



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-2-62-70>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 681.142.2

ОЦЕНКА ПРИОРИТЕТОВ УПРАВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ

О.В. ГЕРМАН, Ю.О. ГЕРМАН, М.В. КУЗНЕЦОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 26 октября 2021

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. В статье содержится описание модели и подхода для определения весов управлений (иных объектов) на основе матрицы парных сравнений. Исходные данные в матрице парных сравнений в неявном виде задают интервальные оценки для сравнения управлений. Интервальные оценки можно сравнительно просто построить, используя нечеткую метрическую шкалу Харрингтона. Предлагается эвристический метод определения приоритетов управлений, который стремится получить веса (приоритеты) управлений, минимально отклоняющиеся от граничных значений интервалов весов. Последние легко отыскать с помощью системы отношений, на базе которых построена матрица парных сравнений управлений. Для оценки статистической адекватности найденных приоритетов управлений используется коэффициент детерминации, значение которого на уровне 80 % и выше считается практически приемлемым для приложений. Критическое значение коэффициента детерминации может быть определено, например, с помощью критерия Фишера. При невыполнении условий статистической адекватности следует пересмотреть исходные данные в матрице парных сравнений. Приведен пример, иллюстрирующий описанный в статье метод. Основными достоинствами изложенного в статье подхода являются гибкость выбора интервальных оценок при парном сравнении управлений, относительная простота вычислительных расчетов, возможность контроля результатов расчетов с помощью статистических критериев. Описанный метод развивает подход авторов к принятию антикризисных управлений за счет адаптации приоритетов управлений к условиям производственной системы и ее окружения.

Ключевые слова: матрица парных сравнений управлений, приоритеты управлений на основе интервальных оценок парных сравнений, статистическая адекватность оценок.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Герман О.В., Герман Ю.О., Кузнецов М.В. Оценка приоритетов управлений на основе матрицы парных сравнений. Доклады БГУИР. 2022; 20(2): 62-70.

EVALUATION OF CONTROL PRIORITIES BASED ON A MATRIX OF PAIRED COMPARISONS

OLEG V. GERMAN, JULIA O. GERMAN, MIKHAIL V. KUZNETSOV

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 26 October 2021

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The article contains a description of the model and approach for determining the weights of controls (other objects) based on a matrix of pairwise comparisons. The initial data in the matrix of paired comparisons implicitly specify interval estimates for comparison of controls. Interval estimates can be constructed relatively easily using Harrington's fuzzy metric scale. A heuristic method for determining the priorities of controls is proposed, which seeks to obtain weights (priorities) of controls that deviate minimally from the boundary values of the weight intervals. The latter are easy to find using the system of relations, on the basis of which the matrix of pairwise comparisons of controls is built. To assess the statistical adequacy of the found control priorities, the determination coefficient is used, the value of which at the level of 80 % and above is considered practically acceptable for applications. The critical value of the coefficient of determination can be determined, for example, using the Fisher criterion. If the conditions of statistical adequacy are not met, the initial data in the matrix of paired comparisons should be revised. An example is provided to illustrate the method described in the article. The main advantages of the approach described in the article are the flexibility of the choice of interval estimates for pairwise comparison of controls, the relative simplicity of computational calculations, and the ability to control the calculation results using statistical criteria. The described method develops the authors' approach to the adoption of anti-crisis management by adapting management priorities to the conditions of the production system and its environment.

Keywords: matrix of paired comparisons of controls, priorities of controls based on interval estimates of paired comparisons, statistical adequacy of solutions.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. German O.V., German Ju.O., Kuznetsov M.V. Evaluation of Control Priorities Based on a Matrix of Paired Comparisons. Doklady BGUIR. 2022; 20(2): 62-70.

Введение

В работе авторов [1] предложена математическая модель для количественной оценки антикризисных управлений. В модели использованы приоритеты управляющих воздействий, взятые из [2] и представляющие собой постоянные числовые величины, полученные экспертным путем. Очевидно, этот момент проблематичен, поскольку не принимается во внимание специфика предприятия, внешние и внутренние условия деятельности и др. В связи с этим целесообразно сформулировать и решить проблему оценки весов антикризисных управлений исходя из некоторых формализованных посылок. При этом существенным является фактор неопределенности, изначально ориентирующий на выбор подхода, связанный с оценкой приоритетов альтернатив (факторов) в моделях многокритериального выбора решений в условиях неопределенности. В этой работе в качестве такой модели выбрана матрица парных сравнений факторов [3], которая используется, например, в методе иерархий Т. Саати [4], методе парных сравнений [5] и др.

