

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫБОРА МЕТОДА НОРМАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Д. С. Соловьев✉

*Кафедра «Математическое моделирование и информационные технологии»,
solovjevdenis@mail.ru; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет
имени Г. Р. Державина», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: выбор метода; нормализация данных; принятие решений; разработка алгоритма; формализация задачи.

Аннотация: Одной из ключевых проблем принятия решений является выбор подходящего метода нормализации данных, который обеспечивает их сопоставимость и возможность последующего анализа. Рассмотрена формализация задачи и разработка алгоритма выбора метода нормализации данных для принятия решений. Продемонстрирована реализация предлагаемого подхода к выбору метода нормализации данных на примере задачи принятия решения по определению лучших параметров для гальванического процесса нанесения цинкового покрытия. Найденное решение подтверждает получение надежных и достоверных результатов с использованием выбранных методов нормализации согласно предлагаемому подходу.

Введение

Принятие решений – важнейший процесс в различных сферах человеческой деятельности – от технологического обслуживания токарных станков [1], проектирования сети общеобразовательных школ [2], развития сети газовых заправочных станций [3], управления качеством функционирования структурных элементов в организационно-технических системах [4] до производства катализаторов для синтеза углеродных нанотрубок [5]. Для повышения эффективности результатов принятия решений необходимо постоянное исследование вопросов, возникающих при реализации данного процесса, в целях их преодоления.

Одной из ключевых проблем в процессе принятия решений является выбор подходящего метода нормализации данных. Нормализация используется для преобразования данных в стандартный формат для устранения шумов и разнородности размерностей, что обеспечивает сопоставимость данных и возможность их последующего анализа. Для ее реализации применяются такие методы, как линейная нормализация по Вейтендорфу, векторная, логарифмическая и пр. [6] Матрица решений, полученная после применения различных методов нормализации, расчетные формулы которых отличаются, будет оказывать первостепенное влияние на результат принятого решения.

В ряде работ проведены исследования по применению методов нормализации данных. Так, например, в работе [7] приводится анализ влияния линейной нормализации по Вейтендорфу на решение многокритериальных экономических задач при помощи максиминных критериев, в ходе которого установлена невозможность использования данного метода из-за неустойчивости к изменениям

ограничений. Применение метода нормализации, обеспечивающего представление гиперпространства частных критериев близким к единичному гиперкубу, описывается в работе [8]. Выбор метода нормализации путем оценки значения функции расстояния между данными рассматривается в работе [9]. Использование метода нормализации, который обеспечивает данным равную важность с точки зрения их изменчивости, предлагается в работе [10]. Однако отсутствует формализованный единый подход к выбору метода нормализации не только от имеющихся данных в матрице решений, но и от применяемого метода выбора лучшей альтернативы (решения задачи многокритериальной оптимизации), что обуславливает актуальность приведенного исследования.

Цель работы – формализация задачи и разработка алгоритма выбора метода нормализации данных для принятия решений.

Формализация задачи выбора метода нормализации данных

Для формализации задачи выбора метода нормализации данных воспользуемся методологией IDEF0, позволяющей привести системно-структурное описание данного процесса [11]. Вначале при помощи методологии IDEF0 рассмотрим сам процесс принятия решений, декомпозиция контекстной диаграммы которого показана на рис. 1.

В таком случае процесс принятия решений предполагает три основных процесса: A1 – нормализация данных; A2 – расчет весовых коэффициентов значимости критериев; A3 – выбор лучшей альтернативы. Механизмом для всех процессов A1 – A3 является лицо, принимающее решение. Процесс ограничен методами принятия решений, которые можно разделить на три категории: методы нормализации (для A1), методы расчета весовых коэффициентов значимости критериев (для A2) и методы выбора лучшей альтернативы (для A3).

Входная информация для процесса A1 включает в себя матрицу решения и типы критериев, в то время как выходной информацией является нормализованная матрица решений. Для процесса A2 входная информация – нормализованная матрица решений и типы критериев, а выходная – весовые коэффициенты значимости критериев. Для процесса A3 входная информация содержит нормализованную матрицу решений, типы критериев и весовые коэффициенты значимости критериев, а в качестве выходной информации выступает лучшая альтернатива.

