

**МРНТИ: 27.25.19**

С.Н.Боранбаев<sup>1</sup>, А.С.Боранбаев<sup>2</sup>, Н.М.Сисенов<sup>3</sup>, Н.Горанин<sup>4</sup>, Е.Б.Тулбаев<sup>5</sup>

<sup>1,3</sup> *Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*

<sup>2</sup> *Назарбаев университет, Нур-Султан, Казахстан*

<sup>4</sup> *Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, Вильнюс, Литва*

<sup>5</sup> *Astana IT University, Нур-Султан, Казахстан*

(E-mail: <sup>1</sup> *sboranba@yandex.kz*, <sup>2</sup> *aboranbayev@nu.edu.kz*, <sup>3</sup> *nurbek9291@mail.ru*,

<sup>4</sup> *nikolaj.goranin@vgtu.lt*, <sup>5</sup> *erjay\_1501@mail.ru*)

**Метод и информационная технология для поддержки принятия решений по оценке надежности и отказоустойчивости информационных систем<sup>1</sup>**

**Аннотация:** Данная статья посвящена оценке надежности и отказоустойчивости информационных и автоматизированных систем. Предложен метод, который позволяет определить уровень отказоустойчивости компонентов информационных и автоматизированных систем, учитывать ряд критериев с различным направлением оптимизации, оценивать и ранжировать альтернативные решения.

На основе предложенного метода разработана соответствующая информационная технология, которая позволяет определить надежность работы информационных и автоматизированных систем.

Предложенный метод и подход были применены на практике для оценки надежности и отказоустойчивости компонентов информационных систем по различным критериям. Были выявлены уровни отказоустойчивости каждой из компонент информационной системы. Практическое применение метода показало, что его можно использовать для расчета уровня надежности и отказоустойчивости информационных и автоматизированных систем.

**Ключевые слова:** информационная система, автоматизированная система, отказоустойчивость, надежность, метод, критерий, экспертная оценка.

DOI: <https://doi.org/10.32523/bulmathenu.2021/3.3>

**2000 Mathematics Subject Classification: 68M15**

**1. Введение**

В настоящее время, в связи с бурным развитием цифровых технологий, большую актуальность и важность приобретают проблемы обеспечения надежности и отказоустойчивости информационных и автоматизированных систем. Отказы в работе информационных и автоматизированных систем могут привести к финансовым потерям, ухудшению имиджа и репутационным потерям для компании, причинить ущерб здоровью или угрозу для жизни человека, а также к другим потерям и угрозам. Особую опасность представляют собой риски информационных и автоматизированных систем, связанных с надежностью, отказоустойчивостью и безопасностью для критически важных информационно-коммуникационных инфраструктур.

Обеспечение надежности и отказоустойчивости информационных и автоматизированных систем является сложной задачей. Необходимо знать области, которые приводят к отказам информационных систем (ИС) и создают потенциально опасные ситуации. Задачу надо решать в комплексе, по многим критериям.

<sup>1</sup>Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09261118)

Много исследований посвящено определению рисков и обеспечению надежности и безопасности в различных областях деятельности. Так, многокритериальные методы позволяют решать задачи определения рисков в разных практических областях, в которых имеются различные интересы [1-13]. В работах [14, 15] были исследованы вопросы применения этих методов для обеспечения надежности и безопасности критических информационно-коммуникационных инфраструктур. В работах [16-21] были исследованы вопросы обеспечения надежности и безопасности, предложены методы выявления и нейтрализации рисков, обеспечения надежности на ранних стадиях разработки ИС, была разработана соответствующая программная система, основанная на предложенных методах. Было показано применение этих методов при разработке ИС в различных практических областях. Эти методы определяют отдельные компоненты ИС и делают количественную оценку их рисков. Для нейтрализации рисков предлагаются наиболее эффективные стратегии, хранящиеся в базе данных программной системы.

В данной статье предлагается новый подход для обеспечения отказоустойчивости и надежности информационных и автоматизированных систем. Предложенный подход лежит в основе разработанной информационной технологии и позволяет оценить отказоустойчивость ИС. Отказоустойчивость ИС оценивается по многим критериям с применением методологии Multiple-Criteria Decision-Making (MCDM) и позволяет достичь множество различных целей, связанных с обеспечением надежности ИС. Информационная технология позволяет выбрать альтернативы, ранжировать их, оценить их соответствие всем критериям. Предложенный многокритериальный подход, основанный на адаптации методов ARAS (Additive Ratio Assessment), SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) и разработанная на их основе технология, позволяют определить исследуемые компоненты ИС (альтернативы), критерии для сравнения альтернатив, значимость (веса) критериев. Альтернативы могут описываться как количественными, так и качественными критериями. Критерии оценки могут иметь разные единицы измерения, поэтому для получения сопоставимых масштабов значений критериев делается их нормализация. Многокритериальный подход, предложенный в данной статье, и разработанную на его основе информационную технологию можно применять для анализа рисков информационных и автоматизированных систем.

## 2. Определение уровня надежности и отказоустойчивости информационных систем

Определение уровня надежности и отказоустойчивости компонентов ИС состоит из следующих этапов:

- Постановка задачи – уровень отказоустойчивости какого продукта (информационная система, автоматизированная система, отдельная компонента системы, информационная коммуникационная инфраструктура и др.) надо определить;
- Назначение экспертов – с квалификацией, образованием, опытом работы в данной области;
- Описание альтернатив поставленной задачи;
- Описание критериев, которые оказывают влияние на отказоустойчивость альтернатив;
- Описание оптимизации критерия;
- Вычисление значений критериев для альтернатив;
- Вычисление веса (влияния) критериев на отказоустойчивость альтернативы;
- Вычисление уровня отказоустойчивости альтернатив адаптированным методом ARAS (Additive ratio assessment);
- Вычисление уровня отказоустойчивости альтернатив адаптированным методом SWARA;
- Анализ результатов – делается экспертами. Если результаты удовлетворительные, то задача решена. В противном случае решение задачи делается повторно.

