



УДК 621.377  
doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-8



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

## Методика расчета значимости свойств, характеризующих устойчивость иерархической системы управления, и приоритетов мероприятий

**Дмитрий Анатольевич Наумов**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
d.a.naumov1971@yandex.ru

**Андрей Юрьевич Козлов**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
\_kozlov\_@mail.ru

**Аннотация.** Исследование посвящено методике расчета значимости свойств и приоритетов групп мероприятий, характеризующих устойчивость иерархической системы управления. Методика включает в себя несколько этапов, начиная с подбора группы экспертов и формирования группового суждения и заканчивая определением значимости свойств и приоритетов альтернатив. Обсуждается важность согласованности группового суждения и предлагается развитие метода анализа иерархий для определения приоритетов мероприятий, влияющих на изменение свойств, характеризующих устойчивость иерархической системы управления.

**Ключевые слова:** иерархическая система управления, значимость свойств, приоритеты мероприятий, метод анализа иерархий, групповое суждение, устойчивость системы

**Для цитирования:** Наумов Д. А., Козлов А. Ю. Методика расчета значимости свойств, характеризующих устойчивость иерархической системы управления, и приоритетов мероприятий // Инжиниринг и технологии. 2024. Т. 9 (2). С. 1–6. doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-8

## Method for calculating the significance of properties, characterizing the stability of hierarchical management systems and action priorities

**Dmitry A. Naumov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
d.a.naumov1971@yandex.ru

**Andrey Yu. Kozlov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
\_kozlov\_@mail.ru

**Abstract.** The article is dedicated to the methodology for calculating the significance of properties and priorities of groups of measures characterizing the stability of a hierarchical control system (HCS). The methodology includes several stages, starting with the selection of a group of experts and the formation of a group judgment, and ending with the determination of the significance of properties and priorities of alternatives. The article also discusses the importance of consistency of group judgment and proposes the development of the hierarchy analysis method for determining the priorities of measures affecting the change of properties characterizing the stability of the HCS.

**Keywords:** hierarchical control system, significance of properties, priorities of measures, hierarchy analysis method, group judgment, system stability



**For citation:** Naumov D.A., Kozlov A.Yu. Method for calculating the significance of properties, characterizing the stability of hierarchical management systems and action priorities. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2024;9(2):1–6. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-8

Сущность методики расчета значимости свойств и приоритетов групп мероприятий, характеризующих устойчивость иерархической системы управления (ИСУ), состоит в определении значимости (веса, влияния) свойств и частных свойств в достижении цели иерархии (устойчивости ИСУ), а приоритеты мероприятий определяются относительно свойств и цели иерархии [1]. Отыскание значимости свойств проводится путем парного сравнения элементов каждого уровня иерархии и определения вектора приоритетов [1, 2]. Методика разделяется на несколько основных этапов.

### **Этап 1. Подбор группы экспертов и формирование группового суждения**

Основой для решения задачи определения важности свойств являются групповые суждения людей (экспертов). Субъективные мнения людей путем некоторого преобразования представляются в числовой форме. Возникает необходимость подбора группы людей, способной давать обоснованные ответы на предлагаемые вопросы. Главное требование, предъявляемое к каждому эксперту его компетентность в исследуемой области [3, 4]. Отбор группы экспертов из большого числа кандидатов может проводиться по степени надежности и степени относительной надежности эксперта [5]. Для определения степени надежности эксперта каждому из кандидатов предлагается анкета с набором вопросов из предметной области, на которые каждый эксперт должен ответить в течение короткого времени. Кроме того, каждый дает «самооценку» своих знаний в области задаваемых вопросов в виде числа. Данный способ позволяет определить действительные знания экспертов и определить их способность критически оценить собственные возможности.

Организация опроса коллектива экспертов – одна из важнейших проблем, связанных с проведением экспертных оценок. Основу проблемы составляет организация взаимодействия между экспертами в процессе их опроса. В методе анализа иерархий (МАИ) достаточно широкое применение нашла процедура опроса с личным контактом между экспертами [1, 2]. В процессе опроса поддерживается групповое взаимодействие и дискуссии.