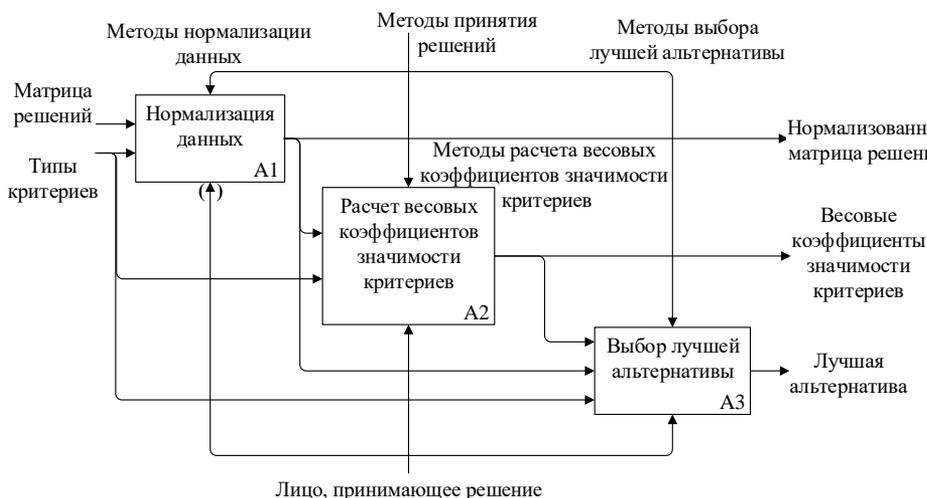


Рис. 1. Декомпозиция контекстной IDEF0-диаграммы процесса принятия решений

Процесс начинается с того, что лицо, принимающее решение, предоставляет матрицу решений, содержащую все возможные альтернативы и их оценки по каждому критерию. Затем в данных путем применения различных методов нормализации устраняется несоответствие в размерностях. После этого определяются весовые коэффициенты значимости критериев с помощью различных методов расчета. Наконец, при наличии нормализованных данных и весовых коэффициентов значимости критериев, лицо, принимающее решение, может использовать различные методы для выбора лучшей альтернативы. Выбранной лучшей альтернативой является та, которая имеет наивысший общий балл, рассчитывающийся, как правило, путем объединения нормализованных оценок по каждому критерию с их соответствующими весовыми коэффициентами значимости.

Для описания предлагаемой реализации процесса A1 воспользуемся его декомпозицией. На рисунке 2 показана декомпозиция диаграммы процесса нормализации данных по методологии IDEF0.