**2.1. Адаптация метода ARAS для определение уровня надежности и отказоустойчивости информационных систем.**

Метод ARAS был адаптирован для определения уровня надежности и отказоустойчивости информационных систем. Вначале формируются матрицы принятия решений (DMM - decision-making matrix). Задача представлена следующим DMM:

$$X = \begin{matrix} & x_{0,1} & \cdots & x_{0,j} & \cdots & x_{0,b} \\ & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i,1} & \cdots & x_{i,j} & \cdots & x_{i,b} & \\ & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{a,1} & \cdots & x_{a,j} & \cdots & x_{a,b} & \end{matrix} \quad (1)$$

где  $a$  – количество альтернатив,  $b$  – количество критериев, описывающих каждую альтернативу,  $x_{ij}$  – значение, представляющее значение производительности альтернативы  $i$  в терминах критерия  $j$ ,  $x_{0j}$  – оптимальное значение критерия  $j$  [9].

Если оптимальное значение критерия  $j$  неизвестно, то

$$x_{0j} = \begin{cases} x_{0j} = \max_i x_{ij}, & \text{если } \max_i x_{ij} \text{ является предпочтительным;} \\ x_{0j} = \min_i x_{ij}^*, & \text{если } \min_i x_{ij}^* \text{ является предпочтительным.} \end{cases} \quad (2)$$

Система критериев, значения и начальные веса критериев, определяются экспертами [9]. Обычно критерии бывают разными. Поэтому необходимо получить безразмерные взвешенные значения критериев. Для этого используется отношение критерия к оптимальному значению. Существуют различные методы, описывающие отношение критерия к оптимальному значению. Обычно значения отображаются на интервале  $[0; 1]$  или интервале  $[0; \infty]$ . На следующем этапе нормализуются начальные значения всех критериев - определяются значения  $x_{ij}$  нормализованной матрицы принятия решений  $X$ .

$$X = \begin{matrix} \bar{x}_{01} & \cdots & \bar{x}_{0j} & \cdots & \bar{x}_{0b} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{i1} & \cdots & \bar{x}_{ij} & \cdots & \bar{x}_{ib} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{a1} & \cdots & \bar{x}_{aj} & \cdots & \bar{x}_{ab} \end{matrix} \quad (3)$$

Если значения критериев должны максимизироваться, то их нормировка делается так:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^a x_{ij}} \quad (4)$$

Критерии, предпочтительными значениями которых являются минимумы, нормализуются путем применения двухэтапной процедуры:

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*}; \quad \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^a x_{ij}}. \quad (5)$$

Все критерии, изначально имеющие разные измерения, приводятся к безразмерным значениям и могут сравниваться.

На следующем этапе определяется нормализованная взвешенная матрица  $X$ . Критерии оцениваются весами  $w_j$ ,  $0 < w_j < 1$ . Значения весов  $w_j$  определяются с помощью экспертной оценки. Для весов  $w_j$  должно выполняться условие:

$$\sum_{j=1}^b w_j = 1. \quad (6)$$

$$\widehat{X} = \begin{matrix} \widehat{x}_{01} & \cdots & \widehat{x}_{0j} & \cdots & \widehat{x}_{0b} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \widehat{x}_{i1} & \cdots & \widehat{x}_{ij} & \cdots & \widehat{x}_{ib} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \widehat{x}_{a1} & \cdots & \widehat{x}_{aj} & \cdots & \widehat{x}_{ab} \end{matrix} \quad (7)$$

Вычисляются нормализованные взвешенные значения критериев:

$$\widehat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j; i = \overline{0, a}, \quad (8)$$

где  $w_j$  – вес (важность) критерия  $j$ ,

$$S_j = \sum_{j=1}^b \widehat{x}_{ij}; i = \overline{0, a}, \quad (9)$$

где  $S_i$  – значение функции оптимальности альтернативы. Чем больше значение  $S_i$ , тем эффективнее альтернатива. Приоритеты альтернатив можно определить в соответствии со значением  $S_i$ . Таким образом, с помощью этого метода можно оценивать и ранжировать альтернативы.

Степени полезности  $K_i$  альтернативы  $i$  вычисляется следующим образом:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = \overline{0, a}, \quad (10)$$

Значения  $K_i$  находятся в интервале  $[0, 1]$ , их можно упорядочить по возрастанию, и таким образом установить приоритеты.

## 2.2. Адаптация метода SWARA для определения уровня надежности и отказоустойчивости информационных систем.

Для определения уровня надежности и отказоустойчивости информационных систем был адаптирован метод SWARA. При использовании и адаптированного метода SWARA следует выбрать критерии. Например, в качестве критериев можно выбрать: «Тип программы», «Восстановление данных», «Тип ошибки», «Тип доступа».

Далее следует выбрать подкритерии.

Подкритериями могут являться:

1. Тип программы: сайт, настольные программы, мобильные приложения, приборы.
2. Восстановление данных: предусмотрено, не предусмотрено.
3. Тип ошибки: уведомление, самоисправление, служба поддержки.
4. Тип доступа: через ЭЦП, логин и пароль, двухэтапная аутентификация.

Далее следует выбрать экспертов. Имена экспертов записаны как: id1, id2, id3, ...

Исследуемая информационная система оценивается экспертами по критериям, и их оценки хранятся в базе данных.

Затем пользователь выбирает нужные ему варианты критериев. Вычисляются веса критериев, при этом из базы данных берутся оценки соответствующих экспертов.

