

## Математическое обеспечение для выбора сценария учебной программы в условиях цифровой железной дороги

Ю.М. Краковский✉, Е.А. Колисниченко, В.А. Начигин

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

✉yuri.krakovskiy@yandex.ru

### Резюме

Создание в стране цифровой экономики, программ импортозамещения, совершенствование и внедрение IT и технологий искусственного интеллекта требуют модернизации, оптимизации и трансформации высшего образования. В ОАО «РЖД» в последние годы реализуется комплексный научно-технический проект «Цифровая железная дорога», предполагающий расширение цифровых технологий холдинга. «Цифровая железная дорога» включает развитие следующих IT-технологий: большие данные; промышленный интернет; технологии беспроводной связи, виртуальной и дополненной реальности; возможность использования современных и высокоэффективных методов диагностики, прогнозирования, а также обучения персонала. В связи с этим цифровизация железных дорог требует цифровой трансформации образования, а для этого необходимо повышение качества учебных программ, изменение их содержания по часам и читаемым дисциплинам. При обсуждении этих вопросов возможно создание нескольких сценариев учебных программ, поэтому возникает задача выбора лучшего из них. Математическое обеспечение содержит два непараметрических критерия (критерий Краскела – Уоллеса и критерий Уилкоксона – Манна – Уитни) для выбора сценария в терминах математической статистики. Для сравнения сценариев приведены пять показателей, значения которых определяют эксперты по стобальной шкале. Для «свертки» пяти показателей в один комплексный предложено использовать линейную модель с весовыми коэффициентами, которые рекомендовано определять по методу анализа иерархий с вычислением отношения согласованности. Данные исследования проведены применительно к специальности «Путь и путевое хозяйство». При апробации методики выбран один из трех рассматриваемых сценариев.

### Ключевые слова

непараметрические критерии, метод анализа иерархий, экспертная информация, путь и путевое хозяйство, цифровая железная дорога

### Для цитирования

Краковский Ю.М. Математическое обеспечение для выбора сценария учебной программы в условиях цифровой железной дороги / Ю.М. Краковский, Е.А. Колисниченко, В.А. Начигин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 3 (83). С. 143–152. DOI 10.26731/1813-9108.2024.3(83).143-152.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 03.09.2024 г.; поступила после рецензирования: 13.09.2024 г.; принята к публикации 16.09.2024 г.

## Mathematical software for choosing a curriculum scenario in a digital railway environment

Yu.M. Krakovskii✉, E.A. Kolisnichenko, V.A. Nachigin

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉yuri.krakovskiy@yandex.ru

### Abstract

The creation of a digital economy in the country, import substitution programs, improvement and implementation of information technologies and artificial intelligence technologies require the development, improvement and transformation of higher education. In recent years, Russian Railways has been implementing a comprehensive scientific and technical project «Digital Railway», which involves the development of digital technologies of the holding. The Digital Railway includes the development of IT technologies such as big data, industrial Internet, wireless communication technologies, virtual and augmented reality, the possibility of using modern and highly effective diagnostic and forecasting methods as well as personnel training. In this regard, digitalization of railways requires a digital transformation of education, and for this it is necessary to improve curricula, change their content by hours and disciplines taught. When discussing these issues, it is possible to create several scenarios for training programs, so the task arises of choosing the best one. The mathematical software contains two nonparametric criteria (the Kraskel – Wallace criterion and the Wilcoxon – Mann – Whitney criterion) for selecting a scenario in terms of mathematical statistics. To compare the scenarios, five indicators are given, whose values are determined by experts on a 100-point scale. To «convolve» five indicators into a single complex one, it is proposed to use a linear model with weighting coefficients, which are recommended to be determined using the method of hierarchy analysis with the calculation of the consistency ratio. These studies were conducted in relation to the specialty «Track and Track Facilities». When testing the methodology, one of the three scenarios under consideration was selected.

**Keywords**

nonparametric criteria, hierarchy analysis method, expert information, track and track facilities, digital railway

**For citation**

Krakovskii Yu.M., Kolisnichenko E.A., Nachigin V.A. Matematicheskoe obespechenie dlya vybora stsenariya uchebnoi programmy v usloviyakh tsifrovoi zheleznoi dorogi [Mathematical software for choosing a curriculum scenario in a digital railway environment]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 3(83), pp. 143–152. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.3(83).143-152.

**Article Info**

Received: September 3, 2024; Revised: September 13, 2024; Accepted: September 16, 2024.

**Введение**

В настоящее время в мире и в нашей стране большое внимание уделяется цифровизации экономики: создаются, развиваются и внедряются программы в различных сферах, включая промышленность, транспорт, сельское хозяйство и образование [1, 2]. Правительством Российской Федерации опубликована программа по цифровой экономике, которая последние годы совершенствуется и развивается. Создание в стране цифровой экономики, программ импортозамещения [3, 4], расширение и внедрение информационных технологий (ИТ) и искусственного интеллекта [5, 6] требуют развития и совершенствования цифровой трансформации высшего образования [7, 8].

Как правило, цифровая трансформация – это некий процесс изменения (преобразования) каких-то решений для выбранной сферы, когда для этих решений функции, обеспечивающие взаимодействие компонентов, поддерживающих принятие управленческих решений с учетом внешней среды, выполняются специальными цифровыми сервисами.

