ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛЕБАНИЙ ВАГОНПОТОКОВ ПО СТЫКОВЫМ ПУНКТАМ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-1-35-40

Manuscript received 22 October 2020
Accepted 20 December 2020

Маловецкая Екатерина Викторовна,
ФГБОУ ВО "Иркутский государственный университет путей
сообщения", г. Иркутск, Россия, katerina8119@mail.ru

Большаков Роман Сергеевич,
ФГБОУ ВО "Иркутский государственный университет путей
сообщения", г. Иркутск, Россия, Bolshakov_rs@mail.ru

Ключевые слова: математическая модель,
временной ряд, моделирование погрузки,
системный подход, неравномерность
вагонопотоков, прогнозирование погрузки,
прогнозный анализ, модель прогноза

Исследование внутригодовой динамики вагонопотоков, сдаваемых по пунктам стыкования железных дорог РФ – существенная часть перспективного прогнозирования, планирования и анализа работы транспорта. Увеличение ритмичности производственного процесса напрямую связано с оценкой неравномерности вагонопотоков. Возможность прогнозирования неравномерности перевозочного процесса, а также неравномерности погрузки с установлением соответствующих показателей – ключевой вопрос в ритмичности работы транспорта. Проведен анализ структуры временных рядов колебаний вагонопотоков по пунктам стыкования железных дорог с целью дальнейшего построения модели прогноза колебаний вагонопотоков и в дальнейшем погрузки грузов в адрес портов Дальнего Востока. Данная методика основана на анализе структуры временных рядов колебания вагонопотоков, сдаваемых по пунктам стыкования железных дорог, и движущихся далее в направлении морских портов с последующим построением математической модели погрузки грузов, на основе которой в последующем можно будет спрогнозировать погрузку на предстоящий год. Рассмотрен анализ структуры временных рядов колебания вагонопотоков и предложены модели для последующего построения прогноза, а также применен системный подход, к решению проблемы прогнозирования объемов вагонопотоков. Предложенный инструментарий позволяет разработать модели прогноза для оценки сезонной неравномерности погрузки грузов в направлении морских портов. Все это будет способствовать улучшению логистического планирования перевозок и даст дальнейший толчок развития отрасли. Весь спектр мероприятий состоит в возможности построения прогнозных моделей для производственного блока холдинга "РЖД", помимо этого появится возможность актуализации структуры эксплуатационных показателей сети.

Информация об авторах

Маловецкая Екатерина Викторовна, доцент кафедры "Управление эксплуатационной работой", доцент, к.т.н., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский государственный университет путей сообщения", г. Иркутск, Россия

Большаков Роман Сергеевич, доцент кафедры "Управление эксплуатационной работой", к.т.н., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский государственный университет путей сообщения", г. Иркутск, Россия

Для цитирования:

Маловецкая Е.В., Большаков Р.С. Особенности применения временных рядов для оценки колебаний вагонопотоков по стыковым пунктам железных дорог // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №1. С. 35-40.

For citation:

Malovetskaya E.V., Bolshakov R.S. (2021) Features of time series using for estimation of fluctuations of car traffic volumes at the railway division points. T-Comm, vol. 15, no. 1, pp. 35-40. (in Russian)

Введение

Междорожные пункты стыкования различаются в основном объемами пропуска вагоно- и поездопотоков. Основная работа стыковых пунктов осуществляется согласно технологии работы станции и зависит от её характера. Согласно нормативным документам ОАО «РЖД», общая сеть железных дорог содержит 66 междорожных стыковых пункта [1].

В транспортной отрасли одной из важных производственных проблем является сезонная (годовая) неравномерность перевозок. Данная проблема негативно сказывается на работе железнодорожной отрасли [2, 3].

Актуальными также, в связи с нахождением большого количества вагонов в собственности частных компаний, остаются вопросы транзитности вагонопотоков [1]. Все это требует введения новых инновационных методов прогнозирования, особенно в управленческом аппарате, с возможностью построения прогноза на период года, месяца, суток и т.д. [4-6]. При этом необходимо уменьшить влияние человеческого фактора на точность принятия управленческих решений.

