{10}^{-1}. \quad (1)$$

Для оценки значимости частных показателей эффективности по данным из таблицы 2 были вычислены их средние вклады  $AC_j$ ,  $j = \overline{1,10}$ , как произведение средних значений  $\overline{x_i}$ ,  $i = \overline{1,6}$ ,  $\overline{x_i^{-1}}$ ,  $i = \overline{7,10}$  на соответствующие коэффициенты функции (1):  $AC_1 = 18,549$ ,  $AC_2 = 2,721$ ,  $AC_3 = 4,436$ ,  $AC_4 = 0,514$ ,  $AC_5 = 22,195$ ,  $AC_6 = 0,737$ ,  $AC_7 = 0,795$ ,  $AC_8 = 0,832$ ,  $AC_9 = 4,507$ ,  $AC_{10} = 5,367$ .

На основе этих значений можно сделать вывод, что наиболее важными показателями, существенно влияющими на эффективность функционирования участков УБЖД, являются  $x_5$  (отправление вагонов) и  $x_1$  (погрузка в тоннах). Показатели  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_9$ ,  $x_{10}$  влияют на эффективность в средней степени, а для факторов  $x_4$ ,  $x_6$ ,  $x_7$ ,  $x_8$  это влияние прослеживается слабо. Полное упорядочение всех десяти частных

индикаторов эффективности может быть представлено в виде:

$$x_5 \succ x_1 \succ x_9 \succ x_{10} \succ x_3 \succ x_2 \succ x_8 \succ x_7 \succ x_6 \succ x_4,$$

где  $\succ$  – отношение строгого предпочтения.

С помощью агрегированного критерия (1) по данным из таблицы 2 была определена эффективность  $R_i$ ,  $i = \overline{1,10}$  функционирования сформированных 20 участков по 100-балльной шкале:  $R_1 = 68,83$ ,  $R_2 = 59,63$ ,  $R_3 = 68,99$ ,  $R_4 = 53,31$ ,  $R_5 = 59,63$ ,  $R_6 = 69,87$ ,  $R_7 = 50,94$ ,  $R_8 = 56,71$ ,  $R_9 = 49,05$ ,  $R_{10} = 62,11$ ,  $R_{11} = 67,85$ ,  $R_{12} = 68,82$ ,  $R_{13} = 50,06$ ,  $R_{14} = 62,10$ ,  $R_{15} = 77,96$ ,  $R_{16} = 68,82$ ,  $R_{17} = 56,71$ ,  $R_{18} = 52,44$ ,  $R_{19} = 53,31$ ,  $R_{20} = 55,84$ .

Отсюда следует, что наиболее эффективным следует признать сценарий №15 (77,96 баллов), а самым неэффективным – №9 (49,05 баллов).

Затем с помощью агрегированного критерия (1) на основе данных из таблицы 1 была вычислена эффективность функционирования всех пяти реальных участков УБЖД. Результаты представлены в таблице 4.

Табл. 4. Эффективность функционирования участков УБЖД в 2019 и 2020 годах

Участок	Год	Оценка эффективности участка	Место участка
№1	2019	68,36	2
	2020	89,51	1
№2	2019	35,41	5
	2020	38,86	5
№3	2019	63,89	3
	2020	68,53	3
№4	2019	83,74	1
	2020	80,8	2
№5	2019	38,81	4
	2020	48,44	4

Таким образом, по убыванию степени эффективности в 2019 году участки УБЖД можно упорядочить следующим образом: №4 (83,74 баллов), №1 (68,36 баллов), №3 (63,89 баллов), №5 (38,81 баллов) и №2 (35,41 баллов). В 2020 году подобное упорядочение имеет вид: №1 (89,51 баллов), №4 (80,8 баллов), №3 (68,53 баллов), №5 (48,44 баллов) и №2 (38,86 баллов). Помимо этого, таблица 4 позволяет произвести анализ динамики изменения эффективности во времени. Так, эффективность функционирования участка №1 за год увеличилась на 21,15 баллов, №2 – на 3,45 баллов, №3 – на 4,64 баллов, №5 – на 9,63 баллов. А вот эффективность функционирования участка №4 (Чойр – Сайншанд) за год снизилась на 2,94 баллов.

Подобная информация, формируемая с годичной периодичностью, может быть весьма полезна руководству УБЖД для принятия широкого спектра управленческих, в том числе кадровых, решений.