Процесс определения относительных весов критериев с использованием метода SWARA состоит из следующих этапов:

Этап 1. Критерии сортируются в порядке убывания их ожидаемой значимости.

Этап 2. Начиная со второго критерия, эксперт выражает относительную важность критерия  $j$  по отношению к предыдущему ( $j - 1$ ) критерию для каждого конкретного критерия. Это соотношение называется сравнительной важностью среднего значения  $s_j$ .

Этап 3. Определение коэффициента  $k_j$  следующим образом:

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (11)$$

Этап 4. Определить вес  $q_j$  следующим образом:

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{k_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (12)$$

Этап 5. Относительные веса критериев оценки определяются следующим образом:

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (13)$$

где  $w_j$  означает относительный вес критерия  $j$ .

Вес критериев определяется оценочным показателем эксперта. И веса подкритериев определяются для каждого критерия.

На рисунке 1 в качестве примера показано заключение эксперта. Информация в столбцах, отмеченных красным, была получена путем умножения веса критерия и подкритерия. Столбец  $S$  равен сумме каждой строки столбцов, отмеченных красным.

Этап 6. Определение значимости потенциально приемлемых вариантов. Определить значимость каждого варианта можно следующим образом.

$$S_i^k = \sum_j^n w_j w_{lj} \quad (14)$$

где  $S_i^k$  обозначает общую значимость варианта  $i$  на основе ответов, полученных от респондента  $k$  (каждый  $K$  респондент имеет общую значимость варианта  $i$  на основе ответов),  $w_j$  обозначает относительный вес критерия  $j$ ,  $w_{lj}$  обозначает относительный вес варианта  $l$  (подкритерий) из области критерия  $j$ .

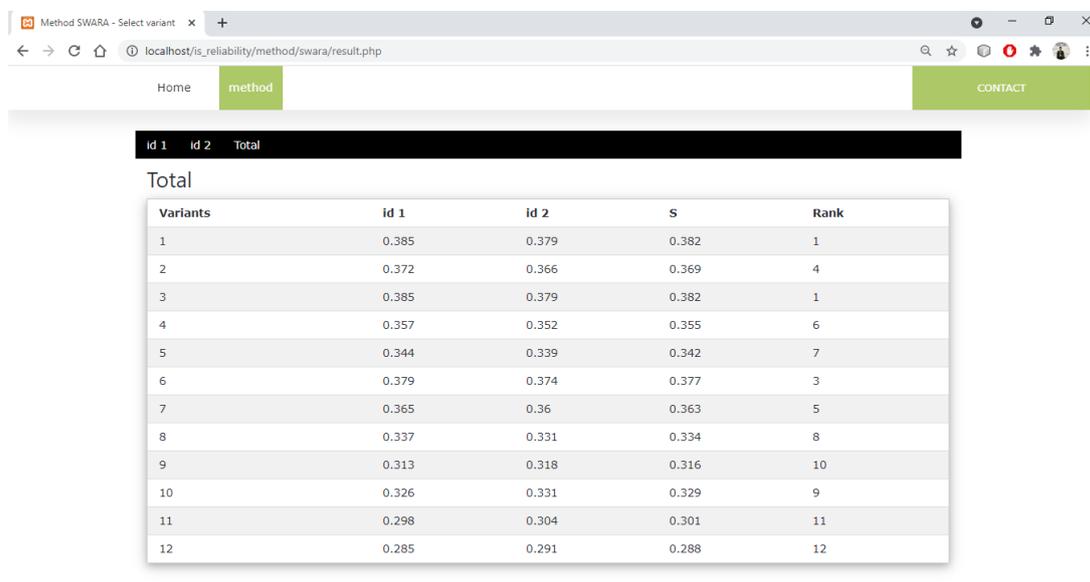
Criteria	0.395	0.263	0.22	0.122											
Variants	Tp	Vd	To	Td	Tp	Vd	To	Td	Tp	Vd	To	Td	S	Rank	
1	Sa	p+	Uv	Ecp	0.288	0.545	0.375	0.368	0.114	0.144	0.082	0.045	0.385	1	
2	Sa	p+	Uv	Da	0.288	0.545	0.375	0.263	0.114	0.144	0.082	0.032	0.372	4	
3	Sa	p+	Si	Lp	0.288	0.545	0.375	0.368	0.114	0.144	0.082	0.045	0.385	1	
4	Sa	p+	Sp	Ecp	0.288	0.545	0.25	0.368	0.114	0.144	0.055	0.045	0.357	6	
5	Sa	p+	Sp	Da	0.288	0.545	0.25	0.263	0.114	0.144	0.055	0.032	0.344	7	
6	Np	p+	Si	Lp	0.274	0.545	0.375	0.368	0.108	0.144	0.082	0.045	0.379	3	
7	Mp	p+	Si	Ecp	0.239	0.545	0.375	0.368	0.094	0.144	0.082	0.045	0.365	5	
8	Pr	p+	Si	Da	0.199	0.545	0.375	0.263	0.079	0.144	0.082	0.032	0.337	8	
9	Pr	p-	Uv	Da	0.199	0.455	0.375	0.263	0.079	0.12	0.082	0.032	0.313	10	
10	Pr	p-	Si	Lp	0.199	0.455	0.375	0.368	0.079	0.12	0.082	0.045	0.326	9	
11	Pr	p-	Sp	Ecp	0.199	0.455	0.25	0.368	0.079	0.12	0.055	0.045	0.298	11	
12	Pr	p-	Sp	Da	0.199	0.455	0.25	0.263	0.079	0.12	0.055	0.032	0.285	12	