В связи с вышеперечисленным актуальным является более детальное рассмотрение процесса сдачи груженых вагонов по пунктам стыкования железных дорог с дальнейшим продвижением вагонопотока в порты Дальнего Востока. Процесс приема и сдачи вагонопотоков и поездопотоков по пунктам стыкования железных дорог по сути своей является временной последовательностью по возрастанию моментов сдачи груженых вагонов [7]. При рассмотрении данного процесса с таких позиций, он будет являться точечным. Каждый момент поступления или сдачи вагонов по стыковому пункту своей природе является случайным. Исходя из этих положений, данный процесс является точечным, а каждая из точек является случайной [8-10]. Поэтому, процессы сдачи и приема поездопотоков по стыкам – точечные случайные процессы.

Грузовые операции с точки зрения функционирования вагонного парка сводится к последовательности по возрастанию времени окончания погрузки и выгрузки вагонов, причём времена погрузки и выгрузки в этом случае также являются случайными величинами, а процесс погрузки и выгрузки является точечным процессом [11-13]. Исходя из этого, процессы работы вагонного парка, поступающего на стыковые пункты, являются случайными процессами, что инициирует интерес к их протеканию в течение расчетного периода.

В предлагаемой статье рассматривается использование метода временных рядов для оценки колебаний вагонопотоков и предложены прогнозные математические модели объемов вагонопотоков.

I. Некоторые общие положения

Особый интерес представляют железнодорожные стыковые пункты, расположенные в границах Восточного полигона, самого передового на сети дорог РФ и имеющего непосредственные выходы к морским портам Дальнего Востока. В связи с этим, были проанализированы данные о вагонопотоках, поступающих на прием и сдачу на междорожные стыковые пункты на Дальневосточной ж.д. – стык Архара,

Забайкальской ж.д. – стык Петровский завод, Восточно-Сибирской ж.д. – стык Тайшет, Красноярской ж.д. – стык Мариинск.

Станция Тайшет Восточно-Сибирской железной дороги расположена на стыке двух дорог: Восточно-Сибирской и Красноярской. По характеру работы является сортировочной, двусторонней (имеет четную и нечетную системы); отнесена к внеклассной станции.

Станция Мариинск Красноярской железной дороги расположена на стыке двух дорог: Западно-Сибирской и Красноярской. По характеру работы является грузопассажирской, отнесена к I классу.

Станция Петровский Завод Забайкальской железной дороги расположена на стыке двух дорог: Восточно-Сибирской и Забайкальской. По путевому развитию является двухсистемной, по характеру работы участковой и отнесена ко второму классу.

Станция Архара Дальневосточной железной дороги расположена на стыке двух дорог Забайкальской и Дальневосточной. По характеру работы является промежуточной IV класса.

Наблюдения осуществлялись в два этапа: в 2018 г. по железным дорогам Восточного полигона: Дальневосточной, Забайкальской, Восточно-Сибирской и Красноярской с 8 января 2018 г. по 31 марта 2018 г. С 10.01.2019 по 31.12.2019 в целом по Восточному полигону.

Были получены временные ряды колебания вагонопотоков по каждому стыковому пункту. При исследовании процессов сезонной неравномерности дорог, и дальнейшего построения математической модели прогноза, необходимо подтвердить или опровергнуть стационарность исследуемых временных рядов [3].

Отметим, что существенные различия между временными рядами и числовыми последовательностями заключаются в наличии зависимости у членов временного ряда и отсутствии одинакового распределения, так что $P\{x_t < x\} \neq P\{x_{t'} < x\}$ при $t \neq t'$, отсюда следует, что к временным рядам не могут быть применены правила статистического анализа [8, 14, 15].

К факторам, влияющим на формирование временных рядов любого класса, можно отнести: сезонные, долговременные, циклические и случайные [16-18].

Для правильного выбора модели прогноза, необходимо провести исследование временных рядов и установить какими именно являются исследуемые ряды: стационарными или с содержанием стохастического тренда.