Процесс цифровизации в узконаправленном секторе – это использование программно-технического и алгоритмического обеспечения, структура которого содержит сервисы по выполнению различных операций и технологий для развития бизнес-процессов.

В этих целях широко используется прикладное программное обеспечение для организаций, предназначенное для автоматизации стратегий взаимодействия с заказчиками. Данное программное обеспечение называют системой управления взаимоотношениями с клиентами – CRM-системой. Эти системы повышают размер продаж, способствуют оптимизации маркетинговой деятельности компании и улучшают обслуживание потенциальных покупателей.

В настоящий момент в ОАО «РЖД» используется своя система взаимодействия с гру-

зоотправителями. Система интеллектуального управления движением обеспечивает доступ к актуальным данным транспорта и инфраструктуры, моделирование процессов строительства, эксплуатации и ремонта с привязкой ко времени и бюджетированию, а также планирование перевозок и сервисы комплексной диагностики, основанной на обслуживании и ремонте по фактическому состоянию транспортной инфраструктуры.

Суть цифровой трансформации образования – это достижение каждым обучаемым необходимых образовательных результатов за счет персонализации образовательного процесса на основе использования растущего потенциала цифровых технологий, включая применение методов искусственного интеллекта, средств дополненной и виртуальной реальности. Также обеспечивается развитие в образовательных организациях цифровой образовательной среды и общедоступного широкополосного доступа к интернету, работы с большими данными.

В ОАО «РЖД» в последние годы реализуется комплексный научно-технический проект «Цифровая железная дорога», предполагающий совершенствование цифровых технологий холдинга. «Цифровая железная дорога» включает развитие следующих ИТ-технологий: большие данные; промышленный интернет; технологии беспроводной связи, виртуальной и дополненной реальности; возможность использования современных и высокоэффективных методов диагностики и прогнозирования, а также обучения персонала.

Высшие учебные заведения железнодорожной отрасли откликнулись на вызовы времени (работы коллектива научно-исследовательской лаборатории «Информационные технологии транспорта» Сибирского государственного университета путей сообщения (г. Новосибирск) применительно к проекту «Цифровая железная дорога» [9, 10]).

Отметим также работу [11], в которой рассматривается целесообразность внедрения в учебный процесс электронных стимуляторов, включая практические и лабораторные занятия, а также самостоятельную работу студентов технических вузов. В работе описан поиск адекватных форм взаимодействия образования и производства, а также эффективные технологии и методы обучения.

Таким образом, цифровизация железных дорог требует цифровой трансформации высшего образования, а это, в свою очередь, требует совершенствования учебных программ, изменения их содержания по часам и читаемым дисциплинам. При обсуждении этих вопросов возможно создание нескольких сценариев учебных программ (СУП). В связи с этим возникает задача выбора лучшего из них.

Целью данной работы является создание математического обеспечения и методики выбора на его основе лучшего сценария учебной программы в условиях цифровой железной дороги.

Актуальность работы подтверждается также тем, что в ближайшие годы высшее российское образование переходит на новые стандарты, основанные на базовом и специальном образовании.

### Математическое обеспечение для задачи выбора сценария учебной программы

Для повышения эффективности железнодорожных перевозок широко используется различное математическое обеспечение, технологии по повышению провозной и пропускной способностей пути, а также оценке рисков [12–14]. Математическое обеспечение

используется в задачах прогнозирования показателей [15–18], оптимизации, диагностики, мониторинга и надежности инфраструктуры пути [19–22].

Рассматривая задачу выбора СУП, будем опираться на критерии непараметрической статистики, которые не требуют знания вида функции распределения генеральной совокупности, а лишь предполагают ее непрерывность [23, 24]. В нашем случае рекомендуется применить критерий Краскела – Уоллеса. Этот критерий относится к ранговому однофакторному анализу, когда влияющий фактор содержит множество уровней. Влияющим фактором в нашем случае является структура и содержание СУП, а уровнями – сами сценарии.

Постановка задачи выбора СУП следующая:

1. Необходимо создать  $k$  сценариев учебной программы,  $j$  – номер сценария.

2. Предложить показатели ( $z_i$ ), по которым будет происходить сравнение СУП. Здесь  $i$  – номер показателя,  $i = 1, \dots, m$ ;  $m$  – число показателей.

3. Используя группу экспертов, необходимо определить значения по стобалльной шкале выбранных показателей по каждому СУП ( $x_{ij}$ ) (табл. 1), столбцы – это СУП, строки – значения показателей. Выбор стобалльной шкалы обусловлен тем, чтобы по возможности отсутствовали совпадающие значения. Значений в столбце столько, сколько показателей, они рассматриваются как независимые выборочные значения.

4. Полученные значения ( $x_{ij}$ ) записываются в табл. 2, но теперь эти значения упорядочены

**Таблица 1.** Значения показателей для сценариев учебных программ в виде баллов  
**Table 1.** The values of the indicators for training program scenarios in the form of points

$j$	1	2	...	$k$
$z_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1k}$
$z_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2k}$
...	...	...	...	...
$z_m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	...	$x_{mk}$

**Таблица 2.** Упорядоченные значения показателей для сценариев учебных программ в виде баллов  
**Table 2.** Ordered values of indicators for training program scenarios in the form of points

1	2	...	$k$
$x_{i1}$	$x_{i2}$	...	$x_{ik}$
$y_{11}$	$y_{12}$	...	$y_{1k}$
...	...	...	...
$y_{m1}$	$y_{m2}$	...	$y_{mk}$
$X_1$	$X_2$	...	$X_k$

ны, они записываются по возрастанию, поэтому мы изменили их обозначение ( $y_{ij}$ ).