Рисунок 1 – Заключение эксперта

Этап 7. Определение общей значимости каждого варианта на основе группового подхода. Для группы, состоящей из  $K$  лиц, принимающих решения, общая значимость каждого варианта  $S_i$  может быть рассчитана с использованием среднего геометрического следующим образом:

$$S_i = \left( \prod_{m=1}^K S_i^m \right)^{\frac{1}{K}} \quad (15)$$

Расчитываются оценки каждого эксперта, а затем рассчитывается среднее значение оценок экспертов (Рисунок 2).



id 1	id 2	Total		
Total				
Variants	id 1	id 2	S	Rank
1	0.385	0.379	0.382	1
2	0.372	0.366	0.369	4
3	0.385	0.379	0.382	1
4	0.357	0.352	0.355	6
5	0.344	0.339	0.342	7
6	0.379	0.374	0.377	3
7	0.365	0.36	0.363	5
8	0.337	0.331	0.334	8
9	0.313	0.318	0.316	10
10	0.326	0.331	0.329	9
11	0.298	0.304	0.301	11
12	0.285	0.291	0.288	12

Рисунок 2 – Оценки экспертов

Надежность информационных систем определяется по их рангам. В нашем случае варианты №1 и №3 имеют самый высокий ранг равный 1. Вариант №1 - (Тип программы: сайт; Восстановление данных: предусмотрено; Тип ошибки: уведомление; Тип доступа: через ЭЦП). Вариант №3 - (Тип программы: сайт; Восстановление данных: предусмотрено; Тип ошибки: уведомление; Тип доступа: двухэтапная аутентификация).

### 3. Практическая реализация методов

Предложенные методы были использованы для определения уровня отказоустойчивости ИС «Студенческий портал» университета. Данная ИС состоит из различных интерактивных сервисов и информационной части. Информационная часть предназначена для хранения контента и состоит из многоуровневого набора веб-страниц. Интерактивные сервисы предназначены для реализации различной функциональности и представляют собой базы данных и набор модулей.

Информационная система разработана на платформе IBM WebSphere Portal. Интерактивные сервисы разработаны на языке программирования Java. Система построена с использованием стека технологий Java, EJB3.0, JPA, Javascript, HTML, базы данных Oracle 11g. Операционная система «Red Hat Enterprise Linux Server версии 6.5 (Сантьяго)».

Веб-сервер - используется балансировщик нагрузки. Нагрузка распределена по трем серверам веб-приложений (узлам). Используется сервис Dynamic cache service для кеширования данных, полученных из базы данных и LDAP. Для база данных используется Oracle Database 11g. Для разработки приложения используются: библиотеки – JQuery, ExtJS 4; платформа – EJB 3.0; спецификация API Java EE – JPA; хранение и управление данными – Oracle 11g. Веб-сервер обрабатывает запросы, распределяет нагрузки между узлами. Используются три сервера – Oracle, DB2 и LDAP. На этих трех серверах содержатся базы данных: установленных приложений; данные, отвечающие за работоспособность портала; данные о пользователях университета.

ИС обеспечивает связь со следующими подсистемами:

1. Подсистема авторизации и получения личной информации студента.
2. Биллинговая подсистема.
3. Подсистема офис регистратора.
4. Подсистема бухгалтерских услуг.
5. Подсистема управления общежитием.

ИС «Студенческий портал» интегрирован с 4 другими системами университета: выставление счетов; отслеживание предоставляемых услуг; регистрация; управление идентификационными данными. Обмен информацией между ИС «Студенческим порталом» и другими системами осуществляется по принципу запрос-ответ.

Были выделены 4 компонента ИС, которые были использованы в качестве альтернатив в многокритериальном методе.

В качестве критериев были использованы характеристики, которые влияют на уровень отказоустойчивости компонентов ИС: Доля восстанавливаемости / ремонтпригодности; Наличие отказов; Доля влияния отказов на работоспособность ИС; Наличие резервирования обрабатываемых данных; Наличие соответствия требованиям законодательства.

К оценке критериев были привлечены эксперты, имеющие соответствующее высшее образование и опыт работы в сфере ИТ. Критерии были сравнены друг с другом с использованием метода АНР (метод анализа иерархий Саати), и таким образом были рассчитаны значимости влияния каждого критерия на отказоустойчивость ИС. В таблице 1 приведены результаты сравнения весов критериев.

Таблица 1 – Сравнения весов критериев

	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$w$	Нормализованный вес
$X_1$	0,15	0,25	0,17	0,15	0,20	0,18	0,653
$X_2$	0,14	0,13	0,17	0,17	0,20	0,16	0,574
$X_3$	0,16	0,14	0,17	0,23	0,15	0,17	0,607
$X_4$	0,16	0,19	0,23	0,20	0,26	0,21	0,737
$X_5$	0,40	0,29	0,26	0,26	0,20	0,28	1
Итого						1,00	3,57

Для каждого отказа указываются такие атрибуты как:

- Серьезность (Severity) отказа;
- Приоритет (Priority) отказа.

Severity указывает на то, насколько серьезен отказ и как он может повлиять на работоспособность информационной системы. Выбраны 5 видов серьезности отказов (Таблица 2).

Таблица 2 – Серьезность отказов.

Название	Ранг серьезности отказа	Доля восстанавливаемости / ремонтпригодности	Описание
Блокирующая (Blocker)	5	0% - 40%	Самая серьезная ошибка, при которой работа с ИС невозможна. Такого рода ошибки нужно исправлять непременно. ИС сложно восстанавливается по причине серьезности ошибки.