После того, когда установлена зависимая связь между исследуемыми наблюдениями, осуществляется подбор модели прогноза, производимый из следующих классов временных рядов: стационарные и нестационарные, в том числе имеющие стохастический тренд [1].

Для оценки изменения объемов вагонопотоков поступающих на пункты стыкования дорог полигона необходимо осуществить проверку гипотез случайности исследуемых временных рядов. Проверка гипотезы случайности рядов опирается на оценки определения отдельных компонент временных рядов, основным из которых могут быть выбраны следующие критерий в для проверки:

- критерий серий, основанный на медиане;
- критерий «восходящих» и «нисходящих» серий.

Таблица 2

Таблица для расчета показателей $v(n)$ и $t(n)$ ряда

y_t	Серии	y_t	Серии	y_t	Серии	y_t	Серии
1448		1625	+	1519		1677	
1481	-	1490	-				+
1430		1543	+	1519		1723	
1481	-	1486					
1548	+	1541	+	1519		1629	
1620	+	1410					
1450		1445	-	1713		1662	
1502	-	1490	-			1616	+
1423	-	1486	-			1702	+
1423	-	1497	-			1653	+
1555	+	1635	+	160		1530	
1467		1706	+	156		1521	
1570	+	1638	+	170		1506	-
1493	-	1450	-		+	1460	
1481	-	1376	-		+	1486	
1550	+	1562	+	170		1558	
1595	+	1493	-		+	1459	
1622	+	1493	-		+	1452	

Если хотя бы одно из выражений системы нарушается, то предположение о отсутствии тренда отвергается.

$$v_{кр} = 0.5(72+1-1.96\sqrt{(72-1)}) = 28 > 25$$

$$t_{кр} = 3.3(\lg(72)+1) = 9 < 12$$

Оба неравенства выполняются.

Таким образом, гипотеза о случайности (об отсутствии тренда) временного ряда отвергается. Приведём результаты остальных рядов в виде таблицы (табл. 3).

Таблица 3

Значения показателей $v(n)$ и $t(n)$ исследуемых рядов

Ряд	$v(n)$	$t(n)$
Тайшет	25	12
Мариинск	23	17
Петровский Завод	14	26
Архара	15	24

Во всех неравенствах условия выполняются, поэтому гипотезу об отсутствии тренда отвергаем.

Для критериев “восходящих” и “нисходящих” серий характерна последовательности шагов.

Для исходного ряда $y_1, y_2, \dots, y_n$ построим соответствующую ему последовательность $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_{n-1}$ по следующему правилу:

$$\delta_t = \begin{cases} +, \text{ если } y_{t+1} - y_t > 0; \\ 0, \text{ если } y_{t+1} - y_t = 0; t = \overline{1, n} \\ -, \text{ если } y_{t+1} - y_t < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Также как и при реализации предыдущего критерия, необходимо найти количество серий $v(n)$ и длину наибольшей серии $t(n)$, исключив при этом в последовательности нули.

Представленная последовательность из “+” и “-” описывается количеством серий $v(n) = 47$, а длина максимально длинной серии $t(n) = 5$.

Если ряд случаен и в нем нет систематической составляющей, то должны выполняться следующие неравенства:

Рассмотрим их для рядов приема и сдачи грузовых поездов по стыковым пунктам Восточного полигона. В качестве примера возьмем стыковой пункт Тайшет. По остальным рядам результаты приведены в таблице 3.

Проверка по критерию серий реализуется в последовательности шагов.

Ранжированный (вариационный) $(y(1) > y(2) > \dots > y(n))$ ряд, соответствующий временному, формируется исходного ряда y_t длиной n .

