

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.832,2



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-4-130-143

Оригинальная статья/ Original article

**Алгоритм для определения степени уязвимости участков облачных
вычислений на основе метода ELECTRE I**

С.В. Разумников

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета (ЮТИ ТПУ),
652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, Россия

Резюме. Цель. В принятии решений при сравнении альтернатив часто приходится работать с различными значениями или оценками, которые еще имеют важность. Одним из методов многокритериального анализа, который может быть применен в модели определения уязвимости участков облачных вычислений является метод ELECTRE I. Данная статья представляет алгоритм для определения степени уязвимости участков облачных вычислений с использованием метода Electre I. **Метод.** Метод Electre I позволяет оценить относительные преимущества и недостатки различных участков облачных вычислений на основе набора критериев. **Результат.** Алгоритм, представленный в статье, включает в себя шаги для определения весов критериев, оценки альтернатив в соответствии с этими критериями и вычисления степени уязвимости. Данная модель позволит определить участок или участки, которые наиболее подвержены опасности поломки или выхода из строя, и удалить доминируемые альтернативы, которые не представляют серьезной опасности. На основе выявленных предпочтений можно принять решение об устранении неполадок по выбранным участкам облачного сервиса. Экспериментальное исследование проведено на основе реальных данных о системе облачных вычислений. **Вывод.** Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного метода и его способность точно определить уязвимости участков облачных вычислений. Результаты этой работы могут быть полезны для администраторов облачных систем и специалистов по безопасности, которые заботятся о поддержании безопасности и надежности в облачной среде.

Ключевые слова: облачные сервисы, уязвимости, метод ELECTRE I, многокритериальная задача оптимизации, множество недоминируемых альтернатив

Для цитирования: С.В. Разумников. Алгоритм для определения степени уязвимости участков облачных вычислений на основе метода ELECTRE I. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024;51(4):130-143. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-130-143

**Algorithm for determining the degree of vulnerability of cloud computing areas based
on the electre i method**

S.V. Razumnikov

26 Leningradskaya St., Yurga 652055, Russia

Abstract. Objective. In decision making when comparing alternatives, it is often necessary to work with different values or estimates that are still important. One of the multicriteria analysis methods that can be applied in the model for determining the vulnerability of cloud computing areas is the ELECTRE I method. This paper presents an algorithm for determining the degree of vulnerability of cloud computing areas using the Electre I method. **Method.** The Electre I method allows one to evaluate the relative advantages and disadvantages of different cloud computing areas based on a set of criteria. **Result.** The algorithm presented in the paper includes steps for determining the weights of criteria, evaluating alternatives according

to these criteria, and calculating the degree of vulnerability. This model will allow one to determine the area or areas that are most susceptible to the danger of breakdown or failure, and to remove dominated alternatives that do not pose a serious danger. Based on the identified preferences, one can make a decision on troubleshooting the selected areas of the cloud service. An experimental study was conducted on the basis of real data on the cloud computing system. **Conclusion.** The obtained results confirm the effectiveness of the proposed method and its ability to accurately determine the vulnerabilities of cloud computing areas. The results of this work may be useful for cloud system administrators and security professionals who are concerned about maintaining security and reliability in the cloud environment.

Keywords: cloud services, vulnerabilities, ELECTRE I method, multicriteria optimization problem, set of non-dominated alternatives

For citation: S.V. Razumnikov. Algorithm for determining the degree of vulnerability of cloud computing areas based on the electre i method. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(4):130-143. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-130-143

Введение. Облачные технологии оказывают все большее влияние на современный бизнес и IT-сектор. Они предоставляют гибкость, масштабируемость и доступность, что делает их актуальными для организаций всех размеров и отраслей [1, 2]. После выбора облачных сервисов для использования и их внедрения на предприятии следующим этапом их жизненного цикла становится сопровождение, управление их работой [3-5, 17, 18]. Облачные вычисления являются ключевой технологией в современных информационных системах, но они также могут стать объектом атак и уязвимостей. Поэтому важно иметь инструменты и методы для оценки и определения уязвимых участков в облачных вычислениях [6, 7].

В принятии решений при проведении анализа необходимо учитывать различные критерии при оценке и сравнении альтернатив. Для проведения оценки в такой ситуации хорошо зарекомендовали себя бинарные отношения и теория графов [8, 9]. Одним из методов многокритериального анализа, который может быть применен в модели определения уязвимости участков облачных вычислений – это метод ELECTRE I. В современном бизнесе и управлении сложные проблемы часто требуют принятия решений с учетом нескольких критериев или факторов. Метод ELECTRE I позволяет учитывать и выравнивать различные критерии при принятии решений, что делает его крайне полезным для реальных проблем. Он успешно применяется в различных областях, включая бизнес, экономику, инженерию, экологию и управление проектами. Применение метода ELECTRE I позволяет сформировать ранжированный список участков облачных вычислений по степени их уязвимости.

На основе этого метода предлагается модель по определению степени уязвимости участков облачных вычислений, что позволит выявить наиболее подверженные опасности поломки и принять решение, что устранять в первую очередь.

Постановка задачи. В статье представлена модель в виде алгоритма для определения степени уязвимости участков облачных вычислений на основе метода ELECTRE I. Применение метода ELECTRE I позволяет сформировать ранжированный список участков облачных вычислений по степени их уязвимости. Вместе с тем, следует учитывать следующие достоинства и недостатки применения данного метода:

Достоинства:

1. Учет многокритериальности: Метод Electre I позволяет учитывать несколько критериев при оценке и сравнении альтернатив, что позволяет более полно учесть особенности участков облачных вычислений и их уязвимости.

2. Понятность и прозрачность: Результаты применения метода Electre I представляются в виде ранжированного списка, что позволяет легко и понятно интерпретировать результаты и принять соответствующие решения по защите уязвимых участков.

Недостатки:

1. Трудоемкость: Применение метода Electre I может потребовать значительных вычислительных ресурсов и времени для анализа множества данных и принятия решений [5-7].

2. Субъективность: В процессе применения метода ELECTRE I требуется задание и взвешивание критериев, что может быть субъективным и зависеть от предпочтений экспертов или оценщиков [14-18].

В целом, применение метода ELECTRE I в модели определения уязвимости участков облачных вычислений может быть полезным и эффективным, но требует осторожного подхода и учета ограничений данного метода.

Целью данной работы является разработка алгоритма на основе метода ELECTRE I для определения степени уязвимости участков облачных вычислений.