5. В нижней строке записываем средний балл по столбцам:

$$X_j = \sum_{i=1}^m \frac{y_{ij}}{m}, j = 1, \dots, k. \quad (1)$$

6. В табл. 3 записываем ранги ( $r_{ij}$ ). В данном случае ранги – это числа натурального ряда. Они присваиваются значениям ( $y_{ij}$ ) при условии, что эти значения объединяются в общую выборку,  $N = k \cdot m$  – объем этой выборки. Тогда ранги – это числа в диапазоне от 1 до  $N$ , сумма рангов равна:

$$S_r = N \cdot (N+1) / 2. \quad (2)$$

В последней строке записываем суммы рангов по столбцам –  $R_j$ , при сложении которых получаем величину (2).

Таблица 3. Ранги для объединенной выборки

Table 3. Ranks for pooled sample

1	2	...	$k$
$r_{i1}$	$r_{i2}$	...	$r_{ik}$
$r_{11}$	$r_{12}$		$r_{1k}$
...	...	...	...
$r_{m1}$	$r_{m2}$		$r_{mk}$
$R_1 = \sum_i r_{i1}$	$R_2 = \sum_i r_{i2}$		$R_k = \sum_i r_{ik}$

7. Проводим обработку рангов по выбранному критерию Краскела – Уоллеса, расчетное значение которого имеет вид:

$$Q_r = (12 / (N \cdot (N+1))) \cdot \sum_j (R_j^2 / m) - 3 \cdot (N+1). \quad (3)$$

Основная гипотеза  $H_0$  заключается в том, что данные по столбцам из табл. 1 принадлежат одному распределению (гипотеза об однородности), тем самым делается вывод, что при уровне значимости  $\alpha$  выборки статистически неразличимы. Для это надо сравнить расчетное значение (3) с критическим, которым является квантиль для вероятности  $(1-\alpha)$  известного распределения критерия.

При  $m \geq 5$  и  $k \geq 4$  этим распределением приближенно является распределение  $\chi^2$  с  $(k-1)$  степенями свободы. Гипотеза  $H_0$  отвергается, если  $Q_r > X^2_{1-\alpha}$ , где  $X^2_{1-\alpha}$  – критическое значение при уровне значимости  $(1-\alpha)$ .

Так, если  $\alpha = 0,05$ , то при  $k = 4$   $X^2_{1-\alpha} = 7,81$ ; при  $k = 5$   $X^2_{1-\alpha} = 9,49$  [24].

В терминах предметной области, если выбрана гипотеза  $H_0$ , то предложенные сценарии учебной программы статистически неразличимы.

Приведем критические значения критерия Краскела – Уоллеса ( $Q_{кр}$ ) для различных  $m$  при  $k = 3$  и уровне значимости  $\alpha = 0,05$ :  $m = 3$ ,  $Q_{кр} = 5,60$ ;  $m = 4$ ,  $Q_{кр} = 5,69$ ;  $m = 5$ ,  $Q_{кр} = 5,78$ . Гипотеза  $H_0$  отвергается, если  $Q_r > Q_{кр}$ .

Рассмотрим практически важный случай при  $k = 2$  (в табл. 1–3 по два столбца). В этом случае критерий Краскела – Уоллеса заменяется на критерий Уилкоксона – Манна – Уитни (ранговый критерий Манна, Уитни, основанный на критерии Уилкоксона), который заключается в следующем:

1. Подсчитываются суммы рангов:  $R_x = \sum r_x$ ;  $R_y = \sum r_y$ ; здесь  $r_x$  и  $r_y$  – ранги значений выборок  $X$  (первый столбец) и  $Y$  (второй столбец) в объединенной выборке;

2. Определяются величины:

$$\begin{aligned} U_x &= m^2 + (m \cdot (m+1)) / 2 - R_x; \\ U_y &= m^2 + (m \cdot (m+1)) / 2 - R_y; \\ U_x + U_y &= m^2. \end{aligned} \quad (4)$$

3. Используя значения (4), определяем расчетное значение критерия:

$$U_p = \min(U_x, U_y). \quad (5)$$

4. Если  $U_p > U_{кр}(m, \alpha)$ , то принимается гипотеза  $H_0$ , иначе она отвергается. Здесь  $U_{кр}(m, \alpha)$  – критическое значение критерия Уилкоксона – Манна – Уитни при уровне значимости  $\alpha$ . Например,  $U_{кр}(5; 0,05) = 4,0$  [24].

При любом  $k$ , если выбрана альтернативная гипотеза, лучшим сценарием является тот, у кого больше средний балл  $X_j$  из табл. 2.

Если выбрана гипотеза  $H_0$ , то авторами предлагается дополнительное математическое обеспечение, которое заключается в следующем.