Элементы матрицы парных сравнений, которые рассматриваются в этой статье, предполагают, что сравнительные оценки альтернатив принадлежат интервалам $[l, r]$. При этом $r^{-1} \neq l$ в общем случае, т. е. мы изначально отклоняемся от оценок Саати и условия

согласованности оценок вида $\mu(i, j) = \frac{1}{\mu(j, i)}$.

Очевидно, что используемый авторами статьи способ представления интервалов $[l, r]$ использует значение l в ячейке (i, j) матрицы парных сравнений и значение r в ячейке (j, i) , т. е. интервал для «реальных» сравнительных оценок альтернатив задан неявным образом. В статье показано, как найти приоритеты альтернатив, удовлетворяющие данным оценкам в среднестатистическом смысле. Излагается сравнительно простой вычислительный метод и способ проверки статистической адекватности полученных оценок исходным данным. Как результат представлен подход, развивающий идеи Саати с учетом способа представления исходных данных и вычисления весов (приоритетов) управлений.

Подходы к определению весов

Имеется несколько вариантов поиска весов альтернатив, отправляясь от матрицы парных сравнений [3]. Один из них [6] реализует нечеткий метод анализа иерархий Саати. Базовая идея [6] состоит в том, чтобы отыскиваемые нечеткие веса в максимальной степени соответствовали исходным данным, представленным в табл. 1. Альтернативным методом Саати является метод парных сравнений альтернатив [5]. Однако он прямо оперирует нечеткими отношениями предпочтения, что «уступает» методу Саати в гибкости – величины можно определить по шкале Саати, абстрагируясь от каких-либо конкретных реальных оценок. Таким образом, метод Саати дает большую в сравнении с методом парных сравнений гибкость в задании исходных данных, однако в нечеткой формулировке [6] проигрывает методу парных сравнений в сложности решаемой оптимизационной задачи. Цель авторов статьи – изложить некоторый компромиссный вариант, который «отправляется» от исходных данных в форме неявно заданных интервалов, причем вычисления весов реализуются существенно проще. Задание парных отношений в форме интервалов увеличивает гибкость метода, в определенной степени сближая четкий и нечеткий подход к оценке весов факторов (управлений).

Исходная модель и постановка задачи

В [1] используется целевой функционал вида

$$F = \sum_k w_k \cdot U_k \rightarrow \max, \quad (1)$$

где U_k – управляющие воздействия и w_k – их веса. Введены ограничения на реализацию управлений (которые мы здесь не обсуждаем) исходя из требуемых ресурсов и их наличия. Сделаем акцент на способе определения весов w_k . Исходной будем считать матрицу парных сравнений значимости управлений (табл. 1).

Таблица 1. Матрица парных сравнений
Table 1. The paired comparisons matrix

Управление / Operation	U_1	U_2	U_N
U_1	1	μ_{12}	μ_{1N}
U_2	μ_{21}	1	μ_{2N}
.....
U_N	μ_{N1}	μ_{N2}	1

Величина μ_{ij} показывает, во сколько раз управление U_i значимее (менее значимо), чем управление U_j . Согласно подходу Т. Саати, имеет место соотношение

$$\forall \alpha, \beta \quad \mu(\alpha, \beta) = \frac{1}{\mu(\beta, \alpha)}, \quad (2)$$

которое допускается нарушать в определенных пределах [3]. Заметим, что $\mu(\alpha, \beta)$ находятся в диапазоне $[0, 10]$, т. е. не являются нечеткими.