Новизна работы заключается в том, что предложенный алгоритм учитывает специфику облачных сервисов и позволяет оценить уязвимость конкретных участков таких сервисов. В отличие от существующих методов, которые могут быть применимы только для оценки уязвимостей всей системы в целом, новый алгоритм позволяет проводить оценку уязвимостей на уровне отдельных участков, что делает его более точным и эффективным.

Метод Electre I является одним из методов множественных критериев принятия решений. Он основан на разработке ранжирования и классификации объектов с использованием нескольких критериев или факторов. В данном случае, Electre I используется для оценки и ранжирования уровня уязвимости участков облачных вычислений.

Существующие исследования в области безопасности и уязвимостей облачных вычислений обычно фокусируются на использовании других методов, таких как анализ рисков или статистические модели. Поэтому применение метода Electre I для определения уязвимости участков облачных вычислений представляет новый исследовательский подход. Значимость работы заключается в нескольких аспектах:

1. Улучшение безопасности облачных вычислений: Работа вносит вклад в область безопасности облачных вычислений, предлагая новый алгоритм для определения степени уязвимости. Это может помочь организациям и провайдерам облачных услуг улучшить безопасность своих систем, идентифицировать уязвимости и принять соответствующие меры для их устранения.

2. Повышение эффективности оценки уязвимости: Использование метода Electre I позволяет проводить более точную и систематическую оценку уязвимости участков облачных вычислений. Это предоставляет более объективные результаты и позволяет принимать информированные решения в отношении безопасности облачных окружений.

3. Возможность применения на практике: Работа имеет практическую значимость, так как предлагает инструмент для оценки безопасности облачных окружений, который может быть применен в реальных условиях. Это позволяет организациям и провайдерам облачных услуг принимать информированные решения по улучшению безопасности своих систем.

4. Возможность дальнейшего развития исследований: Работа предоставляет основу для дальнейших исследований и экспериментов в области безопасности облачных вычислений. Она стимулирует интерес к разработке и применению новых алгоритмов и методов для улучшения безопасности и защиты облачных окружений.

Поэтому данная работа имеет значимость как в научном, так и в практическом аспекте, предлагая новый подход к оценке уязвимости участков облачных вычислений и способствуя повышению безопасности в данной области.

Методы исследования. Часто возникает ситуация, когда сравниваемые альтернативы по критериям имеют различные значения или оценки (баллы). У одной альтернативы по сравнению с другой может быть по одним критериям оценка выше, а по другим наоборот ниже. То есть можно увидеть, что никакая строка из такой таблицы (матрица оценок

альтернатив по критериям) не доминирует другую. Поэтому все варианты по отношению абсолютного доминирования будут несравнимы и образуют множество Парето [10-13].

Рассмотрим ситуацию, когда критерии имеют количественную оценку важности, а не просто упорядочены. Альтернативы при этом будут оцениваться по порядковой шкале (качественной). Такая задача хорошо представляется с использованием бинарных отношений и теории графов. Так для каждого критерия строится граф, который показывает отношение предпочтения по заданному критерию. Вершины такого графа будут соответствовать альтернативам, дуги направляются от лучшего к худшему варианту. Необходимо объединить все графы в один, учитывая веса выбранных критериев, и выделить там вершину или вершины, которые будут считаться предпочтительными.

Метод, который позволяет решить такие многоцелевые задачи с комбинацией разных шкал, это метод ELECTRE I. Он относится к человеко-машинным процедурам, т. е. ЛПР (лицо, принимающее решение) определяет параметры, а программа рассчитывает варианты и представляет результат в наглядном виде [19-21]. Его суть состоит в том, что для несравнимых вершин по абсолютному доминированию вводятся показатели для сравнения – индексы согласия и несогласия, которые более чувствительны и позволяют учитывать относительную важность критериев. Введенные индексы сопоставляют с заданными значениями порога, и далее строят отношение для относительного доминирования. Для более простого понимания данного метода можно представлять, что критерии – это есть эксперты, у каждого из которых есть свой вес, т. е. его авторитет. И есть те, мнение (оценка) которых относится к большинству, а есть те, которые не согласны [22].

Индексы согласия. Первый этап по методу ELECTRE I – вычислить матрицу индексов согласия. Для этого берутся пары альтернатив (a_i, a_k) и для каждой такой пары:

а) Определяется группа $C(i, k)$ индексов критериев j , которая обозначает, что в выбранной паре a_i поставили более высокие оценки, и она будет предпочтительнее (1).

$$C(i, k) = \{j \mid u_{ij} > u_{kj}\} \quad (1)$$

где u – это j -ый критерий между i и k альтернативами. j – полученные номера критериев.

После этого необходимо определить суммарный вес в этой группе (2).

$$c_{ik} = \sum_{j \in C(i, k)} w_j \quad (2)$$

где w – это значения весов по j -му критерию.

Аналогично определяется группы индексов $D(i, k)$, оценки в которой противоположны (3). А также третья группа, в которой альтернативы считаются равноценными по критериям (4). Веса в группах также суммируются.

$$D(i, k) = \{j \mid u_{ij} < u_{kj}\}, d_{ik} = \sum_{j \in D(i, k)} w_j \quad (3)$$

$$E(i, k) = \{j \mid u_{ij} = u_{kj}\}, e_{ik} = \sum_{j \in E(i, k)} w_j \quad (4)$$

б) Вычисляется индекс согласия s_{ik} , который показывает, насколько мнение относительно a_i будет превышать мнение относительно a_k . Согласно методике ELECTRE I данный индекс рассчитывается по формуле (5).

$$s_{ik} = \frac{c_{ik} + 0,5 e_{ik}}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (5)$$

На основе индексов согласия строится матрица $S = (s_{ik})_{m \times m}$, где m – это число альтернатив.

Индексы несогласия. На втором этапе рассчитываются индексы несогласия. Мнение большинства отражается в индексах согласия, но необходимо учитывать и мнение меньшинства, то есть те пары, в которых оценки по критериям превосходят у второго элемента. Для этого в методе ELECTRE I вводятся индексы несогласия, которые определяются следующим образом. Для каждой пары (a_i, a_k) :

а) для каждого j -го критерия из множества $D(i, k)$, то есть таких, у которых оценки $u_{ij} < u_{kj}$, определяем индекс несогласия в диапазоне $0 \leq r_{ik}^j \leq 1$. Чем больше будут различаться оценки по j -му критерию, тем больше будет индекс несогласия. Однако здесь присутствует логическая неточность: используя порядковую шкалу невозможно между оценками оценить различие, только можно сказать, какая из этих оценок будет больше.