Таблица 1

Ранжированный вариационный ряд

t	x	t	x	t	x	t	x
1	1376	19	1486	37	1519	55	1625
2	1410	20	1486	38	1519	56	1629
3	1423	21	1490	39	1521	57	1635
4	1423	22	1490	40	1530	58	1638
5	1430	23	1493	41	1541	59	1643
6	1445	24	1493	42	1543	60	1653
7	1448	25	1493	43	1548	61	1662
8	1450	26	1493	44	1550	62	1677
9	1450	27	1493	45	1555	63	1678
10	145	28	1497	46	1558	64	1681
11	145	29	1502	47	1562	65	1702
12	146	30	1506	48	1565	66	1702
13	146	31	1508	49	1570	67	1703
14	147	32	1516	50	1595	68	1706
15	148	33	1519	51	1600	69	1713
16	148	34	1519	52	1616	70	1723
17	148	35	1519	53	1620	71	1728
18	148	36	1519	54	1622	72	1784

Так как количество элементов ряда $n = 72$ (чётно), медиану можно определить

$$Me = \left(y_{\frac{n}{2}} + y_{\frac{n}{2}+1} \right) \quad (1)$$

Этому номеру соответствует значение ряда 1519, следовательно, медиана $Me = 1519$. Сравнивая значения исходного ряда y_t , $t = \overline{1, n}$ с медианой Me , составим последовательность δ_t по формуле

$$\delta_t = \begin{cases} +, \text{ если } y_t > Me \\ 0, \text{ если } y_t = Me, t = \overline{1, n} \\ -, \text{ если } y_t < Me \end{cases} \quad (2)$$

Полученная последовательность “+” и “-” характеризуется количеством серий $v(n) = 25$ и длиной самой длинной серии $t(n) = 12$.

Для реализации проверки гипотезы, протяженность самой длинной серии не должна быть слишком большой, а общее число серий – маленьким.

Поэтому для того, чтобы не была отвергнута гипотеза о случайности исходного ряда (об отсутствии систематической составляющей) должны выполняться следующие неравенства:

$$\begin{cases} v(n) < 0.5 \cdot (n + 1 - u_t \sqrt{(n-1)}) \\ t(n) > 3.3(\lg(n) + 1) \end{cases} \quad (3)$$

где u_t – квантиль нормального распределения уровня $(1-\alpha)/2$.

Числа $v(n)$ и $t(n)$ необходимо округлить вниз до ближайшего целого.

$$\begin{cases} v(n) > \left[\frac{1}{3} \cdot (2n - 1) - u_t \sqrt{\frac{16n-29}{90}} \right] \\ t(n) < t_{кр} \end{cases} \quad (5)$$

$$t_{кр} = \begin{cases} 5, \text{ если } n < 26 \\ 6, \text{ при } 26 \leq n < 153 \\ 7, \text{ при } 153 \leq n < 1170 \end{cases} \quad (6)$$

где u_t – квантиль нормального распределения уровня $(1-\alpha)/2$.

Таблица 4

Таблица для расчета показателей $v(n)$ и $t(n)$ ряда

y_t	Сери	y_t	Сери	y_t	Сери	y_t	Сери
1448	+	1625	-		-	1677	+
1481	-	1490	+	1516	+	1681	+
1430	+	1543	-		-	172	
1481	+	1486	+	1493	+	1508	+
1548	+	1541	-		-	162	
1620	-	1410	+	1493	+	1472	+
1450	+	1445	+	1713	-	1662	-
1502	-	1490			+	1616	+
1423	+	1486	+	1519	+	1702	-
1423	+	1497	+	1519	+	1653	-
1555	-	1635	+	1600	-	153	
1467	+	1706	-		+	1521	
1570	-	1638			-	150	
1493	-	1450			+	1460	+
1481	+	1376	+	1678	+	1486	+
1550	+	1562	-		+	1558	
1595	+	1493	+	1728	+	1459	-
1622	+	1493	+	1784	-	1452	+

Значения $v(n)$ и $t(n)$ округляем вниз до ближайшего целого.

Если выполняются условия из представленной выше системы уравнений: $v(n) > v_{кр}$ и $t(n) < t_{кр}$, то гипотеза H_0 о наличии тренда может быть принята с ошибкой первого рода. Если условия не выполняются, то элементы исследуемых временных рядов нельзя считать стохастически независимыми.

$$v(n) = 47 > \frac{1}{3} (2 \cdot 72 - 1) - 1.96 \sqrt{\frac{16 \cdot 72 - 29}{90}} = 40$$

$$t(n) = 5 < 6$$

Оба неравенства подтверждаются, а гипотеза о присутствии тренда отвергается (нет оснований отклонить нулевую гипотезу об отсутствии тренда, и она принимается). За счёт использования критерия «восходящих» и «нисходящих» серий можно оценить математическое ожидание монотонного и периодического характера, что даёт более широкие возможности для анализа [6].