Создадим линейную модель, позволяющую вычислять значение комплексного показателя ( $d_j$ ) для  $j$ -го СУП:

$$d_j = w_1 \cdot x_{1j} + w_2 \cdot x_{2j} + \dots + w_m \cdot x_{mj}, \quad (6)$$

где  $w_i$  – весовые коэффициенты, которые оценивают важность показателей. Нами рекомендуется для их получения метод анализа иерархий (МАИ);  $x_{ij}$  – значения предложенных показателей по каждому СУП (см. табл. 1) [25]. В этом случае значения показателей предполагаются неслучайными.

В этом методе эксперты создают обратно симметричную матрицу парных сравнений ( $A$ ) размером ( $m \times m$ ). Парные сравнения проводятся между показателями с точки зрения их важности. Элементы матрицы создают эксперты, которые работают как один коллектив. Специальной обработкой элементов матрицы находим весовые коэффициенты:

$$w_i = \frac{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m a_{ij}}}{\sum_{i=1}^m \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m a_{ij}}}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (7)$$

где  $a_{ij}$  – элементы матрицы  $A$  (парные сравнения показателей по важности, диагональные элементы равны 1). Первоначально эти элементы перемножаются по строкам, затем из произведения извлекается корень, полученные результаты нормируются, поэтому сумма коэффициентов равна 1 [26].

Хорошим преимуществом МАИ является возможность проверки на непротиворечивость (согласованность) парных сравнений экспертов через отношение согласованности ( $OS$ ), которое должно быть не больше 0,1.

Отношение согласованности зависит от индекса согласованности, который зависит от максимального собственного значения, связанного с собственным вектором матрицы  $A$ :

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^m w_i B_i, \quad (8)$$

где  $w_i$  – весовые коэффициенты (7);  $B_i$  – суммы элементов матрицы по столбцам.

Если согласованность соблюдена, то весовым коэффициентам (7) можно доверять. Используя модель (6), полученные весовые коэффициенты и значения показателей ( $x_{ij}$ ), найдем значения комплексных показателей по всем СУП. Далее выбираем СУП, для которого это значение максимально.

### Методика выбора сценария учебной программы, использующая предложенное математическое обеспечение

Оформим задачу выбора СУП в виде двухэтапной методики. Каждый этап заканчивается выбором сценария учебной программы.

1. Создаем  $k$  СУП. Сценарии отличаются содержанием учебной программы по часам и дисциплинам.

2. Создаем и утверждаем показатели ( $z_i$ ), по которым происходит сравнение СУП. Предложенное математическое обеспечение и созданная на его основе методика выбора СУП носят универсальный характер. Специфика, зависящая от специальности учебной программы, заключается в наименовании этих показателей и используемой экспертной информации. Показатели по своему назначению ориентированы на работодателя, что определило их формулировку. Дополнительно данная работа ориентирована на специальность «Путь и путевое хозяйство». С учетом этого авторами предлагаются следующие наименования показателей ( $m = 5$ ):

–  $z_1$  – уметь ставить и решать задачи по профессиональной деятельности в условиях социально-экономических ограничений;

–  $z_2$  – наличие навыков по использованию знаний от дисциплин фундаментальной компоненты учебной программы при осуществлении профессиональной деятельности;

–  $z_3$  – навыки использования итоговой аналитической, диагностической и нормативно-правовой информации в условиях полигонных и других современных технологий;

–  $z_4$  – уметь использовать информацию, полученную с технических средств по диагностике и мониторингу путевого комплекса;

–  $z_5$  – навыки поиска и использования нужной информации в существующих информационных ресурсах, а также умение использовать в работе стандартные программные продукты и приложения.

Учитывая важность экспертной информации в данном исследовании, сформулируем требования к экспертам. Эксперты работают как единый коллектив через обсуждения и согласования. При этом необходимо, чтобы среди экспертов были квалифицированные люди как от учебного процесса, так и от работодателей-практиков.

3. Подключая экспертов, создаем табл. 1, далее из табл. 1 создаем табл. 2, а из табл. 2 – табл. 3. Находим величины (1) и (2) и убеждаемся, что сумма сумм рангов равна величине (2).

4. В зависимости от числа СУП, выбираем непараметрический критерий: при  $k > 2$  выбираем критерий Краскала – Уоллеса, а при  $k = 2$  – критерий Уилкоксона – Манна – Уитни.

5. В зависимости от выбранного критерия находим расчетное и критическое значения. Расчетные значения определяются по формуле

(3) или (5). Исходя из соотношения этих значений, выбираем гипотезу  $H_0$  или отвергаем ее.

6. Если при сравнении гипотеза  $H_0$  отвергается, то выбираем СУП для которого средний балл  $X_j$  (1) максимален. На этом первый этап методики и сама задача выбора заканчивается, лучший СУП выбран. Если при сравнении расчетного и критического значений для выбранного критерия подтверждается гипотеза  $H_0$ , то переходим ко второму этапу методики, который начинается с пункта 7.

7. Привлекая экспертов, создаем матрицу парных сравнений для показателей МАИ. Далее обрабатываем ее, находя весовые коэффициенты (7) и максимальное собственное значение (8). Находим индекс согласованности:

$$IS = (\lambda_{\max} - m) / (m - 1). \quad (9)$$

Далее находим отношение согласованности:

$$OS = IS / 1,12. \quad (10)$$

Проверяем условие  $OS \leq 0,1$ . Если условие выполнилось, то весовым коэффициентам можно доверять и далее использовать их в линейной функции (6).

