

А.А. Богнюков, Д.Ю. Зорькин, И.А. Тарасова

МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИИ: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В данной статье подробно раскрывается применение метода анализа иерархий (МАИ) для оценки инвестиционных альтернатив в условиях динамичных рыночных изменений. Методология МАИ позволяет структурировать сложные многокритериальные задачи, разделяя их на иерархические уровни, а затем постепенно объединяя результаты, чтобы принять оптимальное решение. Особое внимание в данной статье уделено на то, что МАИ способствует снижению субъективности при оценке множества факторов, связанных с инвестициями, поскольку конечные выводы базируются на количественных показателях и проверке согласованности суждений. Для демонстрации преимуществ данного подхода в статье приводится сравнительный анализ трёх компаний: Apple Inc., ПАО «Сеgezha Групп» и ПАО «Аэрофлот». Критерии, по которым проводится оценка, включают динамику стоимости акций, дивидендную доходность, рыночную капитализацию, коэффициент осцилляции и влияние отраслевой специфики на перспективы развития. Apple Inc. выделяется прежде всего высокой рыночной капитализацией и стабильными дивидендными выплатами, тогда как ПАО «Сеgezha Групп» и ПАО «Аэрофлот» имеют собственные сильные стороны, такие как потенциал роста в определённых сегментах рынка и ориентация на перспективные отрасли. Тем не менее итоговые результаты многокритериального анализа показывают, что в совокупности Apple Inc. занимает лидирующие позиции по большинству ключевых показателей. Следует отметить, что важность метода анализа иерархий выходит далеко за рамки академических исследований. На практике данный метод широко используется в корпоративном секторе для оценки риска, формирования инвестиционного портфеля и выбора стратегических приоритетов. Его гибкость обеспечивает универсальное применение как для крупных международных корпораций, так и для локальных предприятий, стремящихся объективно сопоставить альтернативы. Также в статье акцентируется внимание на важности тщательного сбора и систематизации исходных данных. Ошибки или неточности на этом этапе могут существенно исказить итоговые выводы, что особенно критично при принятии инвестиционных решений. Проверка отношения однородности в МАИ даёт возможность вовремя выявить противоречивые оценки и скорректировать матрицы попарных сравнений. Таким образом, авторы демонстрируют, что метод анализа иерархий представляет собой надёжный инструмент для объективной и прозрачной оценки инвестиционных проектов. Благодаря учёту целого спектра количественных и качественных характеристик, МАИ позволяет сформировать взвешенные рекомендации относительно того, какие активы и компании могут принести максимальную отдачу при разумном уровне риска.

Теория принятия решений; МАИ; инвестиционная привлекательность; динамика акций; дивидендная доходность; рыночная капитализация; коэффициенты.

A.A. Bognyukov, D.Yu. Zorkin, I.A. Tarasova

HIERARCHY ANALYSIS METHOD: A SYSTEMATIC APPROACH TO DECISION MAKING UNDER UNCERTAINTY

This article provides a detailed examination of the application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) for evaluating investment alternatives under dynamic market conditions. The AHP methodology enables the structuring of complex multi-criteria tasks by dividing them into hierarchical levels and then progressively synthesizing the results to reach an optimal decision. Special emphasis is placed on how AHP reduces subjectivity when assessing numerous investment-related factors, as the final conclusions are based on quantitative indicators and a consistency check of expert judgments. To illustrate the advantages of this approach, the article presents a comparative analysis of three companies: Apple Inc., PAO "Segezha Group," and PAO "Aeroflot." The evaluation criteria include stock price dynamics, dividend yield, market capitalization, volatility (oscillation coefficient), and the influence of industry specifics on growth prospects. Apple Inc. stands out primarily due to its high market capitalization and stable dividend payouts, whereas PAO "Segezha Group" and PAO "Aeroflot" each have their own strengths, such as growth potential in specific market segments and a focus on promising industries. Nevertheless, the final results of the multi-criteria analysis indicate that Apple Inc. leads in most of the key metrics overall. It should be noted that the significance of AHP extends well beyond academic research. In practice, this method is widely used in the corporate sector for risk assessment, investment portfolio formation, and the selection of strategic priorities. Its flexibility ensures universal applicability both for large multinational corporations and for local enterprises that aim to objectively compare alternatives. The article also high-

lights the importance of careful data collection and systematization. Errors or inaccuracies at this stage can significantly distort the final conclusions, which is particularly critical in making investment decisions. The consistency check within AHP makes it possible to promptly identify conflicting evaluations and adjust the pairwise comparison matrices. Thus, the authors demonstrate that the Analytic Hierarchy Process is a reliable tool for the objective and transparent evaluation of investment projects. By considering a wide range of quantitative and qualitative characteristics, AHP enables the development of balanced recommendations regarding which assets and companies can deliver the highest returns at a reasonable level of risk.