Важной особенностью, относящейся к высказыванию суждений несколькими лицами, является то, каким образом достигается консенсус из их суждений. Процесс достижения консенсуса может быть использован для убеждения людей в том, что их интересы принимаются во внимание [6, 7]. В МАИ подход к консенсусу заключается в применении метода нахождения приоритетов для нескольких лиц, вовлекаемых в соответствии с содержанием их суждения. Приход к соглашению должен быть внутренней процедурой группового согласия. Одним из основных способов достижения группового согласия в МАИ является нахождение среднего геометрического суждений группы экспертов, определяемое по формуле

$$a_{ij}^A = \sqrt[n]{a_{ij}^1 a_{ij}^2 \dots a_{ij}^n}, \quad (1)$$

где  $a_{ij}^A$  – агрегированная оценка элемента, принадлежащего  $i$ -й строке и  $j$ -му столбцу матрицы парных сравнений;  $n$  – число матриц парных сравнений, каждая из которых составлена одним экспертом.

Таким образом, на подготовительном этапе показано, как производится подбор группы экспертов, а также способ получения агрегированных групповых суждений.

### **Этап 2. Определение значимости свойств, характеризующих устойчивость иерархической системы управления, и приоритетов альтернатив (мероприятий)**

*Шаг 1.* Определение значимости свойств (объектов) как элементов иерархии – это создание инструмента для оценки степени достижения цели иерархии путем выбора лучшей альтернативы.

В качестве критериев в данной иерархии выступают свойства и частные свойства, определяющие устойчивое состояние ИСУ.



Свойства, определяющие устойчивое состояние ИСУ:  
С1 – живучесть; С2 – надежность; С3 – помехоустойчивость.  
Частные свойства определены и обозначены:  
с1 – управляемость; с7 – долговечность;  
с2 – скрытность; с8 – ремонтпригодность;  
с3 – защищенность; с9 – сохраняемость;  
с4 – стойкость; с10 – помехозащищенность;  
с5 – восстанавливаемость; с11 – противодействие.  
с6 – безотказность;

Дальнейшее увеличение количества элементов и уровней иерархии нецелесообразно, так как приведет к структурному усложнению модели и трудности ее восприятия. Поэтому следует тщательно строить иерархию с учетом соответствия действительности и складывающейся ситуации.

Последовательность определения значимости свойств и приоритетов альтернатив, с учетом сделанных замечаний, показана на рис.



Рис. 1. Схема методики определения приоритетов мероприятий по повышению устойчивости ИСУ

*Шаг 2.* Групповые суждения экспертов формируют следующим образом.

Заданы элементы уровней иерархии, и нужно составить матрицы попарных сравнений между элементами относительно каждого элемента следующего более высокого уровня, который служит критерием или свойством сравнения.



Строится множество матриц парных сравнений. Парные сравнения проводятся в терминах доминирования одного элемента над другим. Полученные суждения выражаются в целых числах с учетом девятибалльной шкалы отношений [8, 9], представленной в табл.

Таблица

Шкала отношений для оценки свойств ИСУ

Степень значимости	Определение	Объяснение
1	Одинаковая значимость	Два элемента вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Некоторое преобладание значимости одного элемента над другим (слабая значимость)	Существуют соображения в пользу предпочтения одного из элементов, но они недостаточно убедительны
5	Существенная или сильная значимость	Имеются надежные данные или логические суждения для того, чтобы показать предпочтительность одного из элементов
7	Очевидная или очень сильная значимость	Убедительное свидетельство в пользу одного элемента над другим
9	Абсолютная значимость	Свидетельства в пользу предпочтения одного действия другому в высшей степени убедительны
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между двумя соседними	Ситуация, когда необходимо компромиссное решение
Обратные величины приведенных выше ненулевых величин	Если элементу $i$ при сравнении с элементом $j$ приписывается одно из приведенных выше чисел, то элементу $j$ при сравнении с $i$ приписывается обратное	Если согласованность была постулирована при получении $N$ числовых значений для образования матрицы

При проведении парных сравнений элементов (свойств или частных свойств) следует отвечать на вопрос: «Какой из двух сравниваемых элементов важнее или имеет большее воздействие на достижение цели иерархии?». Вопрос должен быть тщательно сформулирован, чтобы выявить суждения или ощущения вовлеченных в экспертизу лиц.

Результаты сравнения заносятся в матрицы (соответствующие таблицы).