Критическая (Critical)	4	41% - 70%	Критическая ошибка, при которой определенная часть ИС не работает. Данную проблему нужно решать для того, чтобы продолжать работать с основными функциями системы. Восстанавливаемость ИС ниже средней.
Значительная (Major)	3	71% - 80%	Такой вид ошибки, при котором что-то работает неправильно, однако не особо опасно, так как существует возможность продолжения работы с использованием других входных точек. Восстанавливаемость ИС средняя.
Незначительная (Minor)	2	81% - 90%	Обычно, незначительные ошибки не нарушают работу ИС, проблема может возникать в интерфейсе пользователя. Восстанавливаемость ИС выше средней.
Тривиальная (Trivial)	1	91% - 100%	Ошибка, не представляющая угрозы для ИС, обычно это проблемы сторонней библиотеки или сервиса. Уровень восстанавливаемости ИС высокий.

Priority указывает очередность устранения отказа для каждой задачи. Выбраны 3 вида приоритета отказов (Таблица 3).

Таблица 3 – Приоритеты отказов

Описание	Доля влияния отказов на работоспособность ИС (приоритетность)	Определение
Чрезвычайно опасный	100%	Отказ может привести к смерти человека или поломке инфраструктуры.
Очень опасный	90%	Отказ может привести к серьезным травмам или серьезным нарушениям инфраструктуры из-за перебоев в обслуживании.
	80%	
Опасный	70%	Отказ может привести к травмам легкой или средней тяжести с высокой степенью личной неудовлетворенности или значительным проблемам инфраструктуры, требующим ремонта.
	60%	

Средняя опасность	50%	Отказ может привести к незначительным травмам с недовольством некоторых людей или значительным проблемам инфраструктуры.
Опасность от низкой до умеренной	40%	Отказ может привести к очень незначительным травмам или не приводит к травмам, но это раздражает клиентов или приводит к незначительным инфраструктурным проблемам, которые можно преодолеть с помощью незначительных изменений инфраструктуры или бизнеса.
	30%	
Небольшая опасность	20%	Отказ не может привести к травме, и клиент не знает о проблеме; Тем не менее, существует вероятность получения незначительных травм.
Опасность отсутствует	10%	Отказ не причиняет вреда и не влияет на инфраструктуру.

На основании таблиц 2 и 3 были сформированы таблицы 4 и 5. Необходимо отметить, что в качестве минимального значения в строке «0 – оптимальное значение» используется «1», так как деление на «0» является невозможным. При расчете приоритетности отказа и серьезность отказа были использованы усредненные значения результатов опроса экспертов.

Таблица 4 – Результаты измерений в ИС (матрица X принятия первоначального решения)

Компоненты ИС	Критерии				
	Доля восстанавливаемости / ремонт пригодности	Наличие отказов	Доля влияния отказов на работоспособность ИС	Наличие резервирования обработки данных	Наличие соответствия требованиям законодательства
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
Единицы измерения	%	Шт.	%	Шт.	Да/нет (1/0)
Направление оптимизации	Макс.	Мин.	Мин.	Макс.	Мин.
Вес критерия	0,18	0,28	0,17	0,21	0,16
0 – оптимальное значение	100	1	1	3	1
1	81	14	20	1	1
2	91	1	20	1	1
3	81	6	10	1	1
4	91	5	10	1	1

Взвешенные нормализованные значения измерений в ИС (взвешенная нормализованная матрица принятия решений), рассчитанные по формулам (9)-(10), приведены в таблице 6 и рисунке 6.

Порядок приоритетов исследуемых компонентов:  $p_2 > p_4 > p_3 > p_1$ . Более отказоустойчивым компонентом ИС является компонент №2, а наименее отказоустойчивый

Таблица 5 – Нормированные значения измерений в ИС (нормализованная матрица принятия решений  $X$ )

Компоненты ИС	Критерии				
	Доля восстанавливаемости / ремонт пригодности	Наличие отказов	Доля влияния отказов на работоспособность ИС	Наличие резервирования обработки данных	Наличие соответствия требованиям законодательства
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
Вес критерия	0,18	0,28	0,17	0,21	0,16
0 – оптимальное значение	0,225	0,410	0,769	0,43	0,20
1	0,182	0,029	0,038	0,14	0,20
2	0,205	0,410	0,038	0,14	0,20
3	0,182	0,068	0,077	0,14	0,20
4	0,205	0,082	0,077	0,14	0,20

Таблица 6 – Взвешенные нормализованные значения измерений в ИС (взвешенная нормализованная матрица принятия решений) и результаты решения

Компоненты ИС	Восстанавливаемость / ремонт пригодности	Наличие отказов	Доля влияния отказов на работоспособность ИС	Наличие резервирования обработки данных	Наличие соответствия требованиям законодательства	S	K	Ранг компонента ИС
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$			
0 – оптимальное значение	0,041	0,115	0,131	0,088	0,032	0,407	1	
1	0,033	0,008	0,007	0,029	0,032	0,110	0,269	4
2	0,037	0,115	0,007	0,029	0,032	0,221	0,541	1
3	0,033	0,019	0,013	0,029	0,032	0,127	0,312	3
4	0,037	0,023	0,013	0,029	0,032	0,135	0,332	2

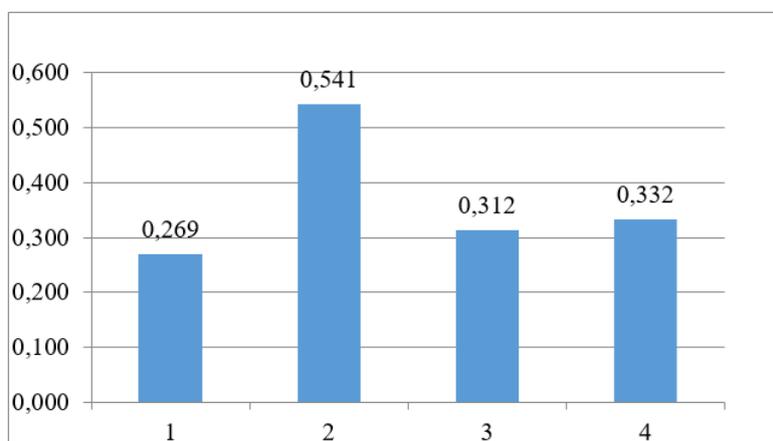


Рисунок 3 – Уровень отказоустойчивости компонентов ИС.