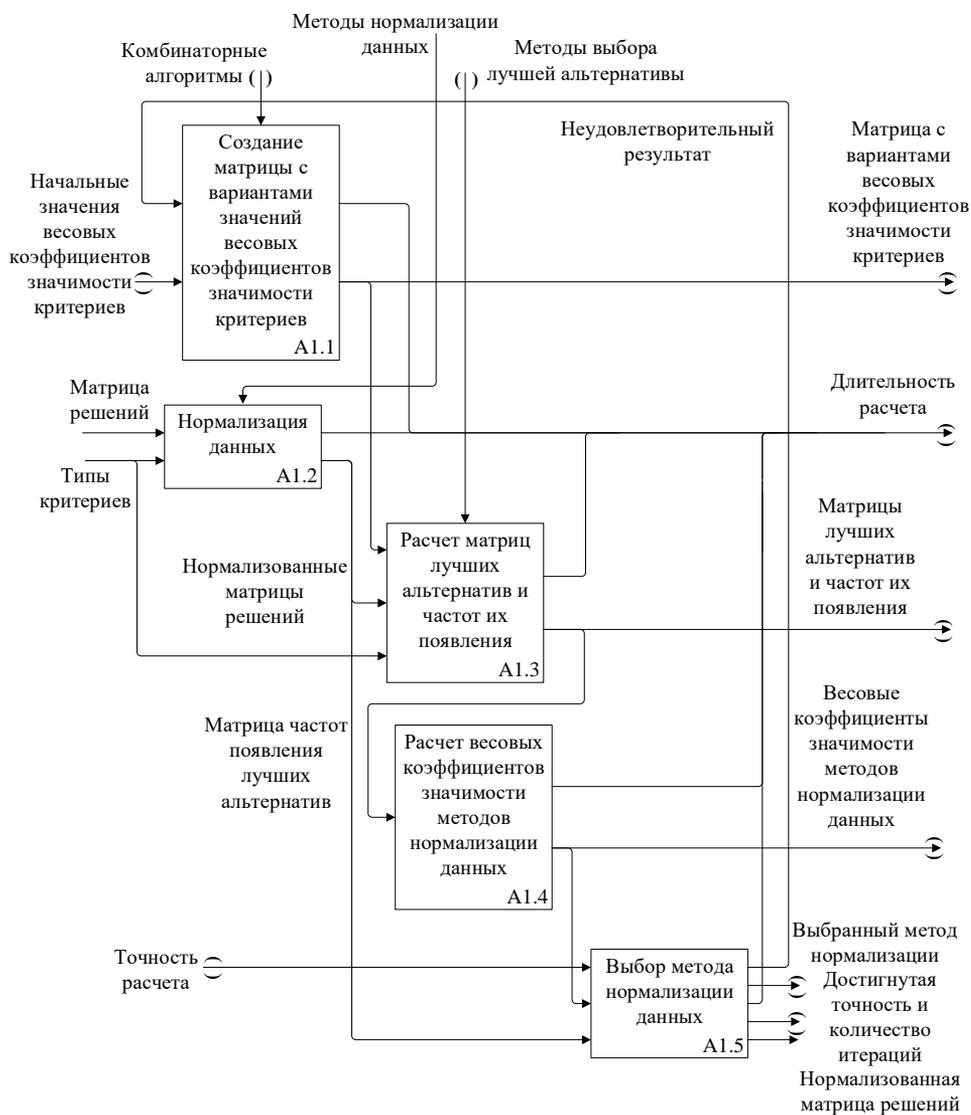


Рис. 2. Декомпозиция IDEF0-диаграммы процесса нормализации данных

Процесс A1 состоит из пяти подпроцессов: A1.1 – создание матрицы с вариантами значений весовых коэффициентов значимости критериев; A1.2 – нормализация данных; A1.3 – расчет матриц лучших альтернатив и частот их появления; A1.4 – расчет весовых коэффициентов значимости методов нормализации данных; A1.5 – выбор метода нормализации данных. Общей выходной информацией для всех подпроцессов A1.1 – A1.5 является длительность расчета.

Подпроцесс A1.1 основывается на начальных значениях весовых коэффициентов значимости критериев, а выходной информацией выступает матрица с вариантами весов. Комбинаторные алгоритмы используются в качестве механизма для данного подпроцесса.

Подпроцесс A1.2 принимает в качестве входной информации матрицу решений с типами критериев и формирует нормализованные матрицы решений, полученные при помощи методов нормализации, являющихся механизмом.

Подпроцесс A1.3 использует нормализованные матрицы решений, матрицу с вариантами весовых коэффициентов значимости критериев и типы критериев для расчета матриц лучших альтернатив и частот их появления. Механизмом являются методы выбора лучшей альтернативы.

Подпроцесса A1.4 на основе матрицы частот появления лучших альтернатив (входная информация) формирует весовые коэффициенты значимости методов нормализации данных (выходная информация).

Весовые коэффициенты значимости методов нормализации данных, нормализованные матрицы решений и точность расчета используются подпроцессом A1.5 в качестве входной информации для выбора метода нормализации данных. Его выходная информация содержит выбранный метод нормализации, достигнутую точность и количество итераций, а также нормализованную матрицу решений. В случае недостижения точности расчета информация о неудовлетворительном результате используется в качестве входной информации у подпроцесса A1.1 для создания новой матрицы с вариантами весовых коэффициентов значимости критериев, тем самым организуя обратную связь по входу.

Разработка алгоритма выбора метода нормализации данных

Сформулируем математическую постановку данной задачи следующим образом: для заданной матрицы решений S необходимо использовать такой метод нормализации M_{t^*} и ему соответствующую матрицу решений $\bar{S}_{t^*} = M_{t^*}(S)$, которые для метода выбора лучшей альтернативы $G(\bar{S}_{t^*}, \omega)$ обеспечивают получение наиболее часто встречаемой лучшей альтернативы при различных B сочетаниях значений весовых коэффициентов значимости критериев ω , то есть:

$$t^* = \operatorname{argmax}_{t=1, \dots, T} \gamma_t = \operatorname{argmax}_{t=1, \dots, T} \frac{\sum_{b=1}^B v_{b,t}}{\sum_{b=1}^B \sum_{t=1}^T v_{b,t}}, \quad (1)$$

где γ_t – весовой коэффициент значимости t -го метода нормализации; T – число методов нормализации; $v_{b,t}$ – частота появления лучшей альтернативы при b -м сочетании весовых коэффициентов значимости критериев в t -м методе нормализации.

Рассмотрим алгоритм решения задачи (1). Первым шагом является создание матрицы с B вариантами значений весовых коэффициентов значимости критериев ω . Это делается с помощью комбинаторных алгоритмов, которые позволяют перебрать все возможные комбинации весовых коэффициентов для каждого критерия. Затем происходит нормализация данных \bar{S}_i с использованием различных методов M_i . После этого посредством соответствующего метода выбора $G(\bar{S}_i, \omega)$ проводится расчет матриц лучших альтернатив и частот их появления $\nu_{b,i}$ путем подсчета количества раз, когда каждая альтернатива была выбрана как лучшая. Далее происходит расчет весовых коэффициентов значимости методов нормализации данных γ_i . Такие коэффициенты отражают выбор наиболее часто встречаемой лучшей альтернативы. Таким образом, метод с наибольшим весовым коэффициентом будет считаться наиболее предпочтительным для нормализации данных. Если требуемая точность расчета ε коэффициента значимости метода нормализации не достигнута, то значения весовых коэффициентов значимости критериев ω могут быть изменены и процесс повторяется снова до ее достижения.