Decision-making theory; AHP; investment attractiveness; stock dynamics; dividend yield; market capitalization; volatility.

Введение. Данная работа посвящена применению метода анализа иерархий (МАИ). Актуальность обусловлена необходимостью принимать обоснованные решения в условиях высокой конкуренции, учитывая множество факторов и рисков. МАИ обеспечивает системный подход к сравнению инвестиций, таких как динамика акций, дивидендная доходность, рыночная капитализация и волатильность, что позволяет учитывать все существенные аспекты для достижения лучших инвестиционных результатов. Цель работы – показать, как использование МАИ в совокупности с финансовыми показателями способствует эффективному инвестированию и помогает принимать более обоснованные и взвешенные решения в условиях неопределённости.

Данная работа посвящена применению метода анализа иерархий (МАИ). Актуальность исследования обусловлена необходимостью принимать обоснованные решения в условиях высокой конкуренции, когда требуется учитывать множество факторов и рисков. Метод анализа иерархий обеспечивает системный подход к сравнению инвестиционных альтернатив, позволяя оценивать такие параметры, как динамика акций, дивидендная доходность, рыночная капитализация и волатильность. Цель работы – показать, как применение МАИ способствует объективной оценке инвестиций и позволяет выявить наилучшую альтернативу в сложных экономических условиях.

Постановка задачи. Постановка задачи для данной статьи заключается в следующем:

- ♦ проведение анализа компаний с точки зрения инвестиционной привлекательности на основе ключевых критериев, включая динамику акций, дивидендную доходность, отрасль, рыночную капитализацию и волатильность;
- ♦ применение метода анализа иерархий для обоснованного выбора наилучшей альтернативы;
- ♦ сопоставить результаты расчётов, выявив сильные и слабые стороны каждой из компаний, чтобы сделать выводы об их инвестиционном потенциале.

Объект исследования: компании, рассматриваемые для долгосрочного инвестирования.

Предмет исследования: метод анализа иерархий как инструмент для принятия инвестиционных решений.

Исследование базируется на практическом применении теоретических методов принятия решений. Работа направлена на разработку эффективных решений, что подтверждает её актуальность и практическую значимость.

Материалы и методы. Для начала следует рассмотреть иерархию для выбора наилучшего варианта инвестирования:



Рис. 1. Иерархия для выбора наилучшего варианта инвестирования

Иерархия предназначена для выбора наилучшего варианта инвестирования и включает три уровня. На верхнем уровне расположена главная цель – определение оптимальной инвестиционной альтернативы. На среднем уровне выделены два ключевых критерия, определяющих инвестиционную привлекательность: потенциальная доходность, которая отражает ожидаемую выгоду от инвестиций, и надёжность, характеризующая устойчивость компании и минимизацию рисков. На нижнем уровне каждый из основных критериев делится на подкритерии. Для потенциальной доходности выделяются такие параметры, как динамика за год, %* (темпы изменения стоимости акций компании), дивидендная доходность, %* (стабильность и размер дивидендных выплат), и отрасль* (влияние отраслевой принадлежности компании на её долгосрочные перспективы). Для надёжности учитываются рыночная капитализация, млрд \$* (объём рынка компании как индикатор её стабильности), и коэффициент осцилляции, %* (уровень волатильности акций компании).

Краткий анализ компаний.

Apple Inc. – американская корпорация, основанная в 1976 году Стивом Джобсом, Стивом Возняком и Рональдом Уэйном. Первые продукты Apple I и Apple II способствовали популяризации персональных компьютеров, а выход Macintosh в 1984 году стал прорывом благодаря графическому интерфейсу. Возвращение Стива Джобса в 1997 году ознаменовало череду инноваций: компания представила iPod (2001), iTunes Store (2003), iPhone (2007) и iPad (2010), расширив линейку за пределы ПК и обеспечив себе позицию лидера в сфере потребительской электроники.