Авторы метода предлагают определять в порядковой шкале j -го критерия меру различия Δ_{ik}^j между оценками u_{ij} и u_{kj} не их разностью $(u_{kj} - u_{ij})$, а нахождением числа разделяющих их значений, прибавляя 1-цу, т. е. соседние значения будут различаться на 1-цу. r_{ik}^j рассчитываем как меру различия, умножив ее на константу $h_j > 0$. Эта константа будет индивидуальна для каждого критерия.

б) рассчитываем общий индекс несогласия (6).

$$r_{jk} = \max_j r_{ik}^j \quad (6)$$

Веса критериев не учитываются. Из всех несогласных значений определяется самый упорный. После того, как все пары альтернатив будут рассмотрены, строим матрицу индексов несогласия $R = (r_{ik})_{m \times m}$.

Построение графа относительного доминирования. На третьем этапе по методу ELECTRE I строятся графы. Для того, чтобы построить итоговое отношение по доминированию устанавливаются пороги несравнимости. Это пороговые значения по согласию s^* и несогласию r^* . Далее каждый индекс s_{ik} и r_{ik} (элементы матрицы) сравнить с порогами. Альтернатива a_i будет доминировать над a_k , если большинство критериев с учетом их веса согласованы, при этом нет значений, которые резко против, т. е. $s_{ik} \geq s^*$, $r_{ik} \leq r^*$.

Отношение относительного доминирования отображаем графом, дуги в котором будут направлены в сторону доминируемых вершин. С помощью индексов согласия и несогласия удастся объединить несколько графов в один. В результате такого действия некоторые альтернативы, которые были несравнимы по отношению абсолютного доминирования, теперь связаны дугами.

Следует отметить, что важен правильный выбор порогов несравнимости s^* и r^* . Так как при неудачном выборе могут образовываться контуры (орциклы). В этом случае авторами предлагается считать одной общей вершиной все вершины из замкнутого контура, т. е. провести операцию по стягиванию контуров. После этого контуров у графа не будет, можно будет построить ядро по алгоритму [19].

Проведение анализа (построение ядра). После того как построен ориентированный граф без контуров относительного доминирования определяем, какие вершины графа можно убрать, а какие следует оставить для последующего анализа. По методу ELECTRE I предлагается находить ядро, что успешно применяется в случае транзитивных графов. Те есть оставлять те вершины, которые друг друга не доминируют, а которые в совокупности доминируют другие. Известно, что любой граф без контуров будет иметь ядро, причем единственное. Для построения ядра будем использовать следующий алгоритм:

1. Разбить на ярусы. Находим вершины, в которые не идет ни одна дуга, в том числе изолированные. Эти вершины будут относиться к 0-му ярусу. Далее мысленно вы-

черкиваем такие вершины со всеми дугами, которые идет к ним или от них. В том графе, который получится после вычеркивания, определяем новые вершины. Они будут относиться к 1 ярусу. Аналогично повторяем операции до тех пор, пока все вершины не будут распределены на ярусы. Так будет происходить нормальное завершение алгоритма. Однако может возникнуть такая аварийная ситуация, когда часть вершин останется необработанный, т.к. на определенном шаге не найдутся антитупики. Это будет говорить о том, что в графе имеются контуры.

2. Определение ядра. Все вершины, которые включены в 0-ой ярус, будут считаться ядром. Вершины, которые остались, будут рассматриваться в порядке увеличения ярусов. В ядро необходимо добавить вершины, не связанные дугами.

Значительные усилия были предприняты для решения проблемы оценки облачных сервисов. Для решения этой проблемы были разработаны различные методы оценки облачных услуг. Облачные услуги оцениваются по множеству критериев, что приводит к проблеме многокритериального принятия решений. Тем не менее, исследования, которые анализируют и обобщают нерешенные проблемы и недостатки текущих методов поддержки принятия решений ограничены. В существующих обзорных исследованиях [23] рассматриваются и исследуются только отдельные части облачных сервисов, а не полное решение. Облачные вычисления предоставляют полностью масштабируемую, доступную и гибкую вычислительную платформу для различных приложений. Из-за множества приложений, которые облачные вычисления нашли во многих жизненных функциях, пользователи и поставщики рассмотрели возможность обеспечения безопасности облачных коммуникаций. Из-за своей распределительной природы, динамического пространства и отсутствия прозрачности при выполнении облачных вычислений приходится сталкиваться со многими проблемами в обеспечении безопасности. Для улучшения безопасности управление доверием может сыграть очень важную роль. В [24] предлагается общая аналитическая методология, которая использует ряд критериев оценки для оценки текущих прототипов тестирования доверительного управления в промышленных облачных вычислениях и смежных областях. Результаты сравнения и оценки эффективности этой модели показывают ее способность управлять доверием и способность быстро адаптироваться к изменениям в поведении поставщиков услуг. Результаты моделирования и оценки этой статьи показывают, что предложенная модель обеспечивает более точную оценку надежности поставщиков облачных услуг, чем другие модели.

В [25] сравниваются два подхода поддержки принятия решений: ANP и ELECTRE III для оценки показателей кибербезопасности. Растущее число сервисов, которые могут удовлетворить функциональные требования пользователей, вдохновило многих исследователей на разработку некоторых подходов для ранжирования и выбора наилучших сервисов с учетом их качества обслуживания (QoS) и предпочтений пользователей. Учитывая различные критерии, которые следует учитывать в процессе выбора услуги, широко применяются методы принятия решений по множеству критериев, чтобы помочь лицу, принимающему решения, определить вес каждого фактора QoS и ранжировать услуги, предоставляемые различными поставщиками услуг. В [26] представлено обширное исследование современных схем выбора услуг на основе многокритериальной поддержки принятия решений.

Для решения проблемы выбора услуг было предложено несколько подходов, включая многокритериальный анализ решений. Он позволяет пользователю выбирать из множества доступных вариантов. В [27] анализируется применение методов для выбора услуг. Там представлена таксономия, полученная на основе обзора литературы, выделено несколько современных практических аспектов для реализации многокритериальных методов поддержки принятия решений при выборе услуг облачных вычислений. Вклад этого исследования состоит из четырех частей: сосредоточение внимания на современных методах, освещение сравнительного анализа и пригодности нескольких методов, пред-

ставление таксономии посредством обширного обзора литературы, анализ и обобщение выбора услуг облачных вычислений в различных сценариях. В [28] описан метод классификации рисков в области информационной безопасности. Используя набор примеров классификации, рассматривается многокритериальная модель помощи при принятии решений ELECTRE. Эта модель способна классифицировать организации по классам риска на основе характеристики компании и результаты технической оценки. Модель заключалась в сборе примеров классификации, определении критериев измерения. Полученная модель реализована как веб-приложение, которое позволяет экспертам по безопасности сделать более уверенные выводы об уровне риска своих клиентов. Приведем сравнительный анализ аналогичных методов поддержки принятия решений для возможного применения оценки (табл. 1). Помимо ELECTRE I рассмотрим метод общего характера, такой как анализ иерархий и более специфичный для данной предметной области, CVSS.