Вычислительный эксперимент

Реализацию предлагаемого подхода к выбору метода нормализации данных рассмотрим на примере задачи принятия решения по определению лучших параметров (концентрации веществ в электролите $C_{i,1}, C_{i,2}, \dots$, температуры t_i , кислотности рН, плотности тока j_i , длительности процесса T_i) для гальванического процесса среди возможных альтернатив A_i ($i = 1, \dots, m$), которые обеспечивают оптимальные значения m критериев качества получаемого покрытия (K_1 – толщина, мкм; K_2 – микротвердость, кг/мм²; K_3 – шероховатости, мкм; K_4 – удельное сопротивление, Ом/м; K_5 – коэффициент отражения, %; K_6 – адгезия, Н/м²; K_7 – пористость, см⁻²; K_8 – коррозионная стойкость, %; K_9 – износ, г/с). Критерии K_1, K_2, K_5, K_6 и K_8 имеют тип максимизации, а K_3, K_4, K_7 и K_9 – минимизации.

Для гальванического процесса нанесения цинкового покрытия значения альтернатив по критериям из матрицы решений, по которой проводится выбор, показаны на рис. 3.

Пусть в качестве метода выбора лучшей альтернативы выступает взвешенный аддитивный критерий качества. В таком случае, математическая постановка задачи принятия решений будет звучать следующим образом: выбрать альтернативу A_{i^*} , которая максимизирует взвешенный аддитивный критерий качества:

$$i^* = \operatorname{argmax}_{i=1, \dots, m} G_i(S_{i^*}, \omega) = \operatorname{argmax}_{i=1, \dots, m} \sum_{j=1}^{n=9} \omega_j \bar{K}_{ij}^*, \quad (2)$$

где ω_j – весовой коэффициент значимости j -го критерия; \bar{K}_{ij}^* – нормализованное с использованием t^* -го метода значение j -го критерия по i -й альтернативе.

Определение весовых коэффициентов значимости критериев ω_j в (2) проводится по методу из [12]. Данный метод предполагает формирование матрицы весовых коэффициентов (с использованием количественных подходов), которой сопоставляется матрица рангов (качественный подход). Для получения заданного значения согласованности с помощью матрицы рангов решается задача бинарной оптимизации. Согласованность результатов (найденных ранговых значений весовых коэффициентов) оценивается с помощью коэффициента Кендалла W при заданном уровне значимости α . Расчет весовых коэффициентов значимости критериев

риев ω_j выполнялся для согласованности $W = 0,9$ при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$ при помощи разработанного программного обеспечения [13].