**Шаг 3.** После заполнения всех матриц парных сравнений решается задача отыскания важности (веса) элементов (свойств).

В окончательном обобщенном виде вектор приоритетов не что иное, как нормированный главный собственный вектор (столбец) матрицы, он определяется из выражения

$$AW = nA, \quad (2)$$

где  $A$  – матрица парных сравнений;  $W$  – нормированный главный собственный вектор (столбец) матрицы (вектор приоритетов);  $n$  – максимальное собственное значение матрицы, равное порядку матрицы.

**Шаг 4.** Одной из основных проблем при расчете векторов приоритетов является определение степени согласованности группового суждения, выраженного в отношении предпочтений.

Согласованность суждений, записанных в ячейки матриц парных сравнений, можно определить по отношению согласованности каждой матрицы парных сравнений. Обратной симметричной матрицей является согласованной, если порядок матрицы ( $n$ ) и ее максимальное собственное значение ( $\lambda_{\max}$ ) совпадают, т.е. если  $\lambda_{\max} = n$ , то матрица согласованная. Определение  $\lambda_{\max}$  возможно различными способами [9].

Развитие МАИ применительно к решению задачи определения приоритетов и степени влияния мероприятий на повышение устойчивости ИСУ заключается в следующем.

Применение МАИ для определения важности свойств системы и расчет приоритетов большого количества мероприятий, изменяющих значения этих свойств, является расширением использования этого метода [10].

В ходе проведения исследований установлено, что использование МАИ для определения влияния мероприятий на изменение свойств системы, в его классическом (традиционном) представлении



является задачей большого объема. С целью снижения вычислительных затрат предложено развитие МАИ, приводящих к изменению процедуры определения приоритетов альтернатив.

Сущность развития МАИ для определения приоритетов мероприятий, влияющих на изменения свойств, характеризующих устойчивость ИСУ, заключается в следующем.

Во-первых, после определения важности свойств и частных свойств относительно цели иерархии проводится расчет векторов приоритетов групп мероприятий относительно свойств, определяющих устойчивость и самой цели иерархии.

Во-вторых, определяются приоритеты кластеров внутри групп и мероприятий внутри кластеров, причем экспертам следует ответить на вопрос: «Какой кластер и какое мероприятие внутри кластера наиболее важны для достижения цели иерархии?».

В-третьих, проводится расчет векторов приоритетов мероприятий через важность кластеров, которым мероприятия принадлежат. Это позволяет определить приоритетный ряд (провести ранжирование) всего множества мероприятий, т.е. определяются жесткие оценки для всех мероприятий, влияющих на повышение устойчивости системы.

В-четвертых, для определения приоритетов мероприятий относительно свойств, определяющих устойчивость, проводится «взвешивание» приоритетов мероприятий через приоритеты групп, которым они принадлежат, рассчитанные относительно свойств. Так как, в значениях приоритетов групп мероприятий учтены важности частных свойств, то нет необходимости проводить дополнительные расчеты векторов относительно частных свойств. Размерность задачи снижается, при полном учете (важности) влияния всех частных свойств, т.е., не снижая качества определения приоритетов, удается добиться оперативности и простоты расчетов. В случае если необходимо определить приоритет мероприятия относительно цели иерархии (устойчивости ИСУ), то проводится «взвешивание» приоритетов мероприятий через приоритеты их групп, рассчитанных относительно цели иерархии. Следует также учитывать, что увеличение количества мероприятий повышения устойчивости ИСУ не вызывает необходимости полного пересчета важности и приоритетов элементов, находящихся выше нижнего уровня иерархии.

Таким образом, предложенное развитие МАИ для определения приоритетов мероприятий, влияющих на изменения свойств, характеризующих устойчивость ИСУ, позволяет:

- через согласованное субъективное групповое суждение о важности (приоритете) того или иного элемента иерархии, вырабатываемое экспертами в процессе дискуссии, рассчитывать значения важности (весов) элементов всех уровней иерархии по отношению к элементу, которому они принадлежат или цели (фокусу) иерархии;

- за счет дополнительного введения согласующего уровня иерархии, в данном случае уровня групп мероприятий, учитывающих важность частных свойств, удается снизить размерность задачи, так как нет необходимости проводить дополнительные расчеты векторов приоритетов относительно частных свойств;

- исключить необходимость пересчета важности (приоритетов) элементов иерархии, при изменении количества мероприятий (альтернатив);

- повысить оперативность определения векторов приоритетов.