8. Вычисляем для каждого СУП значения (6).

9. Выбираем СУП, для которого это значение максимально. На этом второй этап методики и сама задача выбора заканчивается, лучший СУП выбран.

### Апробация методики выбора сценария учебной программы

Как уже отмечалось, проведем апробацию предложенной двухэтапной методики для специальности «Путь и путевое хозяйство». Дополнительно отметим, что данная апробация носит методический характер и имеет цель показать, как проводятся расчеты по созданной методике.

1. Создадим три СУП ( $k = 3$ ). Эти сценарии необходимо обсудить на семинаре кафедры с привлечением работодателей-практиков.

2. Согласуем с экспертами предложенные нами показатели, по которым они будут оценивать созданные СУП.

3. Эксперты создают табл. 4 (аналог табл. 1),  $k = 3$ ,  $m = 5$ . Это один из ответственных этапов, который определяет качество полученного результата. Эксперты изучают каждый СУП, анализируют показатели и для каждого из них

подбирают балл. Затем эти значения переносятся в таблицу для каждого СУП.

4. Создаем табл. 5 (аналог табл. 2). В нижней строке записываем средний балл по столбцам (1). Находим величину (2), при  $N = k \cdot m = 15$ ,  $S_r = 120$ .

5. Создаем табл. 6 (аналог табл. 3).

**Таблица 4.** Значения показателей для сценариев учебной программы при апробации

**Table 4.** Values of indicators for training program scenarios while testing

$j$	1	2	3
$z_1$	82	69	79
$z_2$	66	76	83
$z_3$	78	89	67
$z_4$	61	54	58
$z_5$	73	57	63

**Табл. 5.** Упорядоченные значения показателей для сценариев учебной программы при апробации

**Table 5.** Ordered values of indicators for training program scenarios while testing

1	2	3
61	54	58
66	57	63
73	69	67
78	76	79
82	89	83
$X_1 = 72$	$X_2 = 69$	$X_3 = 70$

**Таблица 6.** Ранги для объединенной выборки при апробации

**Table 6.** Ranks for the pooled sample while testing

1	2	3
4	1	3
6	2	5
9	8	7
11	10	12
13	15	14
$R_1 = 43$	$R_2 = 36$	$R_3 = 41$

В последней строке записываем сумму рангов по столбцам, равную 120.

6. Вычисляем величину (3),  $Q_r = 0,21$ . Если бы было два сценария, то мы бы выбрали критерий Уилкоксона – Манни – Уитни и вычисляли на этом этапе величину (5). Находим критическое значение:  $m = 5$ ,  $\alpha = 0,05$ ,  $Q_{кр} = 5,78$ . Так как  $Q_r = 0,21$  меньше  $Q_{кр} = 5,78$ , то гипотезу  $H_0$  принимаем. Если бы эту гипотезу отвергли, то лучшим сценарием был бы первый (средний балл максимальный). В нашем случае переходим ко второму этапу методики (пункт 7).

**Таблица 7.** Матрица парных сравнений и результаты ее обработки  
**Table 7.** The matrix of paired comparisons and the results of its processing

<i>A</i>	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$\Pi$	$K$	$W$
$z_1$	1	0,5	2	4	3	12,0	1,644	0,263
$z_2$	2	1	3	5	4	120,0	2,605	0,417
$z_3$	0,5	0,333	1	3	2	1,000	1,000	0,160
$z_4$	0,25	0,2	0,333	1	0,5	0,008	0,384	0,062
$z_5$	0,333	0,25	0,5	2	1	0,083	0,608	0,098
$B$	4,083	2,283	6,833	15,000	10,500	$\Sigma$	6,241	1,0

7. Эксперты создают матрицу парных сравнений для показателей, далее она обрабатывается (табл. 7):  $\Pi$  – столбец произведений по строкам;  $K$  – столбец значений из корня пятой степени;  $W$  – столбец весовых коэффициентов (7);  $B$  – строка сумм по столбцам. При выборе парных суждений эксперты пользуются рекомендациями по их выбору, а также заранее обсуждают между собой важность показателей. Создание матрицы парных сравнений также ответственный этап, который определяет качество полученного результата.

Находим максимальное собственное значение (8),  $\lambda_{\max} = 5,098$ ; находим индекс согласованности (9),  $IS = 0,025$ ; находим отношение согласованности (10),  $OS = 0,02$ . Убеждаемся, что это отношение меньше 0,1. Весовым коэффициентам можно доверять, запишем их значения:

$$\begin{aligned} w_1 = 0,193; w_2 = 0,455; w_3 = 0,157; \\ w_4 = 0,054; w_5 = 0,141 \end{aligned} \quad (11)$$

8. Используя полученные весовые коэффициенты (11), а также значения показателей (см. табл. 4), найдем для каждого СУП значения функции (6):

$$d_1 = 0,263 \cdot 82 + 0,417 \cdot 66 + 0,160 \cdot 78 + 0,062 \cdot 61 + 0,098 \cdot 73 = 72,6;$$

$$d_2 = 0,263 \cdot 69 + 0,417 \cdot 76 + 0,160 \cdot 89 + 0,062 \cdot 54 + 0,098 \cdot 57 = 73,6;$$

$$d_3 = 0,263 \cdot 79 + 0,417 \cdot 83 + 0,160 \cdot 67 + 0,062 \cdot 58 + 0,098 \cdot 63 = 75,9.$$

9. Так как из трех полученных значений максимальное у третьего варианта (75,9), то

этот сценарий и рекомендуется к использованию. Задача выбора лучшего СУП завершена.