Пусть $\mu(\alpha)$ – вес управляющего воздействия α . Тогда

$$\mu(\alpha) = \mu(\beta) \cdot \mu(\alpha, \beta); \quad \mu(\beta) = \mu(\alpha) \cdot \mu(\beta, \alpha). \quad (3)$$

Получим общую систему соотношений из (3):

$$\begin{aligned} \mu(2) &= \mu(1) \cdot \mu(2, 1), \\ \mu(3) &= \mu(1) \cdot \mu(2, 1) \cdot \mu(3, 2), \\ &\dots \end{aligned} \quad (4)$$

$$\mu(n) = \mu(1) \cdot \mu(2, 1) \cdot \mu(3, 2) \cdot \dots \cdot \mu(n, n-1).$$

Дополнительно учитываем условие нормирования

$$\sum_i \mu(i) = 1, \quad \mu(i) \geq 0. \quad (5)$$

Из тех же соображений:

$$\begin{aligned} \mu(2) &= \mu(1) \cdot \frac{1}{\mu(1, 2)}, \\ \mu(3) &= \mu(1) \cdot \frac{1}{\mu(1, 2)} \cdot \frac{1}{\mu(2, 3)}, \\ &\dots \end{aligned} \quad (6)$$

$$\mu(n) = \mu(1) \cdot \frac{1}{\mu(1, 2)} \cdot \frac{1}{\mu(2, 3)} \cdot \dots \cdot \frac{1}{\mu(n-1, n)}.$$

Наша задача состоит в том, чтобы попытаться максимально согласовать решения (4) – (6). С этой целью введем дополнительные переменные, получая в итоге следующую задачу:

$$F = \sum_{i, j: i < j} \lambda_{ij}^2 \rightarrow \min,$$

$$\begin{aligned} (1) \quad \mu(2) &= \mu(1) \cdot (\mu(2, 1) + \lambda_{21}), \\ (2) \quad \mu(3) &= \mu(1) \cdot (\mu(2, 1) + \lambda_{21}) \cdot (\mu(3, 2) + \lambda_{32}), \\ &\dots \\ (n) \quad \mu(n) &= \mu(1) \cdot (\mu(2, 1) + \lambda_{21}) \cdot (\mu(3, 2) + \lambda_{32}) \cdot \dots \cdot (\mu(n, n-1) + \lambda_{n, n-1}), \\ (n+1) \quad \mu(2) &= \mu(1) \cdot \left(\frac{1}{\mu(1, 2)} + \lambda_{12}\right), \end{aligned} \quad (7)$$

$$(n+2) \quad \mu(3) = \mu(1) \cdot \left(\frac{1}{\mu(1, 2)} + \lambda_{12}\right) \cdot \left(\frac{1}{\mu(2, 3)} + \lambda_{23}\right),$$

$$(2n) \quad \mu(n) = \mu(1) \cdot \left(\frac{1}{\mu(1, 2)} + \lambda_{12}\right) \cdot \left(\frac{1}{\mu(2, 3)} + \lambda_{23}\right) \cdot \dots \cdot \left(\frac{1}{\mu(n-1, n)} + \lambda_{n-1, n}\right),$$

$$\sum_i \mu(i) = 1, \quad \mu(i) \geq 0.$$

Имеем нелинейную оптимизационную задачу с $n + n^2$ переменными и $2n - 1$ ограничениями. Рассмотрим один из способов ее решения.

Отыскание весов управлений

Задачу можно упростить, если принять

$$\lambda_{ij} = -\lambda_{ji}. \quad (8)$$

В этом случае ее решение становится простым. Найдем пару уравнений вида:

$$\begin{aligned} \mu(j) &= \mu(i) \cdot (\mu(j, i) + \lambda_{ij}), \\ \mu(j) &= \mu(i) \cdot \left(\frac{1}{\mu(i, j)} - \lambda_{ij} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Отсюда получаем

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{\mu(i, j)} - \mu(j, i) \right). \quad (10)$$

Среди всех i, j определим ту пару индексов ($i \neq j$), для которой абсолютная величина λ_{ij} минимальна и не равна 0. Скорректируем значения:

$$\begin{aligned} \mu^*(j, i) &= \mu(j, i) + \lambda_{ij}, \\ \mu^*(i, j) &= \frac{1}{\mu^*(j, i)}. \end{aligned} \quad (11)$$

В (7) заменим $\mu(j, i)$ на $\mu^*(j, i)$, $\mu(i, j)$ на $\mu^*(i, j)$.

Повторяем процесс. Находим очередную пару (9) с минимальным значением (10). Изменяем значения согласно (11). Повторяем процесс для отыскания других оставшихся значений λ_{ij} . Далее покажем, что значения λ_{ij} можно получить прямо из табл. 1.