ПАО «Сегежа Групп» – крупный российский лесопромышленный холдинг АФК «Система», занимающийся полным циклом лесозаготовки и переработки древесины. В 2014 году были приобретены и консолидированы активы Сегежского ЦБК и ООО «ДеревООработка – Проект»; в 2015-м компания получила название Segezha Group и в 2016-м расширила присутствие в Красноярском крае, купив Лесосибирский ЛДК №1. Акции холдинга размещены на Московской бирже с 2021 года, а продукция экспортируется более чем в 100 стран. Ключевые направления – производство бумаги, упаковки, пиломатериалов, фанеры, CLT-панелей и биотоплива при активных инвестициях в экологические технологии.

ПАО «Аэрофлот» – крупнейшая российская авиакомпания, основанная в 1923 году и одна из старейших в мире. После распада СССР в 1992 году она преобразовалась в акционерное общество, а в 2000 году прошла ребрендинг, получив нынешнее название. Предоставляя пассажирские и грузовые перевозки на внутренних и международных линиях, «Аэрофлот» также занимается техническим обслуживанием самолетов и подготовкой авиаперсонала. Флот включает лайнеры Airbus, Boeing и Sukhoi Superjet 100, а инновационные решения компании нацелены на повышение безопасности и качества обслуживания.

Метод анализа иерархии. Проведем расчет динамики за год на основании данных из сети Интернет.

Динамика за год – это темп роста, определяющийся делением текущего значения цены акции на значение год назад.



Рис. 2. Цены акций Apple Inc на начало 2024 года [1]

На основе графика видно, что стоимость акций Apple Inc. по состоянию на 1 января 2024 года составила 181,18 доллара США.



Рис. 3. Цены акций Apple Inc на начало 2023 года [1]

Согласно представленным данным, стоимость акций компании на 2 января 2023 года составляла 129,62 доллара США.

Следовательно, динамика за 2023 год у компании Apple Inc:

$$\frac{181,18}{129,62} \times 100\% = 139,78\%.$$

Для компании ПАО «Сегежа Групп»:



Рис. 4. Цены акций ПАО «Сегежа Групп» на начало 2024 года [2]

Согласно данным, цена одной акции ПАО «Сегежа Групп» на 1 января 2024 года составила 4,178 рубля.



Рис. 5. Цены акций ПАО «Сегежа Групп» на начало 2023 года [2]

По состоянию на начало 2023 года стоимость акции составляла 4,949 рубля. Следовательно, динамика за 2023 год у компании ПАО «Сегежа Групп»:

$$\frac{4,178}{4,949} \times 100\% = 84,42\%$$



Рис. 6. Цены акций ПАО «Аэрофлот» на начало 2024 года [3]

Из представленного графика следует, что стоимость акций ПАО «Аэрофлот» на 1 января 2024 года составила 38,83 рубля.



Рис. 7. Цены акций ПАО «Аэрофлот» на начало 2023 года [3]

Цена одной акции компании на 2 января 2023 года составила 28 рублей.
Динамика за 2023 год у компании ПАО «Аэрофлот»:

$$\frac{38,83}{28} \times 100\% = 138,68\%.$$

Найдем второй критерий (дивидендная доходность).



Рис. 8. Дивидендная доходность Apple Inc. [4]

Как видно из представленного графика, Apple Inc. демонстрирует стабильные выплаты дивидендов на протяжении последних лет. В 2023 году дивидендная доходность составила 0,55%, что делает компанию привлекательной для инвесторов, ориентированных на получение пассивного дохода.

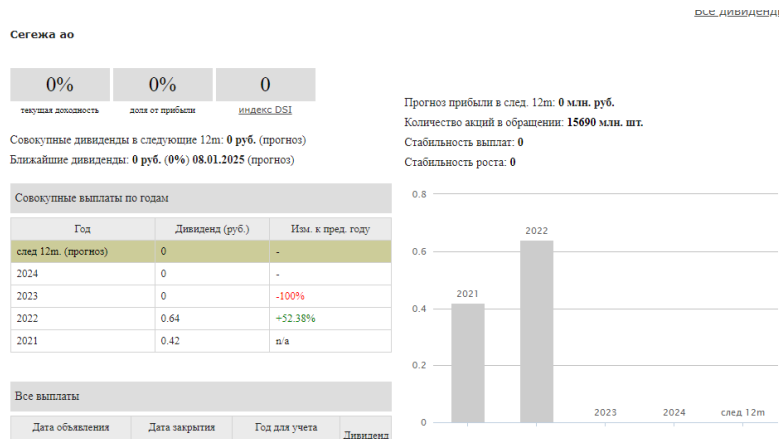


Рис. 9. Дивидендная доходность ПАО «Сегежа Групп» [5]

Данные показывают, что ПАО «Сегежа Групп» в 2023 году не осуществляла выплаты дивидендов.