– компонент №1. У компонента №2 отказоустойчивость составляет 54 процентов от оптимально отказоустойчивого компонента ИС, а у компонент №1 – всего 27 процентов.

#### 4. Выводы

Отказы в информационной системе могут привести к нарушению в ее работе или полному прекращению ее функционирования. Это может иметь серьезные последствия. Поэтому необходимы эффективные методы оценки таких рисков.

Предложенный метод и подход позволяют определить уровень отказоустойчивости компонентов ИС, учитывать ряд критериев с различным направлением оптимизации, оценивать и ранжировать альтернативные решения. Уровень альтернативы определяется сравнением анализируемого варианта с идеально лучшим (0 – оптимальное значение).

Предложенный метод и подход были применены на практике для оценки надежности и отказоустойчивости компонентов ИС по пяти критериям. В результате проведенных работ были выявлены уровни отказоустойчивости каждой из компонент ИС. Таким образом, практическое применение метода показало, что его можно использовать для расчета уровня отказоустойчивости информационных и автоматизированных систем.

#### Список литературы

- 1 Turskis, Z.; Zavadskas, E. K.; Peldschus, F. Multi-criteria optimization system for decision making in construction design and management // *Inzinerine Ekonomika – Engineering Economics*. -2009. №1. -P. 7–17.
- 2 Zavadskas E.K. & Turskis Z. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making // *Technological and Economic Development of Economy*. -2010, -Vol. 16. №2, -P.159-172.
- 3 Erdogan M.; Kaya I. Prioritizing failures by using hybrid multi criteria decision making methodology with a real case application // *Sustainable cities and society*. -2019. №45. -P.117-130. DOI: 10.1016/j.scs.2018.10.027
- 4 Lo H.-W.; Liou J.J.H. A novel multiple-criteria decision-making-based FMEA model for risk assessment // *Applied soft computing*. -2018. №73, -P.684-696. DOI: 10.1016/j.asoc.2018.09.020
- 5 Han, Y.; Deng, Y. A hybrid intelligent model for assessment of critical success factors in high-risk emergency system // *Journal of ambient intelligence and humanized computing*. -2018. -Vol.9. №6. -P.1933-1953. DOI: 10.1007/s12652-018-0882-4.
- 6 Li, M; Wang, J.L.; Li, Y.; Xu, Y.C. Evaluation of Sustainability Information Disclosure Based on Entropy // *Entropy*. -2018. -Vol.20. №9. DOI: 10.3390/e20090689
- 7 Pamucar, D.; Stevic, Z.; Sremac, S. A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: full consistency method (FUCOM) // *Symmetry-Basel*. -2018. -Vol.10. №9. DOI: 10.3390/sym10090393
- 8 Mardani, A.; Nilashi, M.; Zakuan, N.; Loganathan, N.; Soheilrad, S.; Saman, M.Z.M.; Ibrahim, O. A systematic review and meta-Analysis of SWARA and WASPAS methods: Theory and applications with recent fuzzy developments // *Applied soft computing*. -2017. №57. -P.265-292. DOI: 10.1016/j.asoc.2017.03.045
- 9 Celik, E.; Gul, M.; Aydin, N.; Gumus, A.T.; Guneri, A.F. A comprehensive review of multi criteria decision making approaches based on interval type-2 fuzzy sets // *Knowledge-based systems*. -2015. №85. -P.329-341. DOI: 10.1016/j.knosys.2015.06.004
- 10 Radovic, D; Stevic, Z.; Pamucar, D.; Zavadskas, E.K.; Badi, I.; Antucheviciene, J.; Turskis, Z. Measuring Performance in Transportation Companies in Developing Countries: A Novel Rough ARAS Model // *Symmetry-Basel*. -2018. -Vol.10. №10. DOI: 10.3390/sym10100434.
- 11 Ecer, F. An integrated Fuzzy AHP and ARAS model to evaluate mobile banking services // *Technological and economic development of economy*. -2018. -Vol.24. №2. -P.670-695. DOI: 10.3846/20294913.2016.1255275.
- 12 Stanujkic, D.; Zavadskas, E.K.; Karabasevic, D.; Turskis, Z.; Kersulienė, V. New group decision-making ARCAS approach based on the integration of the SWARA and the ARAS methods adapted for negotiations // *Journal of business economics and management*. -2017. -Vol.18. №4. -P.599-618. DOI: 10.3846/16111699.2017.1327455.
- 13 Turskis Z., Kersulienė, V.; Vinogradova, I. A new fuzzy hybrid multi-criteria decision-making approach to solve personnel assessment problems. Case study: Directo selection for estates and economy office // *Economic computation and economic cybernetics studies and research*. -2017. -Vol.51. №3. -P.211-229.
- 14 Turskis, Z., Goranin, N., Nurusheva, A., Boranbayev, S. A fuzzy WASPAS-based approach to determine critical information infrastructures of EU sustainable development // *Sustainability (Switzerland)*. -2019. -Vol.11. №2. -P.424.
- 15 Turskis, Z., Goranin, N., Nurusheva, A., Boranbayev, S. Information security risk assessment in critical infrastructure: A hybrid MCDM approach // *Informatica (Netherlands)*. -2019. -Vol.30. №1. -P.187-211.
- 16 Boranbayev, A., Boranbayev, S., Nurusheva, A., Yersakhanov, K. Development of a software system to ensure the reliability and fault tolerance in information systems // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. -2018. -Vol.13. №23. -P.10080-10085.