Отметим, что при формировании таблицы 3 экспертам приходилось оперировать векторами

значений частных показателей эффективности, содержащими десять компонент, что делать было весьма затруднительно, поэтому в практическую деятельность УБЖД функцию (1) следует внедрять с известной осторожностью. Она может быть существенным образом уточнена при использовании реализованных в рамках ИВТ алгоритмов, предусматривающих возможность совместного оперирования подобными векторами небольших – из 3-4 компонент, - размерностей, что значительно облегчает работу экспертов и делает ее более достоверной. Кроме того, возможно, в (1) имеет смысл ввести поправочные коэффициенты, зависящие от масштабов участков УБЖД.

Следует также обратить внимание, что подобные (1) (и гораздо более гибкие, а потому более адекватные) функции эффективности могут быть весьма полезны после их разработки как для структурных составляющих РАО РЖД, так и для их отдельных подразделений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе на основе созданной в ИрГУПС информационно-вычислительной технологии сформирована функция эффективности функционирования участков УБЖД, включающая в свой состав взвешенные частные характеристики такой эффективности: погрузка, статическая нагрузка, выгрузка, отправление вагонов, перевозка пассажиров, простои вагонов с одной переработкой, простои местных вагонов, простои транзитных вагонов с переработкой, простои транзитных вагонов без переработки. На основе этой функции рассчитана масштабированная агрегированная эффективность каждого участка, а все частные показатели эффективности упорядочены по важности. Подобная информация, формируемая с годичной периодичностью, может быть весьма полезна руководству УБЖД для принятия широкого спектра управленческих, в том числе кадровых, решений.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бурэн-Итгэл Г., Пречиский В.А. Применение метода математического моделирования динамических процессов в различных локомотивах с целью повышения энергоэффективности в условиях железных дорог Монголии // Промышленная энергетика. 2021. № 2. С. 48-56.
2. Ляшенко С.М., Гантумур Э. Основы математического моделирования устойчивости конструкционных материалов подвижного состава железных дорог Монголии к воздействиям опасных факторов чрезвычайных ситуаций // В сборнике: Устойчивость материалов к внешним воздействиям. Сборник трудов I Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 108-113.
3. Liu J., Schonfeld P.M., Li A., Peng Q., Yin Y. Effects of Line-Capacity Reductions on Urban Rail Transit System Service Performance // Journal of Transportation Engineering Part A: Systems. 2020. 146(10). 040201184.
4. Cheng Y.-H. Railway safety climate: a study on organizational development // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2019. 25(2). P. 200-216.

5. Zhang Y., Chen Z., Wang J., Wu P. Research on the Comfort Control Technology of the ATO System in High-speed Railway // Journal of Railway Engineering Society. 2019. 36(3). P. 67-71.

6. Danis J., Dolinayova A., Cerna L., Zitricky V. Impact of the economic situation in the Slovak Republic on performances of railway transport // Transportation Engineering. 2019. 47(2). P. 118-123.

7. Носков С.И., Протопопов В.А. Оценка уровня уязвимости объектов транспортной инфраструктуры: формализованный подход // Современные технологии. Современный анализ. Моделирование. 2011. №4(32). С. 241-244.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016615930 Российская Федерация. Программа автоматизации процесса агрегирования частных критериев: № 2016613102: заявл. 05.04.2016 : опубл. 02.06.2016 / М. П. Базилевский, С. И. Носков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ИрГУПС).

9. Белоусов К. Н., Бутырин О.В., Носков С.И. Методика оценки результатов экспертизы в решении многокритериальных задач // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. № 1(17). С. 38-43.

10. Баенхаева А.В. Базилевский М.П., Носков С.И. Агрегированный критерий оценки качества высших учебных заведений Российской Федерации // Известия Байкальского государственного университета. 2016. т. 26. № 3. С. 493-501.

11. Носков С.И. Технология моделирования объектов с нестабильным функционированием и неопределенностью в данных. Иркутск. Облформпечать. 1996. 320 с.