### Список литературы

1. Ошеров А. Я. Использование метода анализа иерархий для определения рекомендаций по повышению устойчивости сложных организационно-технических систем // Десятая ВНК «Повышение эффективности и боевых возможностей группировок войск ПВО в операциях на стратегическом направлении» : сб. науч. материалов. Смоленск, 2002. Ч. 1. С. 29–37.
2. Наумов Г. Е., Подиновский В. В. Субъективная вероятность: способы представления и методы получения // Техника и кибернетика. 1991. № 1. С. 94–109.
3. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Экспертные оценки. М. : Наука, 1973. 157 с.
4. Шнейдерман М. В. Процедуры коллективного экспертного опроса и их экспериментальное исследование // Автоматика и телемеханика. 1988. № 5. С. 3–16.
5. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений. М. : СИНТЕГ, 1998. 376 с.
6. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений / пер. с польского Минца Г. Е., Поруса В. Н. М. : Прогресс, 1979. 504 с.
7. Трахтенгерц Э. А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений. М. : СИНТЕГ, 2001. 250 с.
8. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М. : Финансы и статистика. 2000, 363 с.



9. Саати Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. М. : Радио и связь, 1993. 314 с.
10. Ошеров А. Я. Использование метода анализа иерархий для выработки рекомендаций по повышению устойчивости систем // Математические методы в интеллектуальных информационных системах. ММИИС – 2002 : сб. науч. тр. Междунар. науч. конф. Смоленск, 2002. С. 54–55.

### References

1. Oshero A. Ja. Using the hierarchy analysis method to identify recommendations for improving the sustainability of complex organizational and technical systems). *Desjataja VNK «Povyshenie jeffektivnosti i boevyh vozmozhnostej gruppировок vojsk PVO v operacijah na strategicheskom napravlenii»: sb. nauch. materialov = The tenth VNK "Improving the effectiveness and combat capabilities of air defense forces groups in operations in the strategic direction" : collection of scientific papers. materials. Smolensk, 2002;(part 1):29–37. (In Russ.)*
2. Naumov G.E., Podinovskij V.V. Subjective probability: methods of presentation and methods of obtaining. *Tehnika i kibernetika = Technology and cybernetics. 1991;(1):94–109. (In Russ.)*
3. Beshelev S.D., Gurvich F.G. *Jekspertnye ocenki = Expert assessments. Moscow: Nauka, 1973:157. (In Russ.)*
4. Shnejderman M.V. Collective expert survey procedures and their experimental study. *Avtomatika i telemehanika = Automation and telemechanics. 1988;(5):3–16. (In Russ.)*
5. Trahtengerc Je.A. *Komp'juternaja podderzhka prinjatija reshenij = Computer decision support. Moscow: SINTEG, 1998:376. (In Russ.)*
6. Kozeleckij Ju. *Psichologicheskaja teorija reshenij = Psychological decision theory. Translated from the Polish by Mints G.E., Porus V.N. Moscow: Progress, 1979:504. (In Russ.)*
7. Trahtengerc Je.A. *Sub'ektivnost' v komp'juternoj podderzhke upravlencheskih reshenij = Subjectivity in computer support of management decisions. Moscow: SINTEG, 2001:250. (In Russ.)*
8. Andrejchikov A.V., Andrejchikova O.N. *Analiz, sintez, planirovanie reshenij v jekonomike = Analysis, synthesis, decision planning in economics. Moscow: Finansy i statistika, 2000:363. (In Russ.)*
9. Saati T. *Prinjatie reshenij: Metod analiza ierarhij = Decision making: A method for analyzing hierarchies. Translated from the English by R.G. Vachnadze. Moscow: Radio i svjaz', 1993:314. (In Russ.)*
10. Oshero A. Ja. Using the hierarchy analysis method to develop recommendations for improving the stability of systems. *Matematicheskie metody v intellektual'nyh informacionnyh sistemah. MMIIS – 2002: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch. konf. = Mathematical methods in intelligent information systems. MMIIS – 2002 : collection of scientific tr. International scientific Conference. Smolensk, 2002:54–55. (In Russ.)*

Поступила в редакцию / Received 04.03.2024

Принята к публикации / Accepted 04.04.2024