Пусть все значения $\mu^*(i, j)$ найдены. Воспользуемся условием нормирования (5) и определим μ_1 из формулы

$$\mu_1(1 + \mu^*(2, 1) + \mu^*(2, 1) \cdot \mu^*(3, 2) + \dots + \mu^*(2, 1) \cdot \mu^*(3, 2) \cdot \dots \cdot \mu^*(n, n-1)) = 1. \quad (12)$$

Найдя μ_1 и используя (4), определим значения весов других управлений. Остается сделать заключительный ход – пронормировать (если требуется) полученные значения μ_i для выполнения условия (5). Следующий шаг – статистическая проверка адекватности решения, заключающаяся в применении статистического критерия для оценки близости расчетных данных и данных исходной таблицы парных сравнений.

Статистическая проверка адекватности решения

Следует проверить полученное решение на статистическую адекватность исходным данным в матрице парных сравнений. Будем сравнивать значений весов μ_i^* управлений U_i , рассчитанных исходя из (11) и значений весов, определяемых из исходной матрицы парных сравнений. В исходной матрице парных сравнений мы имеем два множества весов управлений. Одно из них с элементами μ_i^a рассчитывается по формулам (7,1) – (7,n), второе с элементами μ_i^b – по формулам (7,2) – (7,2n). Рассчитанные нами значения μ_i^* должны быть статистически близки и к первым, и ко вторым значениям.

Будем использовать коэффициент детерминации, который применяют для сравнения модельных и реальных значений. Коэффициент детерминации определяется как $1 - u/v$, где u – сумма квадратов разностей реальных и полученных модельных значений μ_i^* весов управлений, определяемых на основе соотношений (4), (6), (12); v – это сумма квадратов разностей реальных значений μ_i^a (μ_i^b) и среднего значения на множестве реальных значений. Коэффициент детерминации должен стремиться к 1. На практике хорошим считается значение коэффициента детерминации, близкое к 80 % и выше (критическое значение коэффициента детерминации можно искать с помощью критерия Фишера). Если эта ситуация имеет место, то можно удовлетвориться найденным решением. В противном случае (значение коэффициента ниже критического) следует пересмотреть исходную матрицу парных сравнений на предмет коррекции (этот вопрос в настоящей работе не рассматриваем).

Описание метода вычисления весов альтернатив на примере

Обратимся к примеру. Пусть управляющие воздействия представлены следующим перечнем (сокращенным вариантом [2] с указанием оценок по шкале Харрингтона [7]):

- увеличение финансирования основного производства (финансовые вливания) (низкая) – U_1 ;
- сокращение численности работающих (средняя) – U_2 ;
- изменение условий труда и организации производственного процесса (средняя) – U_3 ;
- создание интегрированной информационной системы предприятия или модернизация имеющейся (средняя) – U_4 ;
- снижение затрат (себестоимости) (высокая) – U_5 .

Для заполнения матрицы воспользуемся шкалой Харрингтона (разумеется, можно использовать для этих целей и шкалу Саати). Шкала Харрингтона – это многоинтервальная дискретная вербально-числовая шкала, состоящая из пяти интервалов единичного отрезка, характеризующих степень приближения к некоторому идеалу:

- очень высокая (0,8 – 1,0);
- высокая (0,63 – 0,8);
- средняя (0,37 – 0,63);
- низкая (0,2 – 0,37);
- очень низкая (0 – 0,2).

Дадим предварительные интервальные оценки управления исходя из этой шкалы:

$$U_1 = [0,2 - 0,5]; U_2 = [0,6 - 0,7]; U_3 = [0,4 - 0,5]; U_4 = 0,4; U_5 = [0,8 - 0,9].$$

Отправляясь от этих предварительных оценок, составим матрицу парных сравнений. Возьмем, например, управления U_1, U_2 . Исходя из заданных интервальных оценок, максимальное значение отношения $\mu(1,2) = 0,5/0,6 \approx 0,83$; максимальное значение отношения $\mu(2,1) = 0,7/0,2 = 3,5$. По аналогии получаем другие значения (табл. 2):

Таблица 2. Матрица парных сравнений на основе заданных интервальных оценок
Table 2. The paired comparisons matrix on the basis of the given interval estimations

Управление / Operation	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
U_1	1	0,83	1,25	1,25	0,63
U_2	3,5	1	1,75	1,75	0,87
U_3	2,5	0,83	1	1,25	0,63
U_4	2	0,66	1	1	0,5
U_5	4,5	1,5	2,25	2,25	1

Составим табл. 3, в которую занесем модули расчетных соотношений (10).