Приведём результаты остальных рядов в виде следующей таблицы (табл. 5).

Таблица 5

Значения показателей $v(n)$ и $t(n)$ исследуемых рядов

Ряд	$v(n)$	$t(n)$
Тайшет	47	5
Мариинск	49	4
Петровский Завод	43	3
Архара	46	3

Гипотеза о наличии тренда отвергается для всех рассматриваемых временных рядов вагонопотоков, поступающих на пункты стыкования железных дорог полигона.

Заключение

Для выбора подходящей модели прогноза, необходимо определить семейство моделей, схожих по параметрам с исследуемым временным рядом $\{x_t\}$, $t = 1, 2, \dots, T$, а затем, с помощью статистического анализа, оценить параметры модели на основе представленных наблюдений $x_1, x_2, \dots, x_T$.

Данный процесс – это идентификация модели.

Чтобы верно выбрать прогнозную модель для временно-го ряда, необходимо провести диагностику анализируемых временных рядов, и установить к какому из классов они относятся. Исходя из этого выбор класса рядов производится при помощи дифференцирования ряда различной кратности[19].

Формирование математической модели для оценки динамики временных рядов вагонопотоков, обрабатываемых на стыковых пунктах железных дорог и прогнозирования изменения их значений, невозможно без определения класса рядов.

В ходе проведения статистической проверки гипотез о случайности временных рядов вагонопотоков, поступающих по пунктам стыкования дорог полигона, было определено, что данные временные ряды являются нестационарными и содержат стохастический тренд, который удаляется поэтапным дифференцированием временного ряда. Результаты исследования будут использованы для дальнейшего построения модели прогноза поступления вагонопотоков по пунктам стыкования железных дорог РФ.

Литература

1. Доклад генерального директора - председателя правления открытого акционерного общества «Российские железные дороги» О.В. Белозерова на расширенном итоговом заседании правления ОАО РЖД // Железнодорожный транспорт. 2018. № 1. С. 4-10.
2. Сотников Е.А., Шенфельд К.П. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков // Вестник ВНИИЖТ. 2011. №5. С. 3-9. ISSN - 2223-9731
3. Мачерет Д.А., Ледней А.Ю. Объемы перевозок – ключевой фактор эффективности развития транспортной инфраструктуры // Экономика железных дорог. 2019. № 4. С. 28-38.
4. Набатова Д.С. Математические и инструментальные методы поддержки принятия решений. М.: Издательство Юрайт, 2019. 292 с.
5. Погоржих Н.И., Софронова М.С., Панасенко Д.П. Способ преобразования множества возможных решений в теории принятия решений // ScienceRise, 2017, №1 (41). С. 77-81.
6. Самотина С.А., Потапова Е.В. Принятие управленческих решений в условиях неопределенности // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы, 2011. №1. С. 3-4.
7. Malovetskaya E.V., Bolshakov R.S., Dimov A.V., Byshlyago A.A. Planning of qualitative indexes of railroad operational work in polygon technologies // 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 760 012041
8. Бурда А.Г., Бурда Г.П. Экономико-математические методы и модели. Кубан. гос. аграр. ун-т. Краснодар, 2015. 178 с.
9. Grigoroudis E., Orfanoudaki E., Zopounidis C. Strategic performance measurement in a healthcare organisation: A multiple criteria approach based on balanced scorecard // Omega, 2012, №40 (1), pp. 104-119.

10. *Sehra S. K., Brar D., Singh Y., Kaur D.* Multi criteria decision making approach for selecting effort estimation model, arXiv preprint arXiv:1310.5220, 2013.