- 17 Boranbayev, S., Goranin, N., Nurusheva, A. The methods and technologies of reliability and security of information systems and information and communication infrastructures // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. -2018. -Vol.96. №18. -P.6172-6188.
- 18 Boranbayev, A., Boranbayev, S., Nurusheva, A. Development of a software system to ensure the reliability and fault tolerance in information systems based on expert estimates // Advances in Intelligent Systems and Computing. -2018. -Vol.869. -P.924-935.
- 19 Boranbayev, A. S., Boranbayev, S. N., Nurusheva, A. M., Yersakhanov, K. B., Seitkulov, Y. N. Development of web application for detection and mitigation of risks of information and automated systems // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. -2019, -Vol.7. №1. -P.4-22.
- 20 Seitkulov, Y.N., Boranbayev, S.N., Ulyukova, G.B., Yergaliyeva, B.B., Satybaldina, D. Methods for secure cloud processing of big data // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. -2021, -Vol.22. №3. -P.1650–1658.
- 21 Boranbayev A.S. Defining methodologies for developing J2EE web-based information systems // Journal Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications. -2009, -Vol.71. №12. -P.1633-1637.

С.Н.Боранбаев<sup>1</sup>, А.С.Боранбаев<sup>2</sup>, Н.М.Сисенов<sup>3</sup>, Н.Горанин<sup>4</sup>, Е.Б.Тулбаев<sup>5</sup>

<sup>1,3</sup> Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup> Назарбаев университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>4</sup> Гедиминас атындағы Вильнюс техникалық университеті, Вильнюс, Литва

<sup>5</sup> Astana IT University, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

**Ақпараттық жүйелердің сенімділігі мен ақаулыққа төзімділігін бағалау бойынша шешімдер қабылдауды қолдануға арналған әдіс және ақпараттық технология**

**Аннотация:** Бұл мақала ақпараттық және автоматтандырылған жүйелердің сенімділігі мен ақауларға төзімділігін бағалауға арналған. Ақпараттық және автоматтандырылған жүйелер компоненттерінің ақаулыққа төзімділік деңгейін анықтауға, оңтайландырудың әртүрлі бағыттары бар бірқатар өлшемдерді ескеруге, балама шешімдерді бағалауға және дәрежелуге мүмкіндік беретін әдіс ұсынылған.

Ұсынылған әдіс негізінде ақпараттық және автоматтандырылған жүйелердің сенімділігін анықтауға мүмкіндік беретін тиісті ақпараттық технология жасалды.

Ақпараттық жүйе компоненттерінің сенімділігі мен ақауларға төзімділігін әр түрлі критерийлер бойынша бағалау үшін ұсынылған әдіс пен тәсіл тәжірибеде қолданылды. Ақпараттық жүйенің әр компонентінің ақауларға төзімділік деңгейлері анықталды. Әдістің практикалық қолданылуы оны ақпараттық және автоматтандырылған жүйелердің сенімділігі мен ақауларға төзімділік деңгейін есептеу үшін қолдануға болатынын көрсетті.

**Түйін сөздер:** Ақпараттық жүйе, автоматтандырылған жүйе, ақауларға төзімділік, сенімділік, әдіс, критерий, сараптамалық бағалау.

S. Boranbayev<sup>1</sup>, A. Boranbayev<sup>2</sup>, N. Sissenov<sup>3</sup>, N. Goranin<sup>4</sup>, Y. Tulebaev<sup>5</sup>

<sup>1,3</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup> Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>4</sup> Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania

<sup>5</sup> Astana IT University, Nur-Sultan, Kazakhstan

**Method and Information Technology to Support Decision-Making on Assessment of Reliability and Fault Tolerance for Information Systems**

**Abstract:** This article is devoted to assessing the reliability and fault tolerance of information and automated systems. A method is proposed that allows one to determine the level of fault tolerance of components of information and automated systems, to take into account several criteria with different directions of optimization, to evaluate and rank alternative solutions.

Based on the proposed method, corresponding information technology has been developed, which makes it possible to determine the reliability of the operation of information and automated systems.

The proposed method and approach were applied in practice to assess the reliability and fault tolerance of information system components according to various criteria. The levels of fault tolerance of each of the components of the information system were identified. Practical application of the method has shown that it can be used to calculate the level of reliability and fault tolerance of information and automated systems.

**Keywords:** Information system, automated system, fault tolerance, reliability, method, criterion, expert assessment.

## References

- 1 Turskis, Z.; Zavadskas, E. K.; Peldschus, F. Multi-criteria optimization system for decision making in construction design and management, Inzinerine Ekonomika – Engineering Economics, №1, 7–17(2009).
- 2 Zavadskas E.K. & Turskis Z. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making, Technological and Economic Development of Economy, 16(2), 159-172(2010).
- 3 Erdogan M.; Kaya I. Prioritizing failures by using hybrid multi criteria decision making methodology with a real case application, Sustainable cities and society, №45, 117-130(2019). DOI: 10.1016/j.scs.2018.10.027