Таблица 1. Сравнительный анализ методов поддержки принятия решений
Table 1. Comparative analysis of decision support methods

Название метода Method name	Суть метода Essence	Преимущества Advantages	Недостатки Flaws
МАИ - метод анализа иерархий. Analytical hierarchy process method	Используется для анализа сложных проблем и принятия решений на основе иерархической структуры/for analyzing complex problems and making decisions	Позволяет оценивать относительную важность элементов в системе, учитывать иерархическую структуру системы/evaluates the relative importance of elements in a system	Не учитывает вероятность возникновения угроз безопасности, не позволяет оценивать риски на уровне отдельных участков облачных сервисов/ does not take into account the likelihood of security threats
ELECTRE I	Используется для оценки и выбора предпочтительных вариантов действий на основе анализа их относительной важности/ to evaluate and select preferred options	Позволяет оценивать относительную важность элементов в системе, учитывать вероятность возникновения угроз безопасности, оценивать риски на уровне отдельных участков облачных сервисов/ evaluates the relative importance of elements in the system, takes into account the likelihood of security threats	Не учитывает уровень воздействия угроз и уровень потери в случае реализации угрозы/ does not take into account the level of impact of threats and the level of loss in the event of a threat being realized
CVSS (общая система оценки уязвимостей) Common vulnerability assessment system	Используется для оценки уязвимостей информационных систем и определения приоритетов в их устранении/ to assess the vulnerabilities of information systems and determine priorities	Учитывает уровень воздействия угроз и уровень потери в случае реализации угрозы/ Takes into account the level of impact of threats and the level of loss in the event of a threat being realized	Не позволяет оценивать относительную важность элементов в системе, не учитывает вероятность возникновения угроз безопасности/ does not allow to assess the relative importance of elements in the system, does not take into account the likelihood of security threats

Таким образом, каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор конкретного метода зависит от целей и требований оценки рисков облачных сервисов.

Выбор метода ELECTRE I для оценки уязвимостей участков облачных вычислений обусловлен несколькими причинами:

1. Учет экспертных знаний: ELECTRE I позволяет учитывать экспертные знания и предпочтения лица, принимающего решение. Это особенно важно при оценке уязвимостей, так как требуется учитывать специфику конкретной облачной инфраструктуры и ее компонентов.

2. Оценка важности уязвимостей: ELECTRE I позволяет сравнивать различные уязвимости и оценивать их важность. Это помогает определить приоритеты в устранении

уязвимостей и сосредоточить усилия на наиболее критических участках облачных вычислений.

3. Учет вероятности возникновения: Electre I учитывает вероятность возникновения уязвимостей, что позволяет оценить реальные риски и принять меры по их снижению.

4. Гибкость и настраиваемость: ELECTRE I позволяет настраивать критерии оценки в соответствии с конкретными потребностями и требованиями организации. Это дает возможность адаптировать метод под конкретную облачную инфраструктуру и ее особенности.

В целом, выбор метода ELECTRE I для оценки уязвимостей участков облачных вычислений обоснован его способностью учитывать экспертные знания, оценивать важность уязвимостей, учитывать вероятность возникновения и быть гибким в настройке критериев оценки. На основе использования метода ELECTRE I предлагается алгоритм по определению степени уязвимости участков облачных вычислений. На рис. 1 представлена модель (схема алгоритма) использования метода ELECTRE I для принятия решений.

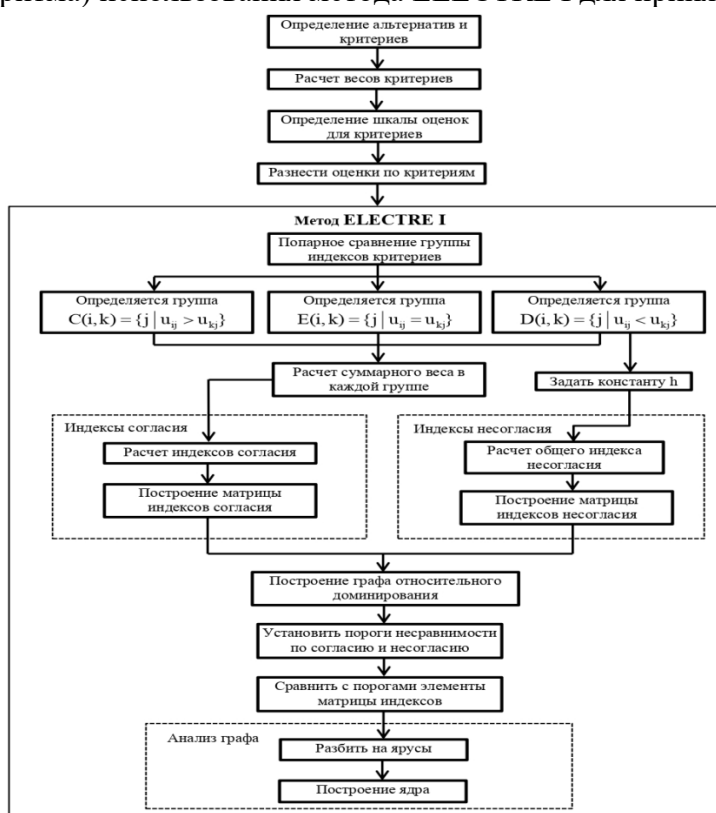


Рис. 1. Модель-алгоритм для определения степени уязвимости участков облачных вычислений на основе метода ELECTRE I

Fig. 1. Model-algorithm for determining the degree of vulnerability of cloud computing areas based on the ELECTRE I method

Данная модель позволит определить участок или участки, которые наиболее подвержены опасности поломки или выхода из строя, и удалить доминируемые альтернативы, которые не представляют серьезной опасности. На основе выявленных предпочтений можно принять решение об устранении неполадок по выбранным участкам облачного сервиса. Специфика применения метода ELECTRE I для определения степени уязвимости участков облачных вычислений имеет свои особенности. Вот некоторые из них:

1. Критерии уязвимости: Для применения метода ELECTRE I необходимо определить набор критериев, по которым будет проводиться оценка уязвимости. Эти критерии могут включать такие факторы, как уровень доступности, конфиденциальность данных, целостность и доступность резервной копии. Важно правильно выбрать и настроить эти критерии, чтобы они отражали особенности уязвимостей облачных вычислений.