### Заключение

Предложены и апробированы математическое обеспечение и двухэтапная методика для выбора СУП применительно к специальности «Путь и путевое хозяйство». Математическое обеспечение содержит два непараметрических критерия (критерия Краскела – Уоллеса и Уилкоксона – Манна – Уитни) для выбора сценария в терминах математической статистики. Для сравнения сценариев предложены пять показателей, значения которых определяют эксперты по стобалльной шкале. Для «свертки» пяти показателей в один комплексный предложено использовать линейную модель с весовыми коэффициентами. Эти коэффициенты рекомендовано определять по методу анализа иерархий с вычислением отношения согласованности.

При апробации методики выбран один из трех рассматриваемых сценариев, который и рекомендован как лучший. Данная работа полезна при переходе на новые учебные стандарты, которые используют базовую и специальную программы.

Дополнительно отметим, что наименования и число показателей можно изменять. При этом возможны показатели, учитывающие специфику учебного процесса в конкретном вузе.

### Список литературы

1. Ашихмин Р.С., Борисова О.В. Искусственный интеллект: реальный потенциал для повышения эффективности бизнеса и государства // Вызовы цифровой экономики: технологический суверенитет и экономическая безопасность : сб. ст. VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Брянск, 2023. С. 45–48.
2. Стародубова А.А., Исакова Д.Д. Инновационные стратегии цифровых предприятий для достижения устойчивого развития в регионах // *π-Economy*. 2023. Т. 16. № 1. С. 39–50.
3. Тебекин А.В. Анализ проблем и перспектив реализации планов импортозамещения в отраслях промышленности // *Транспортное дело России*. 2022. № 2. С. 159–165.
4. Абдикеев Н.М. Импортозамещение в высокотехнологичных отраслях промышленности в условиях внешних санкций // *Управленческие науки*. 2022. Т. 12. № 3. С. 53–69.
5. Авдеенко Е.Е., Шитый А.Д. Использование искусственного интеллекта в целях повышения эффективности развития бизнеса и государства // Вызовы цифровой экономики: технологический суверенитет и экономическая безопасность : сб. ст. VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Брянск, 2023. С. 14–18.

6. Сивицкий Д.А. Анализ опыта и перспектив применения искусственных нейронных сетей на железнодорожном транспорте // Вестн. Сибир. гос. ун-та путей сообщ. 2021. № 2 (57). С. 33–41.
7. Алюнова Т.И., Алюнов Д.Ю. Трансформация образования в условиях цифровизации // Управление в условиях цифровизации социально-экономических процессов : сб. науч. ст. Чебоксары, 2020. С. 8–12.
8. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования / А.Ю. Уваров, Э. Гейбл, И.В. Дворецкая и др. М. : НИУ ВШЭ, 2019. 344 с.
9. Волежанина И.С. Цифровая трансформация образования в сфере железнодорожного транспорта // Вестн. Сибир. гос. ун-та путей сообщ.: Гуманитарные исследования. 2022. № 2 (13). С. 60–67.
10. Манаков А.Л., Хабаров В.И., Волежанина И.С. Интеграция образования, науки и производства по модели «Фабрика знаний» (на примере транспортной отрасли) // Качество. Инновации. Образование. 2019. № 5 (163). С. 12–19.
11. Исаева Т.Е., Малишевская Н.А. Реализация компетентного подхода в профессиональной подготовке обучающихся технических вузов через использование электронных стимуляторов // Вестн. Череповец. гос. ун-та. 2021. № 2 (101). С. 132–146.
12. Розенберг Е.Н., Аношкин В.В. Перспективы роста пропускной способности участков // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3. С. 4–7.
13. Сотников Е.А., Мехедов М.И., Холодняк П.С. Интенсификация роста загруженных направлений сети железнодорожных дорог // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3. С. 11–14.
14. Краковский Ю.М., Каргапольцев С.К., Начигин В.А. Моделирование перевозочного процесса железнодорожным транспортом: анализ, прогнозирование, риски. СПб. : ЛИТЕО, 2018. 240 с.
15. Базилевский М.П. Прогнозирование грузооборота железнодорожного транспорта по регрессионным моделям с детерминированными и стохастическими объясняющими переменными // Науч. ведомости Белгород. гос. ун-та. Сер.: Экономика. Информатика. 2019. Т. 46. № 1. С. 117–129.
16. Краковский Ю.М., Лузгин А.Н. Прогнозирование базовых показателей перевозочного процесса на основе сценарного подхода // Прикладная информатика. 2017. Т. 12. № 2 (68). С. 29–36.
17. Краковский Ю.М., Куклина О.Н. Бинарное прогнозирование динамических показателей на основе методов машинного обучения // Вестн. Томск. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 62. С. 50–55.
18. Краковский Ю.М., Крамынина Г.Н. Исследование сценариев прогнозирования грузооборота на железной дороге с учетом экспертной информации // System Analysis & Mathematical Modeling. 2023. Т. 5. № 4. С. 417–424.
19. Козлов П.А., Вакуленко С.П., Колокольников В.С. Расчет и оптимизация полигонов железнодорожного транспорта // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2017. № 3 (67). С. 96–101.
20. Краковский Ю.М., Даваадорж Б. Нечеткий численный вероятностный анализ для оценки показателей надежности рельсовых скреплений // Мир Транспорта. 2017. Т. 15. № 3 (70). С. 30–39.
21. Гула Д.Н., Головачинский В.О. Прогнозирование технического состояния сложных технических комплексов на основе экспертной информации // Изв. Тул. гос. ун-та. Технические науки. 2021. № 3. С. 260–264.
22. Прогнозирование качества функционирования технического объекта с использованием машинного обучения / М.И. Корнилова, С.В. Бусыгин, В.Н. Ковальногов и др. // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 4 (44). С. 152–158.
23. Холлендер М., Вульф Д. Непараметрические методы статистики. М. : Финансы и статистика, 1983. 518 с.
24. Закс Л. Статистическое оценивание. М. : Статистика, 1976. 598 с.
25. Саати Т.Л. Принятие решений : Метод анализа иерархий. М. : Радио и связь, 1993. 314 с.
26. Микони С.В. Теория и практика рационального выбора. М. : Маршрут, 2004. 462 с.