Таблица 3. Интервальные оценки, пересчитанные согласно соотношениям (10)
Table 3. Interval estimations re-defined accordingly to relationships (10)

Управление / Operation	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
U_1	0	1,14	0,85	0,6	1,45
U_2	0,27	0	0,13	0,42	0,67
U_3	0,42	0,27	0	0,3	0,46
U_4	0,38	0,64	0,125	0	0,125
U_5	0,09	0,23	0,129	0,19	0

Из таблицы найдем для каждой пары (i, j) и (j, i) минимальное значение, которое и используем в качестве корректирующей величины λ_{ij} . Применим формулу (11) с учетом знака λ_{ij} . В результате получим новую таблицу сравнительных значений приоритетов (табл. 4).

Таблица 4. Скорректированная таблица парных сравнений
Table 4. The corrected table of the paired comparisons

Управление / Operation	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
U_1	1	0,56	0,83	0,87	0,54
U_2	1,78	1	1,62	1,33	0,78
U_3	1,2	0,61	1	1,14	0,47
U_4	1,15	0,75	0,875	1	0,375
U_5	1,85	1,27	2,12	2,66	1

Найдем веса управлений, исходя из табл. 4 и формул (7,1) – (7,n). Также найдем веса управлений из исходной таблицы парных сравнений (по формулам (7,1) – (7,n), (7,n+1) – (7,2n)). Данные (нормированы) помещены в табл. 5.

Таблица 5. Проверка статистической адекватности
Table 5. Checking up the statistical adequacy

Интервальные оценки приоритетов / Interval priority assessments	μ_i^*	μ_i^a	μ_i^b	d_1	d_2
U_1	0,14	0,074	0,185	–	–
U_2	0,25	0,26	0,23		
U_3	0,18	0,185	0,148		
U_4	0,16	0,148	0,148		
U_5	0,27	0,33	0,29		
Коэффициент детерминации / Determination coefficient			0,8	0,74

В нижней строке таблицы привели значения коэффициентов детерминации. В целом эти значения можно считать приемлемыми и принять найденные значения весов μ_i^* .

Заключение

Представленный в статье подход сочетает в себе достоинства метода Т. Саати и метода парных сравнений. В какой-то мере можно говорить, что он развивает метод Т. Саати в части использования в матрице приоритетов интервальных значений вместо точечных. Более того, в отличие от метода Саати исходная матрица парных сравнений «не привязана» к оценочной шкале Саати. Парные оценки управлений неявно построены как интервальные. Это делает подход более универсальным, поскольку он «мало чувствителен» к формированию исходных данных для матрицы парных сравнений. Интервальные оценки также менее подвержены ошибкам, делают выбор более «естественным». Кроме того (дополнительно к сказанному), используется достаточно общая оценочная шкала Харрингтона для выбора оценок для сравнений. В то же время вычислительная техника, реализуемая в описанном методе, сравнительно проста. Вопрос, следовательно, связывается с объективностью результирующих оценок весов управлений. Решение этого вопроса увязывается с проверкой статистической адекватности рассчитанных весов управлений граничным значениям интервалов $[l, r]$.

Для проверки адекватности использовался коэффициент детерминации. При неудовлетворительном результате проверки нужно пересмотреть значения исходных величин в матрице парных сравнений. Из примера, приведенного в статье, видно, что рассчитываемые веса стремятся наименьшим образом уклоняться от априорных весов, вычисляемых по формулам (4), (6). Таким образом, только большая разбежка в априорных весах может быть причиной неприемлемых значений коэффициентов детерминации. Этот вопрос оставлен авторами для последующего анализа. Предложенный подход может быть использован в моделях антикризисного управления, например, [8, 9]. Он также имеет самостоятельное значение при построении систем многокритериального выбора решений, особенно в условиях неполноты информации.