2. Веса критериев: В методе ELECTRE I каждому критерию присваивается вес, который определяет его относительную важность при оценке уязвимости. Эти веса могут зависеть от конкретных потребностей и требований организации или провайдера облачных услуг. Важно тщательно определить веса критериев, чтобы они отражали их относительную значимость.

3. Интервальная шкала: Метод ELECTRE I использует интервальную шкалу для оценки каждого критерия по каждому участку облачных вычислений. Определение правильных интервалов и шкалы может быть сложной задачей, требующей тщательного анализа и экспертного мнения. Важно определить шкалу, которая наилучшим образом учитывает различные уровни уязвимости.

4. Пороговые значения: Для принятия решения о степени уязвимости каждого участка облачных вычислений необходимо определить пороговые значения. Эти значения помогут определить, когда участок считается уязвимым. Здесь важно учитывать специфические требования организации или провайдера услуг, а также уровень риска, который они готовы принять.

Обсуждение результатов. Применение метода ELECTRE I для определения степени уязвимости участков облачных вычислений требует тщательного анализа и настройки. Однако, он может предоставить более точные и объективные результаты, которые помогут организации и провайдерам услуг принимать информированные решения для улучшения безопасности облачных окружений.

Рассмотрим пример использования метода ELECTRE I для определения степени уязвимости в работе участков облачных сервисов. В качестве участков рассматривались следующие 7 блоков: серверы, виртуальные машины, хранилище, сети, ОС (операционная система), СУБД (система управления базами данных), связующее ПО (программное обеспечение). Эти участки различны по следующим критериям: администрирование и поддержка пользователей, производительность, надежность, масштабирование. Веса критериев найдем экспертным путем при помощи матрицы попарных сравнений.

Самым важным критерием при выборе участка оказалась надежность, менее значимым – масштабирование. Веса критериев соответственно равны: $w = (0.24, 0.3, 0.37, 0.09)$. Оценка по критериям будет производиться по качественной шкале (табл. 2). Для этой шкалы градации закодированы цифрами, т. е. если оценка для участка «4», это не значит что она в 2 раза лучше той, у которой значение «2».

Таблица 2. Шкала критериев для задачи выбора участка уязвимости облачных сервисов
Table 2. Criteria scale for the task of selecting a vulnerability area for cloud services

Критерии Criteria	Градации Grading	Балл (оценка) Score (rating)
u_1 – администрирование и поддержка пользователей/ administration and user support	отличная	5
	выше среднего	4
	средняя	3
	ниже среднего	2
	плохая	1
u_2 – производительность/ performance	отличная	3
	средняя	2
	плохая	1
u_3 – надежность/ reliability	высокая	2
	средняя	1
u_4 – масштабирование/ scaling	есть	1
	нет	0

Сравним 7 участков $a_1, \dots, a_7$, их оценки u_{ij} по всем критериям представлены в табл. 3. Можно увидеть, что ни одна строка из этой таблицы не доминирует над другой, поэтому все варианты по отношению абсолютного доминирования несравнимы и образуют множество Парето.

Таблица 3. Оценки альтернатив по критериям
Table 3. Evaluation of alternatives by criteria

Альтернативы Alternatives a_i	u_{i1}	u_{i2}	u_{i3}	u_{i4}
a_1	4	3	2	1
a_2	4	3	1	1
a_3	3	2	2	1
a_4	5	2	2	0
a_5	2	2	1	1
a_6	5	3	2	1
a_7	3	3	2	0

Проиллюстрируем графы предпочтений для каждого критерия (рис. 2). Внизу указаны веса для соответствующих критериев.

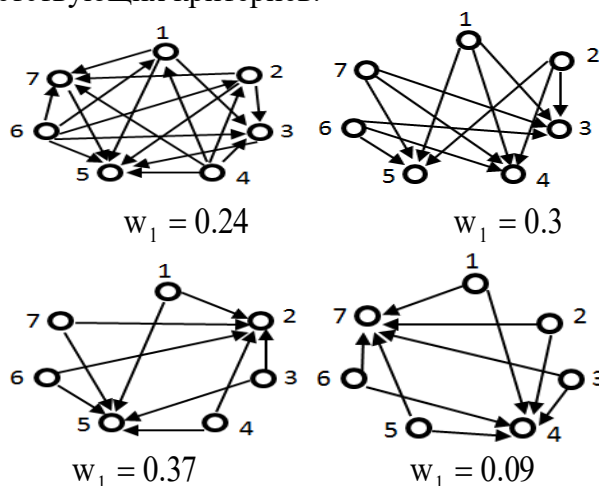


Рис. 2. Графы предпочтений по критериям
Fig. 2. Graphs of preferences by criteria

Далее по алгоритму метода ELECTRE I выполним попарное сравнение группы индексов критериев. Возьмем сначала пару (a_1, a_3) . Для нее первая альтернатива лучше второй по 1-му критерию и по 2-му, а по 3-му и 4-му равноценна. Таким образом, используя формулы 1-4, вычислим значения:

$$C(1, 3) = \{1, 2\}, D(1, 3) = \{0\}, E(1, 3) = \{3, 4\}$$

$$c_{1,3} = 0.24 + 0.3 = 0.54, d_{1,3} = 0, e_{1,3} = 0.37 + 0.09 = 0.46$$

Подставив в формулу (5), найдем индекс согласия, с учетом того, что $\sum w_j = 1$.

$$s_{1,3} = 0.54 + 0.5 \cdot 0.46 = 0.77$$

Аналогично вычислим остальные индексы. В результате получим матрицу индексов согласия S (рис. 3).

—	0,69	0,77	0,58	0,96	0,38	0,67
0,32	—	0,59	0,39	0,77	0,20	0,48
0,23	0,42	—	0,43	0,81	0,23	0,40
0,43	0,61	0,58	—	0,76	0,31	0,47
0,04	0,23	0,20	0,24	—	0,05	0,09
0,62	0,81	0,77	0,70	0,96	—	0,67
0,34	0,52	0,61	0,53	0,91	0,34	—

Рис. 3. Матрица индексов согласия
Fig. 3. Matrix of agreement indices

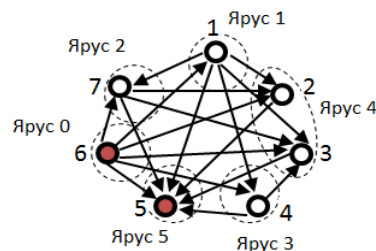
Теперь рассчитаем индексы несогласия. Для начала зададим значения константы, которые будут указывать на протест. Например, $h_1 = 0.2$, $h_2 = 0.25$, $h_3 = 0.25$, $h_4 = 0.15$. Это будет указывать на то, что при ситуации отдать предпочтение альтернативе, если она проигрывает по критерию «администрирование и поддержка пользователей» на 1-но деление шкалы, то вызывается протест 1-го критерия с интенсивностью 0.2.