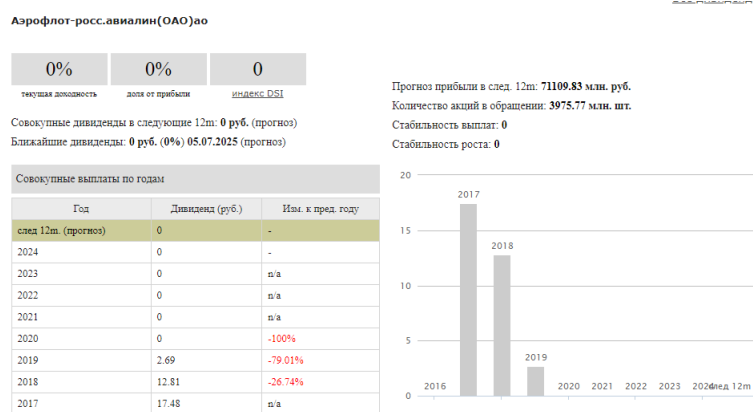


Рис. 10. Дивидендная доходность ПАО «Аэрофлот» [6]

На основании графика видно, что ПАО «Аэрофлот» прекратило выплачивать дивиденды с 2019 года.

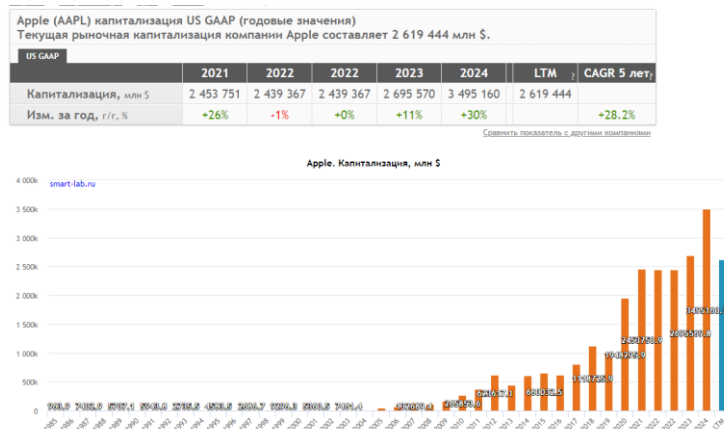


Рис. 11. Рыночная капитализация Apple Inc. [7]

На основе данных видно, что рыночная капитализация Apple Inc. на январь 2024 года составила 2695,57 млрд долларов США.

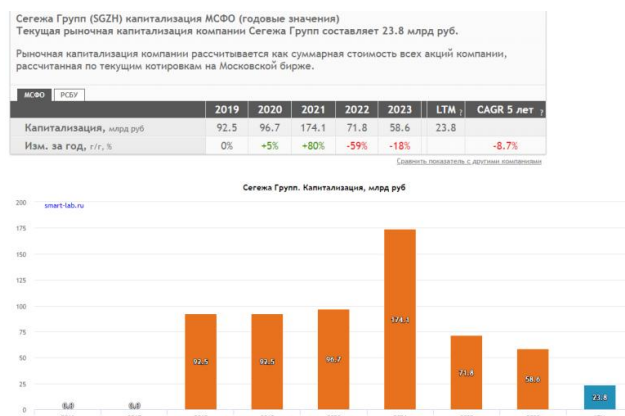


Рис. 12. Рыночная капитализация ПАО «Сегежа Групп» [8]

Переведем 58,6 млрд рублей в доллары по курсу на январь 2024 года. Для этого разделим 58,6 на 88,9856. Рыночная капитализация ПАО «Сегежа Групп» в пересчете на доллары США составила 0,66 млрд долларов.