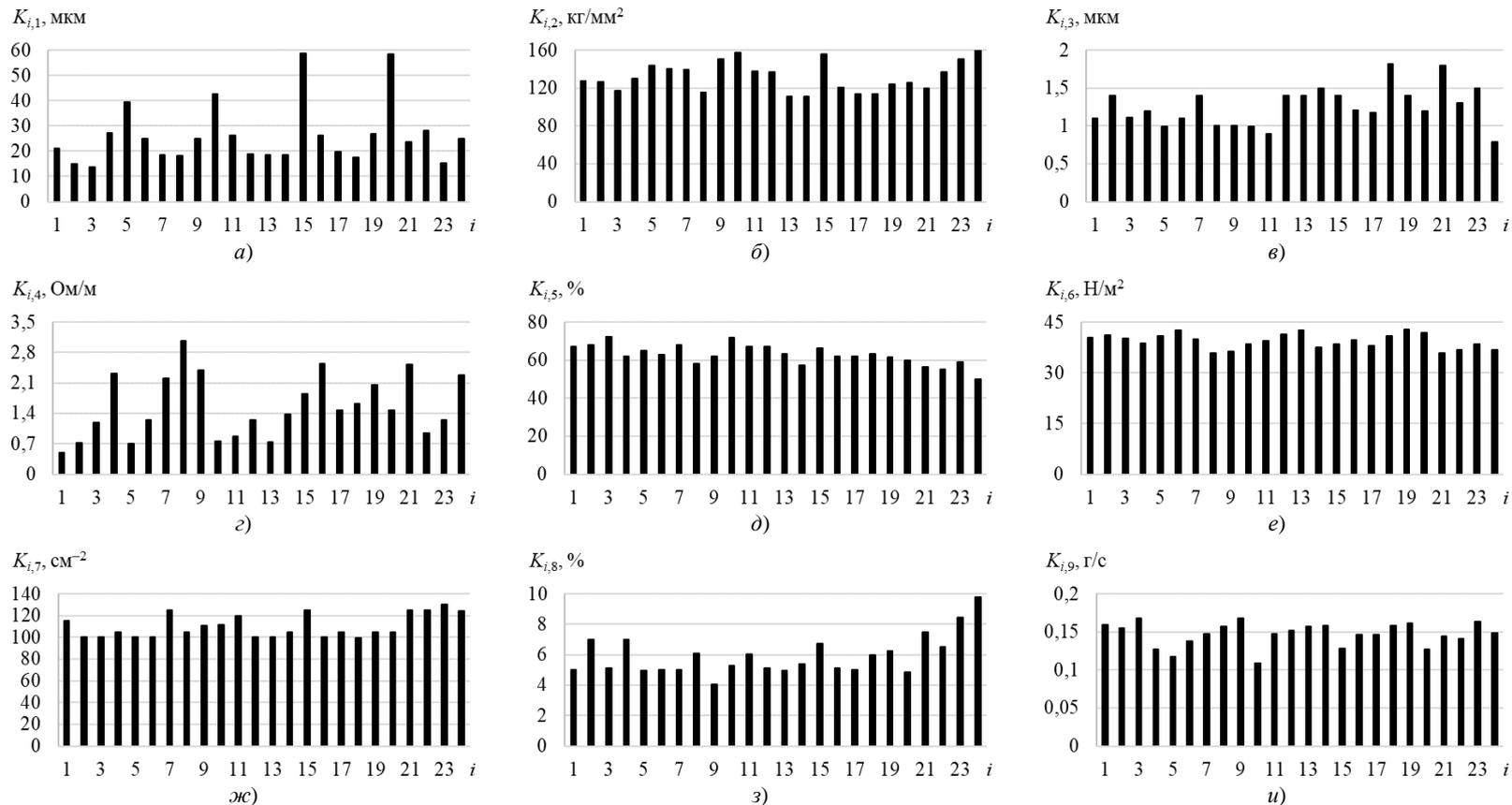


Рис. 3. Значения альтернатив $A_1 - A_{24}$ по критериям $K_1 - K_9$ (соответственно $a - u$)

В качестве методов нормализации значений j -го критерия по i -й альтернативе в (1) использовались [14]: линейный по Вейтendorфу M_1 ; max-линейный M_2 ; линейный по сумме M_3 ; векторный M_4 ; логарифмический M_5 ; min-max-линейный M_6 ; min-max-нелинейный M_7 ; улучшенной точности M_8 ; Завадскаса и Турского M_9 . Выбор метода нормализации данных по предлагаемому подходу проводился при помощи разработанного программного обеспечения [15]. Расчет коэффициентов значимости $\gamma_1 - \gamma_9$ для методов $M_1 - M_9$ выполнялся для точности $\varepsilon = 0,001$ при начальных весовых коэффициентах значимости критериев ω от 0 до 1 с шагом 0,2.

Анализ полученных результатов и их обсуждение

Рассчитанные весовые коэффициенты значимости критериев $K_1 - K_9$ показаны на рис. 4, а. Наибольшую значимость (0,193) имеет критерий K_4 , а наименьшую (0,029) – K_6 . Данные коэффициенты обладают согласованностью по коэффициенту Кендалла $W_{\text{расч}} = 0,911$ при полученном уровне значимости $\alpha_{\text{расч}} = 0,005$ с расчетной величиной 21,87 критерия χ -квадрат, превышающей табличное значение 15,5. Весовые коэффициенты значимости методов нормализации приведены на рис. 4, б.

Наибольшую значимость (0,134) имеют два метода нормализации – M_2 и M_6 . Данные коэффициенты получены на 2-й итерации при весовых коэффициентах значимости критериев от 0 до 1 с шагом 0,05. Для методов M_2 и M_6 нормализованные матрицы решений (см. рис. 3) показаны на рис. 5.

Каждый метод нормализации данных оказывает разное воздействие на исходные значения в матрице решений, что приводит к отличающимся нормализованным результатам. Полученные нормализованные матрицы решений с использованием найденных весовых коэффициентов значимости критериев (см. рис. 4) обеспечивают следующие значения взвешенного аддитивного критерия качества G , представленные на рис. 6.

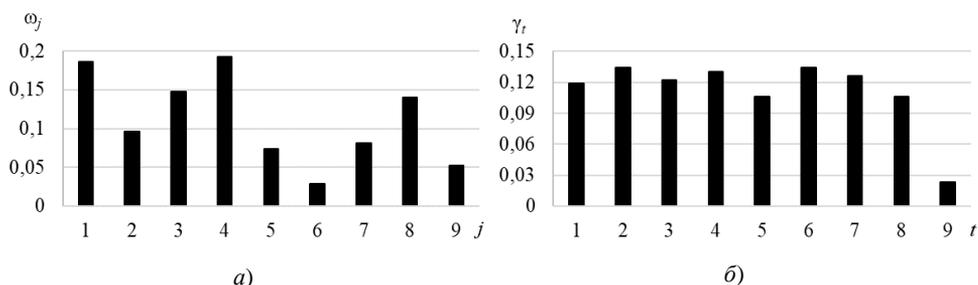


Рис. 4. Весовые коэффициенты значимости критериев (а) и методов нормализации (б)