- 4 Lo H.-W.; Liou J.J.H. A novel multiple-criteria decision-making-based FMEA model for risk assessment, Applied soft computing, №73, 684-696(2018). DOI: 10.1016/j.asoc.2018.09.020
- 5 Han, Y.; Deng, Y. A hybrid intelligent model for assessment of critical success factors in high-risk emergency system, Journal of ambient intelligence and humanized computing, 9(6), 1933-1953(2018). DOI: 10.1007/s12652-018-0882-4.
- 6 Li, M.; Wang, J.L.; Li, Y.; Xu, Y.C. Evaluation of Sustainability Information Disclosure Based on Entropy, Entropy, 20(9), 2018. DOI: 10.3390/e20090689
- 7 Pamucar, D.; Stevic, Z.; Sremac, S. A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: full consistency method (FUCOM), Symmetry-Basel. 10(9), 2018. DOI: 10.3390/sym10090393
- 8 Mardani, A.; Nilashi, M.; Zakuan, N.; Loganathan, N.; Soheilrad, S.; Saman, M.Z.M.; Ibrahim, O. A systematic review and meta-Analysis of SWARA and WASPAS methods: Theory and applications with recent fuzzy developments, Applied soft computing, №57, 265-292(2017). DOI: 10.1016/j.asoc.2017.03.045
- 9 Celik, E.; Gul, M.; Aydin, N.; Gumus, A.T.; Guneri, A.F. A comprehensive review of multi criteria decision making approaches based on interval type-2 fuzzy sets, Knowledge-based systems, №85, 329-341(2015). DOI: 10.1016/j.knsys.2015.06.004
- 10 Radovic, D.; Stevic, Z.; Pamucar, D.; Zavadskas, E.K.; Badi, I.; Antucheviciene, J.; Turskis, Z. Measuring Performance in Transportation Companies in Developing Countries: A Novel Rough ARAS Model, Symmetry-Basel, 10(10), 2018. DOI: 10.3390/sym10100434.
- 11 Ecer, F. An integrated Fuzzy AHP and ARAS model to evaluate mobile banking services, Technological and economic development of economy, 24(2), 670-695(2018). DOI: 10.3846/20294913.2016.1255275.
- 12 Stanujkic, D.; Zavadskas, E.K.; Karabasevic, D.; Turskis, Z.; Kersulienė, V. New group decision-making ARCAS approach based on the integration of the SWARA and the ARAS methods adapted for negotiations, Journal of business economics and management, 18(4), 599-618(2017). DOI: 10.3846/16111699.2017.1327455.
- 13 Turskis Z., Kersulienė, V.; Vinogradova, I. A new fuzzy hybrid multi-criteria decision-making approach to solve personnel assessment problems. Case study: Directo selection for estates and economy office, Economic computation and economic cybernetics studies and research, 51(3), 211-229(2017).
- 14 Turskis, Z., Goranin, N., Nurusheva, A., Boranbayev, S. A fuzzy WASPAS-based approach to determine critical information infrastructures of EU sustainable development, Sustainability (Switzerland), 11(2), 424(2019).
- 15 Turskis, Z., Goranin, N., Nurusheva, A., Boranbayev, S. Information security risk assessment in critical infrastructure: A hybrid MCDM approach, Informatica (Netherlands), 30(1), 187-211(2019).
- 16 Boranbayev, A., Boranbayev, S., Nurusheva, A., Yersakhanov, K. Development of a software system to ensure the reliability and fault tolerance in information systems, Journal of Engineering and Applied Sciences, 13(23), 10080-10085(2018).
- 17 Boranbayev, S., Goranin, N., Nurusheva, A. The methods and technologies of reliability and security of information systems and information and communication infrastructures, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 96(18), 6172-6188(2018).
- 18 Boranbayev, A., Boranbayev, S., Nurusheva, A. Development of a software system to ensure the reliability and fault tolerance in information systems based on expert estimates, Advances in Intelligent Systems and Computing, 869, 924-935(2018).
- 19 Boranbayev, A. S., Boranbayev, S. N., Nurusheva, A. M., Yersakhanov, K. B., Seitkulov, Y. N. Development of web application for detection and mitigation of risks of information and automated systems, Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, 7(1), 4-22(2019).
- 20 Seitkulov, Y.N., Boranbayev, S.N., Ulyukova, G.B., Yergaliyeva, B.B., Satybaldina, D. Methods for secure cloud processing of big data, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 22(3), 1650-1658(2021).
- 21 Boranbayev A.S. Defining methodologies for developing J2EE web-based information systems, Journal Non-linear Analysis: Theory, Methods & Applications, 71(12), 1633-1637(2009).

**Сведения об авторах:**

*Боранбаев С.Н.* – доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Пушкина 11, г. Нур-Султан, Казахстан.

*Боранбаев А.С.* – автор для корреспонденции, PhD, доцент кафедры компьютерных наук Назарбаев Университета, пр. Кабанбай Батыра 53, г. Нур-Султан, Казахстан.

*Сисенов Н.М.* – магистр естественных наук, преподаватель кафедры «Информационные системы» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Пушкина 11, г. Нур-Султан, Казахстан.

*Горанин Н.* – профессор, заведующий кафедры Информационных систем Факультета Фундаментальных Наук Вильнюсского Технического Университета имени князя Гедиминаса, Sauletekio al. 11, г. Вильнюс, Литва.

*Тулебаев Е.Б.* – магистр технических наук, сенсор-лектор департамента Компьютерной инженерии, Astana IT University, проспект Мангилик Ел 55/11, павильон С-1, Нур-Султан, Казахстан.

*Boranbayev S.* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Information Systems Department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Pushkin 11, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Boranbayev A.* – **Corresponding author**, PhD, Associate Professor. Computer Science Department, Nazarbayev University, 53 Kabanbay Batyr Ave., Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Sissenov N.* – Master of Science, Lecturer at the Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Pushkin 11, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Goranin N.* – Professor, Head of the Information Systems Department, Faculty of Fundamental Sciences, Vilnius Gediminas Technical University, Sauletekio al. 11, Vilnius, Lithuania.

*Tulebaev Y.* – Master of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Computer Engineering Department, Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Pavilion C-1, Nur-Sultan, Kazakhstan.