Для примера рассмотрим расчет $r_{2,6}$. Для пары альтернатив (a_2, a_6) несогласных с преимуществом a_2 показывает $D(2, 6) = \{1, 3\}$. Различие по 1-му критерию Δ_{26}^1 составляет 1-ну ступень, по 3-му Δ_{26}^3 – также. Следовательно, индексы несогласия равны: $r_{26}^1 = 1 \cdot 0.2$, $r_{26}^3 = 1 \cdot 0.2$. Отсюда общий индекс: $r_{26} = \max(0.2, 0.2) = 0.2$. Аналогично находят остальные индексы. Итоговая матрица индексов несогласия R (рис. 4). Расчет по алгоритму метода ELECTRE I был реализован в Excel и в дальнейшем будет написана программа.

—	0,00	0,00	0,20	0,00	0,20	0,00
0,25	—	0,25	0,25	0,00	0,25	0,25
0,25	0,25	—	0,40	0,00	0,40	0,25
0,25	0,25	0,15	—	0,15	0,25	0,25
0,40	0,40	0,25	0,60	—	0,60	0,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,00
0,20	0,20	0,15	0,40	0,15	0,40	—

Рис. 4. Матрица индексов несогласия
Fig. 4. Matrix of disagreement indices

На 3-ем этапе строим граф относительного доминирования. Для этого возьмем значения порога по согласию $s^* = 0.5$ и по несогласию $r^* = 0.2$. Выполним перебор элементов в матрицах согласия и несогласия. Например, пара (a_1, a_2) войдет в отношение относительного доминирования, т. к. $s_{1,2} = 0.69 > 0.5$, $r_{1,2} = 0.0 \leq 0.2$; а пара (a_1, a_6) не войдет, т. к. $s_{1,6} = 0.38 < 0.5$, $r_{1,6} = 0.2 \leq 0.2$ и т. д. При данных значениях порогов несравнимости получим граф отношения (рис. 5).



при $s^* = 0.5$, $r^* = 0.2$

Рис. 5. Граф относительного доминирования при заданных порогах несравнимости
Fig. 5. Relative dominance graph for given incomparability thresholds

Построенное отношение обладает транзитивностью, т. е. участок a_1 предпочтительнее a_2 , a_2 будет предпочтительнее a_5 , и в графе имеется дуга (a_1, a_5) .

Согласно этапам алгоритма, выполним разбиение на ярусы, как показано на рис. 5. Ядро образует вершина 6 (ярус 0), которая выделена на рисунке заливкой. В результате количество несравнимых величин уменьшилось с 7-ми до ой-х, т. е. она доминирует все остальные вершины. Для уменьшения количества несравнимых вершин можно менять пороги несравнимости. Допустим, увеличивать порог по несогласию r^* , тогда появятся новые дуги в графе, а в ядро войдет меньше вершин. Добавить дуги можно и уменьшением порога по согласию s^* , но нужно быть осторожным в обоих случаях, так как могут возникнуть замкнутые контуры. В нашем примере этого делать нет необходимости, так как отсутствуют контуры. Поэтому к выбору порогов несравнимости следует подходить

ответственно, чтобы получить оптимальный вариант. Таким образом, для нашего примера вершины 5, а это ОС, один участок, на который следует, прежде всего, обратить внимание, т. к. именно он имеют наибольшую степень уязвимости.

Вывод. Облачные вычисления являются ключевой технологией в современных информационных системах, но они также могут стать объектом атак и уязвимостей. Метод ELECTRE I, который является одним из методов многокритериального анализа, был успешно применен в модели определения уязвимости участков облачных вычислений. Метод ELECTRE I позволил учитывать различные критерии при оценке и сравнении альтернатив.

На основе этого метода был предложен алгоритм для определения степени уязвимости участков облачных вычислений. Данная модель-алгоритм позволит определить участок или участки, которые наиболее подвержены опасности поломки или выхода из строя, и удалить доминируемые альтернативы, которые не представляют серьезной опасности. На основе выявленных предпочтений можно принять решение об устранении неполадок по выбранным участкам облачного сервиса.

Также в статье приводится пример использования предложенного алгоритма для определения степени уязвимости в работе участков 7 блоков облачных сервисов. Были выявлены 2 блока, на которые нужно обратить особое внимание, так как они имеют наибольшую степень уязвимости.

Библиографический список:

1. A cloud server energy consumption measurement system for heterogeneous cloud environments / W. Lin, H. Wang, Y. Zhang, D. Qi, J.Z. Wang, V. Chang // *Information Sciences*. – Vol. 468. – November 2018. – P. 47–62. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.08.032>.
2. Paul PK; Ghose MK (2012). Cloud Computing: possibilities, challenges and opportunities with special reference to its emerging need in the academic and working area of Information Science. *International conference on modelling optimization and computing*, 38, 2222-2227. DOI:10.1016/j.proeng.2012.06.267.
3. Reynolds, P; Yetton, P. (2015). Aligning business and IT strategies in multi-business organization. *Journal of information technology*, 30 (2), 101-118. <https://doi.org/10.1057/jit.2015.1>.
4. Lin W, Wang H., Zhang Y., Qi D., Wang J.Z., Chang V. A cloud server energy consumption measurement system for heterogeneous cloud environments. *Information Sciences*, 2018, vol. 468, pp. 47–62. DOI:10.1016/j.ins.2018.08.032.
5. Jones, S (2015). Cloud computing procurement and implementation: Lessons learnt from a United Kingdom case study. *International journal of information management*, 35 (6), 712-716. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2015.07.007>.
6. Amir Mohamed Elamir, Norleyza Jailani, Marini Abu Dakar. (2013). Framework and architecture for programming education environment as cloud computing service. *Procedia Technology*, 11, 1299-1308. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.328>.
7. Sultan, N. (2013). Knowledge management in the age of cloud computing and Web 2.0: Experiencing the power of disruptive innovations. *International journal of information management*, 33 (1), 160-165. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2012.08.006>.
8. Breedveld S., Craft D., van Haveren R., Heijmen B. (2019). Multi-criteria optimization and decision-making in radiotherapy // *European Journal of Operational Research*, 277(1), c. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.019>.
9. Singh, B.K., Roy, H., Mondal, B., Roy, S.S., Mandal, N. (2019). Measurement of chip morphology and multi criteria optimization of turning parameters for machining of AISI 4340 steel using Y-ZTA cutting insert // *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 142, c. 181-194. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.04.064>.
10. Wang J.-Q., Li S., Hedayati Dezfuli F., Alam M.S. (2019). Sensitivity analysis and multi-criteria optimization of SMA cable restrainers for longitudinal seismic protection of isolated simply supported highway bridges // *Engineering Structures*, 189, c. 509-522. DOI:10.1016/j.engstruct.2019.03.091.
11. Álvarez-Miranda E., Garcia-Gonzalo J., Pais C., Weintraub A. (2019). A multicriteria stochastic optimization framework for sustainable forest decision making under uncertainty // *Forest Policy and Economics*, 103, c. 112-122. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.03.006>.
12. Breedveld S., Craft D., van Haveren R., Heijmen B. (2019). Multi-criteria optimization and decision-making in radiotherapy // *European Journal of Operational Research*, 277(1), c. 1-19. DOI: 10.1016/j.ejor.2018.08.019.
13. Razumnikov S.V. (2022). Building an Aggregate Rating of Popular SaaS Services Based on Organization of Customer Support Channels // *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 857 LNEE, – p. 313-323. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94202-1_30.
14. Разумников С.В. Некомпенсаторное агрегирование и рейтингование провайдеров облачных услуг // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. 2018. Т. 21. № 4. С. 63-69. doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-4-63-69.