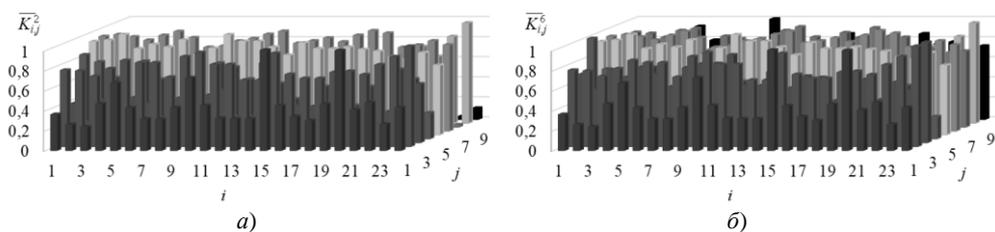


Рис. 5. Нормализованные матрицы решений по методам M_2 (а) и M_6 (б)

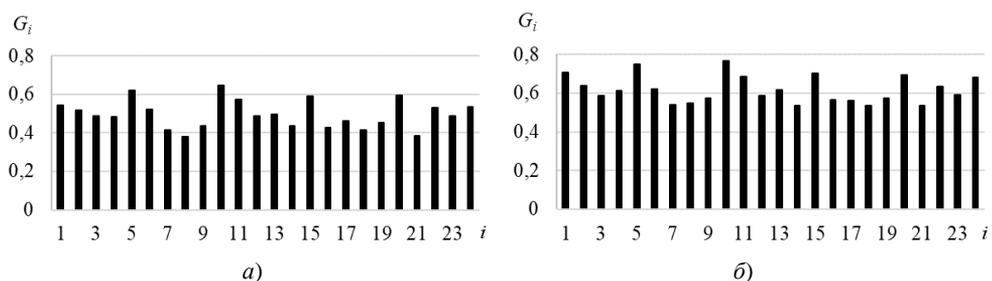


Рис. 6. Взвешенный аддитивный критерий качества, рассчитанный с использованием нормализованных матриц решений по методам M_2 (а) и M_6 (б)

Наибольшее значение аддитивного критерия в обоих случаях имеет альтернатива A_{10} , которая предполагает использование для гальванического процесса нанесения цинкового покрытия следующих параметров: концентрации цинка $C_{10,1} = 10$ г/л и гидроксида натрия $C_{10,2} = 110$ г/л; температура $t_{10} = 25$ °С; кислотность $pH_{10} = 4,2$; плотность тока $j_{10} = 1$ А/дм²; длительность процесса $T_{10} = 60$ мин. Таким образом, совпадение лучшей альтернативы свидетельствует о надежности и достоверности применения выбранных методов нормализации (M_2 или M_6) в контексте решения задачи (2) для имеющейся матрицы решений.

Заключение

Использование выбранных методов нормализации согласно предлагаемому подходу обеспечивает получение надежных и достоверных результатов. Данное обстоятельство способствует совершенствованию методологии принятия решений, обеспечивая систематический отбор и проверку применимости методов нормализации данных, используемых для выбора лучшей альтернативы. В свою очередь, полученные результаты закладывают основу для будущих исследований по применению предлагаемого подхода в целях совершенствования процессов принятия решений, а также подтверждения его обобщаемости и эффективности в различных областях человеческой деятельности.

Список литературы

1. Информационная поддержка принятия решений при проведении технологического обслуживания токарных станков / В. А. Немтинов, В. Ю. Бобылев, Ю. В. Немтинова, А. Б. Борисенко // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 2. – С. 220 – 229. doi: 10.17277/vestnik.2020.02.pp.220-229
2. Мокрозуб, В. Г. Системный анализ поддержки принятия решений при проектировании сети общеобразовательных школ / В. Г. Мокрозуб, С. А. Рачкова, Ф. И. Вшивков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 3. С. 363 – 370. doi: 10.17277/vestnik.2020.03.pp.363-370
3. Евстифеев, А. А. Системный анализ поддержки принятия решений при развитии сети газовых заправочных станций / А. А. Евстифеев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 203 – 211. doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.203-211
4. Формализация задачи поддержки принятия решений при управлении качеством функционирования структурного элемента деятельности в организационно-технической системе / К. А. Алейникова, В. Г. Мокрозуб, А. П. Рыжков, В. Е. Дидрих // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 376 – 386. doi: 10.17277/vestnik.2022.03.pp.376-386