Список литературы

1. Герман О.В., Кузнецов М.В. Количественная оценка нечетких антикризисных управлений. *Доклады БГУИР*. 2021;19(2):83-90.
2. Starosta A. Anti-crisis Management Strategies. The case of companies in the Greater Poland Voivodeship. *Management*. 2014;18(1):256-265.
3. Krejci I. *Pairwise comparison mayrices and their fuzzy extension*. Berlin: Springer; 2018.
4. Saati T. *Fundamentals of decision making and priority theory with the AHP*. Pitsburg: RWS Publication; 1994.
5. Живицкая Е.Н., Одежская О.П. *Системный анализ и проектирование информационных систем*. Минск: БГУИР; 2005.
6. Laarhoven V., Pedrycz W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*. 1983;11(1-3):229-241.
7. Самохвалов Ю.Я., Бурба О.И. Оценка эффективности научных и научно-технических проектов на основе обобщенной функции Харрингтона. *Системы управления, навигации и связи*. 2018;4(50):77-85.
8. Tarasova H., Zaharov S., Vereskun M., Kolosok V. Preventive anticrisis strategy for development of industrial enterprise. *Independent journal of management and production*. 2018;10(5):1405-1420.
9. Герман О.В., Герман Ю.О., Кузнецов В.М. Подход к выбору управления в системе кластеров. *Труды БГТУ. Сер.: Физико-математические науки и информатика*. 2020;230(1):63-68.

References

1. German O.V., Kuznetsov M.V. [Quantitative estimation of the fuzzy crisis management]. *Doklady BGUIR = Doklady BGUIR*. 2021;19(2):83-90. (In Russ)
2. Starosta A. Anti-crisis Management Strategies. The case of companies in the Greater Poland Voivodeship. *Management*. 2014;18(1):256-265.
3. Krejci I. *Pairwise comparison mayrices and their fuzzy extension*. Berlin: Springer; 2018.
4. Saati T. *Fundamentals of decision making and priority theory with the AHP*. Pitsburg: RWS Publication; 1994.
5. Zivitskaya E.N., Odemskaja O.P. [*Sistemnyi analiz i proektirovanie informacionnyh system*]. Minsk: BSUIR; 2005. (In Russ)
6. Laarhoven V., Pedrycz W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*. 1983;11(1-3):229-241.
7. Samohvalov Yu.Ya., Burba O.I. [Efficiency estimation of the scientific and science-technology projects on the basis of a generalized Harrington's function]. *Control, navigation and communication systems*. 2018;4(50):77-85. (In Russ)
8. Tarasova H., Zaharov S., Vereskun M., Kolosok V. [Preventive anticrisis strategy for development of industrial enterprise]. *Independent journal of management and production*. 2018;10(5):1405-1420. (In Russ)
9. German O.V., German J.O., Kuznetsov M.V. [An approach to control choice in the system of clusters]. *Proceedings of Belarussian technological university = Trudy BGTU, Ser. of Physical and Mathematical Sciences and Informatics*. 2020;230(1):63-68. (In Russ)

Вклад авторов

Герман О.В. определил общую концепцию работы, написал введение и заключение.

Герман Ю.О. указала способ применения коэффициента детерминации в рамках реализованного подхода, написала введение, подраздел по проверке адекватности решения, заключение.

Кузнецов М.В. разработал модель и конкретизировал способ расчета приоритетов управлений.

Authors' contribution

German O.V. defined the general concept of the work, wrote the introduction and conclusion.

German Yu.O. indicated the method of applying the coefficient of determination within the framework of the implemented approach, wrote an introduction, a subsection on verifying the adequacy of a solution, and a conclusion.

Kuznetsov M.V. developed a model and specified a way to get the priorities of the controls.

Сведения об авторах

Герман О.В., к.т.н., доцент кафедры информационных технологий автоматизированных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Герман Ю.О., к.т.н., доцент кафедры программного обеспечения информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Кузнецов М.В., аспирант кафедры информационных технологий автоматизированных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники;
тел. +375-029-612-42-32;
e-mail: ovgerman@tut.by
Герман Олег Витольдович

Information about the authors

German O.V., Cand. of Sci, Associate Professor at the Department of Information Technologies of Automated Systems of the Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics.

German Ju.O., Cand. of Sci., Associate Professor at the Department of Information Technologies Software of the Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics.

Kuznetsov M.V., Ph.D. student at the Department of Information Technologies of Automated Systems of the Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics.

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics;
tel. +375-029-612-42-32;
e-mail: ovgerman@tut.by
German Oleg Vitoldovich