## References

1. Ashikhmin R.S., Borisova O.V. Iskusstvennyi intellekt: real'nyi potentsial dlya povysheniya effektivnosti biznesa i gosudarstva [Artificial intelligence: the real potential for improving the efficiency of business and the state]. *Sbornik statei VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Vyzovy tsifrovoi ekonomiki: tekhnologicheskii suverenitet i ekonomicheskaya bezopasnost'»* [Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation «Challenges of the digital economy: technological sovereignty and economic security»]. Bryansk, 2023, pp. 45–48.
2. Starodubova A.A., Iskhakova D.D. Innovatsionnye strategii tsifroykh predpriyatii dlya dostizheniya ustoichivogo razvitiya v regionakh [Innovative strategies of digital enterprises for achieving sustainable development in the regions]. *π-Economy*, 2023, vol. 16, no. 1, pp. 39–50.
3. Tebekin A.V. Analiz problem i perspektiv realizatsii planov importozameshcheniya v otraslyakh promyshlennosti [Analysis of problems and prospects of implementation of import substitution plans in industries]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport business of Russia], 2022, no. 2, pp. 159–165.
4. Abdikeyev N.M. Importozameshchenie v vysokotekhnologichnykh otraslyakh promyshlennosti v usloviyakh vneshnikh sanktsii [Import substitution in high-tech industries in the context of external sanctions]. *Upravlencheskie nauki* [Managerial Sciences], 2022, vol. 12, no. 3, pp. 53–69.
5. Avdeenko E.E., Shityi A.D. Ispol'zovanie iskusstvennogo intellekta v tselyakh povysheniya effektivnosti razvitiya biznesa i gosudarstva [The use of artificial intelligence in order to improve the efficiency of business and government development]. *Sbornik statei VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Vyzovy tsifrovoi ekonomiki: tekhnologicheskii suverenitet i ekonomicheskaya bezopasnost'»* [Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation «Challenges of the digital economy: technological sovereignty and economic security»]. Bryansk, 2023, pp. 14–18.