5. Буракова, Е. А. Система поддержки принятия решений при производстве катализатора синтеза углеродных нанотрубок / Е. А. Буракова, Е. Н. Туголуков, Т. П. Дьячкова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 187 – 198. doi: 10.17277/vestnik.2023.02.pp.187-198
6. Krishnan, A. R. Past Efforts in Determining Suitable Normalization Methods for Multi-Criteria Decision-Making: A Short Survey / A. R. Krishnan // Frontiers in Big Data. – 2022. Vol. 5 (990699). – P. 1 – 10. doi: 10.3389/fdata.2022.990699
7. Наумов, А. А. О неустойчивости метода нормализации критериев / А. А. Наумов, Р. И. Баженов // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 11-1 (43). – С. 64 – 68.
8. Зуга, И. М. Нормализация пространства критериев в задачах оптимизации схем расположения объектов производственных комплексов / И. М. Зуга, В. Г. Хомченко // Омский научный вестник. – 2015. – № 1 (137). – С. 199 – 201.
9. Старовойтов, В. В. Нормализация данных в машинном обучении / В. В. Старовойтов, Ю. И. Голуб // Информатика. – 2021. – Т. 18, № 3. – С. 83 – 96. doi: 10.37661/1816-0301-2021-18-3-83-96
10. Багутдинов, Р. А. Методы интеграции, уменьшение размеров и нормализация обработки разнородных и разномасштабных данных / Р. А. Багутдинов, М. Ф. Степанов // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т. 9, № 2. – С. 39 – 44.
11. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ РД IDEF0-2000. – М. : Госстандарт России, 2000. – 75 с.
12. Соловьев, Д. С. Метод объективизации значений весовых коэффициентов для принятия решений в многокритериальных задачах / Д. С. Соловьев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 161 – 168. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168
13. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ № 2022665895. Определение весовых коэффициентов с заданной согласованностью в многокритериальных задачах принятия решений / Д. С. Соловьев, И. А. Соловьева (РФ). – Зарегистр. в реестре программ для ЭВМ. – 23 августа 2022 г.
14. Aytekin, A. Comparative Analysis of the Normalization Techniques in the Context of MCDM Problems / A. Aytekin // Decision Making: Applications in Management and Engineering. – 2021. – Vol. 4 (2). – P. 1 – 25. doi: 10.31181/dmame210402001a
15. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ № 2022682221. Оценка влияния методов нормализации критериев на результат задачи принятия решений / Д. С. Соловьев, Д. А. Саратов, И. А. Соловьева (РФ). – Зарегистр. в реестре программ для ЭВМ. – 21 ноября 2022 г.

Formalization of the Problem and Development of an Algorithm for Selecting a Data Normalization Method for Decision Making Support

D. S. Solovjev✉

*Department of Mathematical Modeling and Information Technologies,
solovjevdenis@mail.ru; Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia*

Keywords: choice of method; data normalization; making decisions; algorithm development; formalization of the task.

Abstract: One of the key problems of decision-making is the choice of an appropriate method of data normalization, which ensures their comparability and the possibility of subsequent analysis. The formalization of the problem and the

development of an algorithm for selecting a data normalization method for decision making are considered. The implementation of the proposed approach to choosing a data normalization method is demonstrated using the example of a decision-making problem to determine the best parameters for the galvanic process of applying zinc coating. The found solution confirms the receipt of reliable and reliable results using the selected normalization methods according to the proposed approach.