15. Разумников С.В. Планирование развития облачной стратегии на основе применения многокритериальной оптимизации и метода STEM//Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2020. Т. 23. № 1. С. 53-61. DOI: 10.21293/1818-0442-2020-23-1-53-61.
16. Разумников С.В. Модели, алгоритмы и программное обеспечение поддержки принятия стратегических решений к переходу на облачные технологии: монография / С.В. Разумников // Изд-во Томского политехнического университета. - 2020. - 176 с.
17. Разумников С.В. Разработка программного обеспечения для построения агрегированных рейтингов на основе метода порогового агрегирования // Вестник воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2021. № 2. с. 138-152. DOI: <https://doi.org/10.17308/sait.2021.2/3510>.
18. Micale R., La Fata C.M., La Scalia G. (2019). A combined interval-valued ELECTRE TRI and TOPSIS approach for solving the storage location assignment problem // *Computers and Industrial Engineering*, 135, с. 199-210. DOI:10.1016/j.cie.2019.06.011.
19. Zhou H., Wang J.-Q., Zhang H.-Y. (2019). Stochastic multicriteria decision-making approach based on SMAA-ELECTRE with extended gray numbers // *International Transactions in Operational Research*, 26(5), с. 2032-2052. DOI:10.1111/itor.12380.
20. Liao H., Jiang L., Lev B., Fujita H. (2019). Novel operations of PLTSs based on the disparity degrees of linguistic terms and their use in designing the probabilistic linguistic ELECTRE III method // *Applied Soft Computing Journal*, 80, с. 450-464. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.04.018>.
21. Costa A.S., Rui Figueira J., Vieira C.R., Vieira I.V. (2019). An application of the ELECTRE TRI-C method to characterize government performance in OECD countries // *International Transactions in Operational Research*, 26(5), с. 1935-1955. DOI:10.1111/itor.12394.
22. Akram M., Waseem N., Liu P. (2019). Novel Approach in Decision Making with m-Polar Fuzzy ELECTRE-I // *International Journal of Fuzzy Systems*, 21(4), с. 1117-1129. DOI:10.1007/s40815-019-00608-y.
23. Hamzeh Alabool, Ahmad Kamil, Noreen Arshad, Deemah Alarabiat, Cloud service evaluation method-based Multi-Criteria Decision-Making: A systematic literature review, *Journal of Systems and Software*, Volume 139, 2018, Pages 161-188. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.01.038>.
24. Khoruzhy, L.I., Petrovich Bulyga, R., Yuryevna Voronkova, O., Vasyutkina, L.V., Ryafikovna Saenko, N., Leonidovich Poltarykhin, A. and Aravindhnan, S. (2022), "A new trust management framework based on the experience of users in industrial cloud computing using multi-criteria decision making", *Kybernetes*, Vol. 51 No. 6, pp. 1949-1966. <https://doi.org/10.1108/K-05-2021-0378>.
25. Bhol, S.G., Mohanty, J.R., Pattnaik, P.K. (2020). Cyber Security Metrics Evaluation Using Multi-criteria Decision-Making Approach. In: Satapathy, S., Bhateja, V., Mohanty, J., Udgata, S. (eds) *Smart Intelligent Computing and Applications . Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 160. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9690-9_71.
26. Hosseinzadeh, M., Hama, H.K., Ghafour, M.Y. *et al.* Service Selection Using Multi-criteria Decision Making: A Comprehensive Overview. *J. Netw Syst Manage* 28, 1639–1693 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10922-020-09553-w>.
27. Md Whaiduzzaman, Abdullah Gani, Nor Badrul Anuar, Muhammad Shiraz, Mohammad Nazmul Haque, Israat Tanzeena Haque, "Cloud Service Selection Using Multicriteria Decision Analysis", *The Scientific World Journal*, vol. 2014, Article ID 459375, 10 pages, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/459375>.
28. van der Meer J. *et al.* Multi-criteria decision model inference and application in information security risk classification : дис. – Ph. D. dissertation, Master Thesis, Dept. Economics, Erasmus University Rotterdam, 2012.

References:

1. A cloud server energy consumption measurement system for heterogeneous cloud environments. W. Lin, H. Wang, Y. Zhang, D. Qi, J.Z. Wang, V. Chang *Information Sciences*. November 2018; 468:47–62. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.08.032>.
2. Paul PK; Ghose MK (2012). Cloud Computing: possibilities, challenges and opportunities with special reference to its emerging needs in the academic and working area of Information Science. *International conference on modeling optimization and computing*, 38, 2222-2227. DOI:10.1016/j.proeng.2012.06.267.
3. Reynolds, P; Yetton, P. Aligning business and IT strategies in multi-business organization. *Journal of information technology*, 2015;30(2), 101-118. <https://doi.org/10.1057/jit.2015.1>.
4. Lin W, Wang H., Zhang Y., Qi D., Wang J.Z., Chang V. A cloud server energy consumption measurement system for heterogeneous cloud environments. *Information Sciences*, 2018; 468:47–62. DOI:10.1016/j.ins.2018.08.032.
5. Jones, S. Cloud computing procurement and implementation: Lessons learned from a United Kingdom case study. *International journal of information management*. 2015;35 (6):712-716. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2015.07.007>.
6. Amir Mohamed Elamir, Norleyza Jailani, Marini Abu Bakar. Framework and architecture for programming education environment as cloud computing service. *Procedia Technology*. 2013;11:1299-1308. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.328>.
7. Sultan, N. Knowledge management in the age of cloud computing and Web 2.0: Experiencing the power of disruptive innovations. *International journal of information management*. 2013;33(1):160-165. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2012.08.006>.
8. Breedveld S., Craft D., van Haveren R., Heijmen B. Multi-criteria optimization and decision-making in radiotherapy. *European Journal of Operational Research*, 2019;277(1):1-19. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.019>.
9. Singh, B. K., Roy, H., Mondal, B., Roy, S. S., Mandal, N. Measurement of chip morphology and multi criteria optimization of turning parameters for machining of AISI 4340 steel using Y-ZTA cutting insert. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 2019;142:181-194. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.04.064>.

10. Wang J.-Q., Li S., Hedayati Dezfali F., Alam M.S. Sensitivity analysis and multi-criteria optimization of SMA cable restrainers for longitudinal seismic protection of simply isolated supported highway bridges. *Engineering Structures*, 2019;189: 509-522. DOI:10.1016/j.engstruct.2019.03.091.
11. Álvarez-Miranda E., García-Gonzalo J., Pais C., Weintraub A. A multicriteria stochastic optimization framework for sustainable forest decision making under uncertainty. *Forest Policy and Economics*, 2019;103:112-122. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.03.006>.
12. Breedveld S., Craft D., van Haveren R., Heijmen B. Multi-criteria optimization and decision-making in radiotherapy // *European Journal of Operational Research*, 2019;277(1):1-19. DOI: 10.1016/j.ejor.2018.08.019.
13. Razumnikov S.V. Building an Aggregate Rating of Popular SaaS Services Based on Organization of Customer Support Channels. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2022; 857 LNEE: 313-323. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94202-1_30.
14. Razumnikov S.V. Non-compensatory aggregation and rating of cloud service providers. *Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*. 2018; 21(4): 63-69. doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-4-63-69 .
15. Razumnikov S.V. Planning the development of a cloud strategy based on the use of multicriteria optimization and the STEM method. *Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*. 2020; 23(1):53-61. DOI: 10.21293/1818-0442-2020-23-1-53-61.
16. Razumnikov S.V. Models, algorithms and software for supporting strategic decision-making for the transition to cloud technologies: monograph / S.V. Razumnikov. *Publishing house of Tomsk Polytechnic University*. 2020; 176
17. Razumnikov S.V. Development of software for constructing aggregated ratings based on the threshold aggregation method. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technology*. 2021; 2: 138-152. DOI: <https://doi.org/10.17308/sait.2021.2/3510>.
18. Micale R., La Fata C.M., La Scalia G. A combined interval-valued ELECTRE TRI and TOPSIS approach for solving the storage location assignment problem. *Computers and Industrial Engineering*, 2019;135:199-210. DOI:10.1016/j.cie.2019.06.011.
19. Zhou H., Wang J.-Q., Zhang H.-Y. Stochastic multicriteria decision-making approach based on SMAA-ELECTRE with extended gray numbers. *International Transactions in Operational Research* 2019;26(5):2032-2052. DOI:10.1111/itor.12380.
20. Liao H., Jiang L., Lev B., Fujita H. Novel operations of PLTSs based on the disparity degrees of linguistic terms and their use in designing the probabilistic linguistic ELECTRE III method. *Applied Soft Computing Journal*, 2019;80: 450-464. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.04.018>.
21. Costa A.S., Rui Figueira J., Vieira C.R., Vieira I.V. An application of the ELECTRE TRI-C method to characterize government performance in OECD countries. *International Transactions in Operational Research*, 2019;26(5):1935-1955. DOI:10.1111/itor.12394.
22. Akram M., Waseem N., Liu P. Novel Approach in Decision Making with m-Polar Fuzzy ELECTRE-I. *International Journal of Fuzzy Systems*, 2019; 21(4): 1117-1129. DOI:10.1007/s40815-019-00608-y.
23. Hamzeh Alabool, Ahmad Kamil, Noreen Arshad, Deemah Alarabiat, Cloud service evaluation method-based Multi-Criteria Decision-Making: A systematic literature review, *Journal of Systems and Software*, Volume 139, 2018:161-188. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.01.038>.
24. Khoruzhy, L.I., Petrovich Bulyga, R., Yuryevna Voronkova, O., Vasyutkina, L.V., Ryafikovna Saenko, N., Leonidovich Poltarykhin, A. and Aravindhnan, S. (2022), "A new trust management framework based on the experience of users in industrial cloud computing using multi-criteria decision making", *Kybernetes*, 1966;51(6):1949-<https://doi.org/10.1108/K-05-2021-0378>.
25. Bhol, S.G., Mohanty, J.R., Pattnaik, P.K. Cyber Security Metrics Evaluation Using Multi-criteria Decision-Making Approach. In: Satapathy, S., Bhateja, V., Mohanty, J., Udgata, S. (eds) *Smart Intelligent Computing and Applications . Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2020;160. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9690-9_71.
26. Hosseinzadeh, M., Hama, H.K., Ghafour, M.Y. *et al.* Service Selection Using Multi-criteria Decision Making: A Comprehensive Overview. *J Netw Syst Manage* 28, 2020;1639–1693. <https://doi.org/10.1007/s10922-020-09553-w>.
27. Md Whaiduzzaman, Abdullah Gani, Nor Badrul Anuar, Muhammad Shiraz, Mohammad Nazmul Haque, Israat Tanzeena Haque, "Cloud Service Selection Using Multicriteria Decision Analysis", *The Scientific World Journal*, vol. 2014; Article ID 459375, 10 pages, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/459375>.
28. van der Meer J. *et al.* Multi-criteria decision model inference and application in information security risk classification : дис. – Ph. D. dissertation, Master Thesis, Dept. Economics, Erasmus University Rotterdam, 2012.

Сведения об авторе:

Разумников Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент, отделение цифровых технологий и безопасности; demolove7@inbox.ru; ORCID:0000-0002-1417-498X

Information about author:

Sergey V. Razumnikov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Digital Technologies and Security; demolove7@inbox.ru; ORCID:0000-0002-1417-498X

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 07.06.2024.

Одобрена после рецензирования / Revised 20.07.2024.

Принята в печать /Accepted for publication 30.10.2024.