11. *Маловецкая Е.В.* Актуальность применения имитационного моделирования при расчете плана формирования поездов с учетом развития полигонных технологий // T-Comm: Телекоммуникации и Транспорт. №4 2019. ISSN 2072-8735 (Print) ISSN 2072-8743 (Online) DOI 10.24411/2072-8735-2018-10261

12. *Sevcenko G.* Statybos investicimq sprendimq rizikos valdymas: Diss. VGTU leidykla "Technika", 2015. 186 p.

13. *Волокобинский М.Ю., Пекарская О.А., Рази Д.А.* Принятие решений на основе метода анализа иерархий", Вестник финансового университета, 2016, №2 (92). С. 33-42.

14. *Valiris G., Chytas P., Glykas M.* Making decisions using the balanced scorecard and the simple multi-attribute rating technique", Performance Measurement and Metric, 2005.

15. *Маловецкая Е.В.* Актуализация порядка расчета плана формирования поездов и уточнения перечня показателей эксплуатации

онной работы на основе имитационного моделирования с учетом развития полигонных технологий // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 1.(53). С 184-188.

16. *Синчуков А.В.* Современная классификация математических моделей // Инновационная наука, 2016, №3-1. С. 214-215.

17. *Бабина О.И.* Сравнительный анализ имитационных и аналитических моделей // Имитационное моделирование. Теория и практика. СПб: Центр технологии судостроения и судоремонта (Санкт-Петербург), 2009, С. 73-77.

18. *Звягин Л.С.* Применение системно-аналитических методов в области экспертного прогнозирования // Экономика и управление: проблемы, решения. 2017. Т. 3. № 6. С. 145-148.

19. *Волкова В.Н., Черненькая Л.В., Магер В.Е.* Классификация моделей в системном анализе // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление, 2013, №3 (174). С. 33-43.

**23^й
БОЛЬШОЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ФОРУМ
ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ**

**ИНФО
ФОРУМ
2021**

**ПРЕОДОЛЕНИЕ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ**

4-5 февраля

Здание Правительства Москвы
ул. Новый Арбат, 36

infoforum.ru

FEATURES OF TIME SERIES USING FOR ESTIMATION OF FLUCTUATIONS OF CAR TRAFFIC VOLUMES AT THE RAILWAY DIVISION POINTS

Ekaterina V. Malovetskaya, Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, Russia, katerina8119@mail.ru

Roman S. Bolshakov, Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, Russia, Bolshakov_rs@mail.ru

Abstract

The study of intra-annual dynamics of car traffic volumes, handed over at the railway division points of the Russian Federation is an essential part of the long-range prediction, planning and analysis of transport activity. The increase in the regularity of pace of the production process is directly related to the assessment of the unevenness of car traffic volumes. The ability to predict the unevenness of the transport process, as well as uneven loading with the establishment of relevant indicators is a key issue in the regularity of pace of transport operation. The presented article analyzes the structure of time series of fluctuations in car traffic volumes at the railway division points in order to further build a model for predicting fluctuations in car traffic volumes and, in the future, loading cargo to the ports of the Far East. This methodology is based on the analysis of the structure of time series of fluctuations in car traffic volumes handed over at the railway division points and moving further towards seaports with the subsequent construction of a mathematical model of cargo loading, on the basis of which it will subsequently be possible to predict the loading for the coming year. The presented work considers an analysis of the structure of time series of fluctuations in car traffic volumes and proposes models for the subsequent construction of a prediction. It also applies a systemic approach to solving the problem of predicting the car traffic volume. The proposed tools make it possible to develop prediction models to assess the seasonal unevenness of cargo loading in the direction of seaports. All this will contribute to the improvement of logistics planning of transportation and will give a further impetus to the development of the industry. The whole range of activities consists in the possibility of constructing predictive models for the production unit of the Russian Railways holding. In addition, it will be possible to update the structure of the network's operational indicators.

Keywords: mathematical model, time series, loading simulation, systemic approach, uneven car traffic volume, loading prediction, predictive analysis, prediction model.