*Носков Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: sergey.noskov.57@mail.ru*

*Базилевский Михаил Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика» Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: mik2178@yandex.ru*

*Трофимов Юрий Анатольевич – кандидат технических наук, первый проректор Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: trofimov\_y@irgups.ru*

*Архит Буяннэмх – магистрант Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: buyan\_s@yahoo.com*

# AGGREGATED CRITERION FOR ESTIMATING THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF SECTIONS OF THE ULAN-BATOR RAILWAY

**S.I. Noskov, M.P. Bazilevskiy, Yu.A. Trofimov, Archyt Buyannemekh**

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk*

**Abstract** – The article discusses the problem of developing (forming) an efficiency function (aggregated criterion, convolution of criteria) of the sections included in the Ulan Bator Railway (UBZhD), which would contain specially weighted private characteristics of the quality of the functioning of these sections. The solution to this problem is carried out on the basis of the information and computational technology (ICT) developed at the Irkutsk State University of communication lines for multi-criteria assessment of the effectiveness of the functioning of complex socio-economic and technical systems. IWT makes it possible at the model level to evaluate this efficiency by one number (expressed, for example, as a percentage), which opens up ample opportunities in the management of these systems, since it allows performing, in particular, a large-scale multifactorial comparative analysis of the activities of homogeneous organizational and other structures and on this basis solutions of the most varied nature. The function of the effectiveness of the functioning of the UBZhD sections has been built, which includes weighted private indicators of such efficiency: loading, static load, unloading, dispatch of cars, transportation of passengers, idle time of cars with one processing, idle time of local cars, idle time of transit cars with processing, idle time of transit cars without processing. Based on this function, a 100% scaled efficiency is calculated for each site. Moreover, all preference indicators are sorted in descending order of importance. Such information, generated on a yearly basis, can be very useful to the UBZhD leadership for making a wide range of managerial, including personnel, decisions. Similar work can be performed in the interests of RAO Russian Railways.

**Index terms:** railway, sections, efficiency function, private performance indicators, multi-criteria, decision-making theory.

## REFERENCES

1. Buren-Itgal G., Prechisky V.A. Application of the method of mathematical modeling of dynamic processes in various locomotives in order to improve energy efficiency in the conditions of the railways of Mongolia // *Promyshlennaya energetika*. 2021. No. 2. P. 48-56.
2. Lyashenko SM, Gantumur E. Fundamentals of mathematical modeling of the stability of structural materials of rolling stock of Mongolian railways to the effects of hazardous factors of emergency situations // In the collection: *Material stability to external influences. Proceedings of the I All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2019. P. 108-113.
3. Liu J., Schonfeld P.M., Li A., Peng Q., Yin Y. Effects of Line-Capacity Reductions on Urban Rail Transit System Service Performance // *Journal of Transportation Engineering Part A: Systems*. 2020. 146(10). 040201184.
4. Cheng Y.-H. Railway safety climate: a study on organizational development // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2019. 25(2). P. 200-216.
5. Zhang Y., Chen Z., Wang J., Wu P. Research on the Comfort Control Technology of the ATO System in High-speed Railway // *Journal of Railway Engineering Society*. 2019. 36(3). P. 67-71.
6. Danis J., Dolinayova A., Cerna L., Zitricky V. Impact of the eco-nomic situation in the Slovak Republic on performances of railway transport // *Transportation Engineering*. 2019. 47(2). P. 118-123.
7. Noskov S.I., Protopopov V.A. Assessment of the level of vulnerability of transport infrastructure objects: a formalized approach // *Modern technologies. Modern analysis. Modeling*. 2011. No. 4 (32). P. 241-244.
8. Certificate of state registration of the computer program No. 2016615930 Russian Federation. Program for automating the process of aggregating private criteria: No. 2016613102: Appl. 04/05/2016: publ. 06/02/2016 / M. P. Bazilevsky, S. I. Noskov; Applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Irkutsk State Transport University" (FGBOU VO IrGUPS).
9. Belousov K.N., Butyrin O.V., Noskov S.I. Methodology for assessing the results of examination in solving multicriteria problems // *Modern technologies. System analysis. Simulation*. 2008. No. 1 (17). P. 38-43.
10. Baenkhayeva A.V. Bazilevsky M.P., Noskov S.I. Aggregated criterion for assessing the quality of higher educational institutions of the Russian Federation // *Bulletin of the Baikal State University*. 2016. vol. 26. No. 3. S. 493-501.
11. Noskov S.I. A technology for modeling objects with unstable functioning and uncertainty in the data. Irkutsk. Oblinformpechat. 1996. 320 p.

*Noskov Sergey Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Systems and Information Protection, Irkutsk State Transport University, e-mail: sergey.noskov.57@mail.ru*

*Bazilevskiy Mikhail Pavlovich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of Mathematics, Irkutsk State Transport University, e-mail: mik2178@yandex.ru*

*Trofimov Yuri Anatol'evich – Candidate of Technical Sciences, First Vice-Rector, Irkutsk State Transport University, e-mail: trofimov\_y@irgups.ru*

*Arhit Buyannemekh – Master student, Irkutsk State Transport University, e-mail: buyan\_s@yahoo.com*