6. Sivitskii D.A. Analiz opyta i perspektiv primeneniya iskusstvennykh neironnykh setei na zheleznodorozhnom transporte [Analysis of the experience and prospects of using artificial neural networks in railway transport]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Siberian State Transport University], 2021, no. 2 (57), pp. 33–41.
7. Alyunova T.I., Alyunov D.Yu. Transformatsiya obrazovaniya v usloviyakh tsifrovizatsii [Transformation of education in the context of digitalization]. *Sbornik nauchnykh statei «Upravlenie v usloviyakh tsifrovizatsii sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov»* [Proceedings «Management in the context of digitalization of socio-economic processes»]. Cheboksary, 2020, pp. 8–12.
8. Uvarov A.Yu., Geibl E., Dvoretzkaya I.V., Zaslavskii I.M., Karlov I.A., Mertsalova T.A., Sergomanov P.A., Frumin I.D. Trudnosti i perspektivy tsifrovoy transformatsii obrazovaniya [Difficulties and prospects of digital transformation of education]. Moscow: NIU VShE Publ., 2019. 344 p.
9. Volegzhanina I.S. Tsifrovaya transformatsiya obrazovaniya v sfere zheleznodorozhnogo transporta [Digital transformation of education in the field of railway transport]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya: Gumanitarnye issledovaniya* [Bulletin of the Siberian State Transport University: Humanitarian Researches], 2022, no. 2 (13), pp. 60–67.
10. Manakov A.L., Khabarov V.I., Volegzhanina I.S. Integratsiya obrazovaniya, nauki i proizvodstva po modeli «Fabrika znaniy» (na primere transportnoi otrasli) [Integration of education, science and production according to the «Knowledge Factory» model (on the example of the transport industry)]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Innovation. Education], 2019, no. 5 (163), pp. 12–19.
11. Isaeva T.E., Malishevskaya N.A. Realizatsiya kompetentnostnogo podkhoda v professional'noi podgotovke obuchayushchikhsya tekhnicheskikh vuzov cherez ispol'zovanie elektronnykh stimulyatorov [The implementation of a competence-based approach in the professional training of students of technical universities through the use of electronic stimulants]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Cherepovets State University], 2021, no. 2 (101), pp. 132–146.
12. Rosenberg E.N., Anoshkin V.V. Perspektivy rosta propusknoi sposobnosti uchastkov [Prospects for the growth of the capacity of sections]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway Transport], 2020, no. 3, pp. 4–7.
13. Sotnikov E.A., Mehedov M.I., Kholodnyak P.S. Intensifikatsiya rosta zagruzhennykh napravlenii seti zheleznykh dorog [Intensification of the growth of busy areas of the railway network]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2020, no. 3, pp. 11–14.
14. Krakovskii Yu.M., Kargapol'tsev S.K., Nachigin V.A. Modelirovanie perevozochnogo protsessa zheleznodorozhnym transportom: analiz, prognozirovanie, riski [Modeling of the transport process by rail: analysis, forecasting, risk]. Saint Petersburg: LITEO Publ., 2018. 240 p.
15. Bazilevskii M.P. Prognozirovanie gruzooborota zheleznodorozhnogo transporta po regressionnym modelyam s determinirovannymi i stokhasticheskimi ob'yasnyayushchimi peremennymi [Forecasting the freight turnover of railway transport using regression models with deterministic and stochastic explanatory variables]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika* [Scientific Bulletin of the Belgorod State University. Series: Economics. Computer science], 2019, vol. 46, no. 1, pp. 117–129.
16. Krakovskii Yu.M., Luzgin A.N. Prognozirovanie bazovykh pokazatelei perevozochnogo protsessa na osnove stsenarnogo podkhoda [Forecasting of base indicators of transportation process based on a scenario approach]. *Prikladnaya informatika* [Journal of Applied Informatics], 2017, vol. 12, no. 2 (68), pp. 29–36.
17. Krakovskii Yu.M., Kuklina O.N. Binarnoe prognozirovanie dinamicheskikh pokazatelei na osnove metodov mashinnogo obucheniya [Binary forecasting of dynamic indicators based on machine learning methods]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of Tomsk State University. Management, computer engineering and computer science], 2023, no. 62, pp. 50–55.
18. Krakovskii Yu.M., Kramynina G.N. Issledovanie stsenariy prognozirovaniya gruzooborota na zheleznoi doroge s uchetoм ekspertnoi informatsii [Research of scenarios for forecasting freight turnover on the railway, taking into account expert information]. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2023, vol. 5, no. 4, pp. 417–424.
19. Kozlov P.A., Vakulenko S.P., Kolokol'nikov V.S. Raschet i optimizatsiya poligonov zheleznodorozhnogo transporta [Calculation and optimization of polygons of railway transport]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2017, no. 3 (67), pp. 96–101.
20. Krakovskii Yu.M., Davaadorzh B. Nechetkii chislennyi veroyatnostnyi analiz dlya otsenki pokazatelei nadezhnosti rel'sovykh skreplenii [Fuzzy numerical probabilistic analysis to assess the reliability of rail fasteners]. *Mir transporta* [World of Transport], 2017, vol. 15, no. 3 (70), pp. 30–39.
21. Gula D.N., Golovchinskii V.O. Prognozirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov na osnove ekspertnoi informatsii [Forecasting the technical condition of complex technical complexes based on expert information]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Bulletins of Tula State University. Technical sciences], 2021, no. 3, pp. 260–264.
22. Kornilova M.I., Busygin S.V., Koval'nogov V.N., Klyachkin V.N. Prognozirovanie kachestva funktsionirovaniya tekhnicheskogo ob'ekta s ispol'zovaniem mashinnogo obucheniya [Forecasting the quality of functioning of a technical object using machine learning]. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems], 2023, no. 4 (44), pp. 152–158.
23. Hollander M., Wolfe D.A. *Neparametricheskie metody statistiki* [Nonparametric statistical methods]. Moscow: Finansy i Statistika Publ., 1983. 518 p.
24. Sachs L. *Statisticheskoe otsenivanie* [Statistische Auswertungsmethoden]. Moscow: Statistika Publ., 1976. 598 p.

25. Saati T.L. Prinyatie reshenii: Metod analiza ierarkhii [Decision-making: The method of hierarchy analysis]. Moscow: Radio i Svyaz' Publ., 1993. 314 p.

26. Mikoni S.V. Teoriya i praktika ratsional'nogo vybora [Theory and practice of rational choice]. Moscow: Marshrut Publ., 2004. 462 p.

### Информация об авторах

**Краковский Юрий Мечеславович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: yuri.krakovskiy@yandex.ru.

**Колисниченко Елена Александровна**, кандидат технических наук, проректор по учебной работе, Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск; e-mail: kolisnichenko\_ea@irgups.ru.

**Начигин Владимир Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск; e-mail: nachiginv@yandex.ru.

### Information about the authors

**Yurii M. Krakovskii**, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Information Systems and Information Security, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: yuri.krakovskiy@yandex.ru.

**Elena A. Kolisnichenko**, Ph.D. in Engineering Science, Vice Rector for Academic Affairs, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: kolisnichenko\_ea@irgups.ru.

**Vladimir A. Nachigin**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: nachiginv@yandex.ru.