References

1. Nemtinov V.A., Bobylev V.Yu., Nemtinova Yu.V., Borisenko A.B. [Information decision making support for technological maintenance of lathes], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2020, vol. 26, no. 2, pp. 220-229. doi: 10.17277/vestnik.2020.02.pp.220-229 (In Russ., abstract in Eng.)
2. Mokrozub V.G., Rachkova S.A., Vshivkov F.I. [System analysis of decision support in the design of a secondary school network], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2020, vol. 26, no. 3, pp. 363-370. doi: 10.17277/vestnik.2020.03.pp.363-370 (In Russ., abstract in Eng.)
3. Evstifeev A.A. [The system analysis of decision support in the development of a network of gas filling stations], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2021, vol. 27, no. 2, pp. 203-211. doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.203-211 (In Russ., abstract in Eng.)
4. Aleinikova K.A., Mokrozub V.G., Ryzhkov A.P., Diedrich V.E. [Formalization of decision support in quality management of the structural element functioning in the organizational-technical system], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2022, vol. 28, no. 3, pp. 376-386. doi: 10.17277/vestnik.2022.03.pp.376-386 (In Russ., abstract in Eng.)
5. Burakova E.A., Tugolukov E.N., Dyachkova T.P. [A decision support system for preparation of a catalyst for the synthesis of carbon nanotubes], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2023, vol. 29, no. 2, pp. 187-198. doi: 10.17277/vestnik.2023.02.pp.187-198 (In Russ., abstract in Eng.)
6. Krishnan A.R. Past efforts in determining suitable normalization methods for multi-criteria decision-making: A short survey, *Frontiers in Big Data*, 2022, vol. 5 (990699), pp. 1-10. doi: 10.3389/fdata.2022.990699
7. Naumov A.A., Bazhenov R.I. [About instability of normalization criteria method], *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii* [Modern scientific research and innovation], 2014, no. 11-1 (43), pp. 64-68. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Zuga I.M., Khomchenko V.G. [Normalization of space criteria in optimization of process complex facilities layout targets], *Omskij nauchnyj vestnik*. [Omsk Scientific Bulletin], 2015, no. 1 (137), pp. 199-201. (In Russ.)
9. Starovoitov V.V., Golub Yu.I. [Data normalization in machine learning], *Informatika*. [Informatics], 2021, vol. 18, no. 3, pp. 83-96. doi: 10.37661/1816-0301-2021-18-3-83-96 (In Russ., abstract in Eng.)
10. Bagutdinov R.A., Stepanov M.F. [Methods of integration, reduction of sizes and normalization of processing of heterogeneous and multi-scale data], *International Journal of Open Information Technologies*, 2021, vol. 9, no. 2, pp. 39-44. (In Russ., abstract in Eng.)
11. *Metodologiya funkcional'nogo modelirovaniya IDEF0. Rukovodyashchij dokument RD IDEF0-2000* [Functional modeling methodology IDEF0. Guidance document RD IDEF0-2000], Moscow: Gosstandart Rossii, 2000, 75 p. (In Russ.)
12. Solovjev D.S. [The objectification method of the weight coefficients for decision-making in multicriteria problems], *Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki* [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2023, vol. 23, no. 1, pp. 161-168. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168 (In Russ., abstract in Eng.)

13. Solovjev D.S., Solovjeva I.A. *Opređenje vesovyh koeficientov s zadannoj soglasovannost'yu v mnogokriterial'nyh zadachah prinyatiya reshenij* [Determination of weighting coefficients with a given consistency in multicriteria decision-making problems], Russian Federation, 2022, Certificate of state registration of the computer program No. 2022665895. (In Russ.)

14. Aytekin A. Comparative Analysis of the Normalization Techniques in the Context of MCDM Problems, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2021, vol. 4 (2), pp. 1-25. doi: 10.31181/dmame210402001a

15. Solovjev D.S., Saratov D.A., Solovjeva I.A. *Ocenka vliyaniya metodov normalizacii kriteriev na rezul'tat zadachi prinyatiya reshenij* [Assessing the influence of criteria normalization methods on the result of a decision-making problem], Russian Federation, 2022, Certificate of state registration of the computer program No. 2022682221. (In Russ.)

Formalisierung der Aufgabe und Entwicklung eines Algorithmus zur Auswahl der Normalisierungsmethode für Daten zur Entscheidungsfindung

Zusammenfassung: Eines der zentralen Probleme der Entscheidungsfindung ist die Wahl einer geeigneten Methode zur Datennormalisierung, die deren Vergleichbarkeit und die Möglichkeit der anschließenden Analyse gewährleistet. Betrachtet sind die Formalisierung des Problems und die Entwicklung eines Algorithmus zur Auswahl der Datennormalisierungsmethode für die Entscheidungsfindung. Die Umsetzung des vorgeschlagenen Ansatzes zur Auswahl der Datennormalisierungsmethode ist am Beispiel des Entscheidungsproblems zur Bestimmung der besten Parameter für den galvanischen Prozess des Aufbringens der Zinkbeschichtung demonstriert. Die gefundene Lösung bestätigt den Erhalt zuverlässiger und glaubwürdiger Ergebnisse unter Verwendung der ausgewählten Normalisierungsmethoden gemäß dem vorgeschlagenen Ansatz.

Formalisation de la tâche et développement d'un algorithme de choix de la méthode de normalisation des données pour la prise de la décision

Résumé: Un des principaux défis à relever dans la prise de la décision est le choix de d'une méthode appropriée de normalisation des données, qui assure leur compatibilité et leur analyse ultérieure. Sont examinés la formalisation de la tâche et le développement d'un algorithme pour choisir la méthode de normalisation des données pour la prise de la décision. Est démontrée la mise en œuvre de l'approche proposée pour le choix de la méthode de normalisation des données en prenant l'exemple de la tâche de la décision consistant à déterminer les meilleurs paramètres pour le processus de galvanoplastie du revêtement de zinc. La solution trouvée confirme l'obtention de résultats fiables et sûrs en utilisant les méthodes de normalisation sélectionnées selon l'approche proposée.

Автор: *Соловьев Денис Сергеевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Математическое моделирование и информационные технологии», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина», Тамбов, Россия.