References

1. Report of O.V. Belozarov, the General Director – Chairman of the Board of the Open Joint Stock Company Russian Railways at the extended final meeting of the Russian Railways Board. *Railway Transport*. 2018. No. 1. P. 4-10.
2. Sotnikov E.A., Shenfeld K.P. (2011). Unevenness of freight traffic in modern conditions and its impact on the required throughput of sections. *VNIIZhT Bulletin*. No.5. P. 3-9. ISSN - 2223-9731
3. Macheret D.A., Ledney A.Yu. (2019). Traffic volumes are a key factor in the efficiency of transport infrastructure development. *Economy of railways*. No. 4. P. 28-38.
4. Nabatova D.S. (2019). Mathematical and instrumental methods of decision support. Moscow: Yurayt Publishing House. 292 p.
5. Pogozhikh N.I., Sofronova M.S., Panasenkov D.P. (2017). A method for transforming the set of possible decisions in the theory of decision making. *ScienceRise*. No. 1 (41). P. 77-81.
6. Samotina S.A., Potapova E.V. (2011). Management decision making in conditions of uncertainty. *Innovative economy: information, analytics, predictions*. No. 1. P. 3-4.
7. Malovetskaya E.V., Bolshakov R.S., Dimov A.V., Byshlyago A.A. (2020). Planning of qualitative indexes of railroad operational work in polygon technologies. et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 760 012041
8. Burda A.G., Burda G.P. (2015). Economic and mathematical methods and models. Kuban State Agrarian Un-ty Publ. Krasnodar. 178 p.
9. Grigoroudis E., Orfanoudaki E., Zopounidis C. (2012). Strategic performance measurement in a healthcare organization: A multiple criteria approach based on balanced scorecard. *Omega*. No. 40 (1). P. 104-119.
10. Sehra SK, Brar D., Singh Y., Kaur D. (2013). "Multi criteria decision making approach for selecting effort estimation model", arXiv preprint arXiv: 1310.5220, 2013.
11. Malovetskaya E.V. (2019). The relevance of the use of simulation modeling in calculating the train formation plan taking into account the development of polygon technologies. *T-Comm*. No. 4. ISSN 2072-8735 (Print) ISSN 2072-8743 (Online) DOI 10.24411/2072-8735-2018-10261
12. Sevchenko G. (2015). Statybos investicim? sprendim? rizikos valdymas: Diss. VGTU leidykla "Technika". 186 p.
13. Volokobinsky M.Yu., Pekarskaya O.A., Razi D.A. (2016). Decision-making based on the method of analysis of hierarchies. *Bulletin of the Financial University*. No. 2 (92). P. 33-42.
14. Valiris G., Chytas P., Glykas M. (2005). Making decisions using the balanced scorecard and the simple multi-attribute rating technique. *Performance Measurement and Metric*, 2005.
15. Malovetskaya E.V. (2019). Updating the procedure for calculating the plan for the formation of trains and clarifying the list of indicators of operational work on the basis of simulation modeling taking into account the development of polygon technologies. *Modern knowledge-intensive technologies*. No. 1. (53). P. 184-188.
16. Sinchukov A.V. (2016). Modern classification of mathematical models. *Innovative science*. No. 3-1. P. 214-215.
17. Babina O.I. (2009). Comparative analysis of simulation and analytical models", Imitational modeling. Theory and practice. St. Petersburg: Center for Shipbuilding and Ship Repair Technology (St. Petersburg). P. 73-77.
18. Zvyagin L.S. (2017). Application of system-analytical methods in the field of expert predicting. *Economics and management: problems, solutions*. Vol. 3. No. 6. P. 145-148.
19. Volkova V.N., Chernenkaya L.V., Mager V.E. (2013). Classification of models in system analysis. *Scientific and technical bulletin of the St. Petersburg State Polytechnic University. Informatics. Telecommunications. Management*. No. 3 (174). P. 33-43.

Information about authors:

Ekaterina V. Malovetskaya, Associate Professor of the department of "Control of operational works", Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, Russia

Roman S. Bolshakov, Associate Professor of the department of "Control of operational works", Candidate of Technical Sciences, Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, Russia