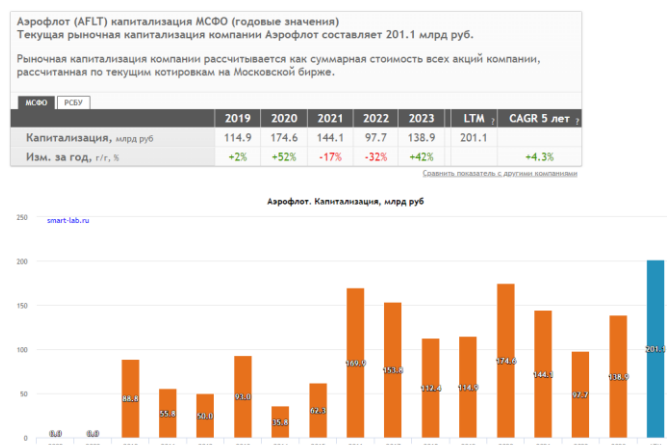


Рис. 13. Рыночная капитализация ПАО «Аэрофлот» [9]

Рыночная капитализация ПАО «Аэрофлот» составила 1,56 млрд долларов.

Найдем коэффициент осцилляции – разницу между максимальной и минимальной ценой в течение года, поделенная на среднегодовую цену.

Apple 239,59 +2,26 (+0,95%)

Дата	Максимум	Минимум	Разница	Среднее	Изм. %
12.01.2023	133,41	133,88	134,26	131,44	-0.06%
11.01.2023	133,49	131,25	133,51	130,46	+2.11%
10.01.2023	130,73	130,26	131,26	128,12	+0.45%
09.01.2023	130,15	130,46	133,41	129,89	+0.41%
08.01.2023	129,62	126,01	130,29	124,89	+3.68%
07.01.2023	125,02	127,13	127,77	124,76	-1.06%
06.01.2023	126,36	126,89	128,66	125,08	+1.03%
05.01.2023	125,07	130,28	130,90	124,17	-3.74%

Максимум: 199,62 Минимум: 124,17 Разница: 75,45 Среднее: 172,55 Изм. %: 48,18

Рис. 14. История цен акций Apple за 2023 год [10]

Коэффициент осцилляции для акций Apple рассчитывается следующим образом:

$$\frac{(199,62 - 124,17)}{172,55} = 43,73\%$$

Сегежа Групп 1,358 -0,067 (-4,70%)						
12.01.2023	4,817	4,813	4,873	4,800	26,12M	+0.08%
11.01.2023	4,813	4,787	4,840	4,762	25,64M	+0.90%
10.01.2023	4,770	4,800	4,806	4,691	22,67M	-0.23%
09.01.2023	4,781	4,639	4,842	4,635	52,87M	+3.17%
06.01.2023	4,634	4,649	4,649	4,602	6,38M	-0.22%
05.01.2023	4,644	4,672	4,695	4,630	10,05M	-0.56%
04.01.2023	4,670	4,670	4,734	4,612	14,66M	+0.32%
03.01.2023	4,655	4,582	4,672	4,575	13,17M	+1.73%
Максимум: 6,560 Минимум: 3,680 Разница: 2,880 Среднее: 5,233 Изм. %: -19,143						

Рис. 15. История цен акций ПАО «Сегежа Групп» за 2023 год [11]

Коэффициент осцилляции для акций ПАО «Сегежа Групп» определяется следующим образом:

$$\frac{(6,56 - 3,68)}{5,233} = 55,04\%$$

Аэрофлот 49,27 -1,24 (-2,45%)						
13.01.2023	27,68	27,52	28,18	27,26	9,94M	+0.58%
12.01.2023	27,52	27,74	27,92	27,16	12,46M	-0.58%
11.01.2023	27,68	26,80	27,90	26,72	20,63M	+3.59%
10.01.2023	26,72	26,08	26,88	25,80	14,27M	+2.45%
09.01.2023	26,08	25,50	26,28	25,50	11,00M	+2.44%
06.01.2023	25,46	25,70	25,70	25,30	4,01M	-0.55%
05.01.2023	25,60	25,02	25,90	25,00	11,31M	+2.24%
04.01.2023	25,04	24,64	25,08	24,62	3,07M	+1.62%
03.01.2023	24,64	24,74	24,80	24,60	1,95M	+0.16%
Максимум: 47,38 Минимум: 24,60 Разница: 22,78 Среднее: 37,27 Изм. %: 42,48						

Рис. 16. История цен акций ПАО «Аэрофлот» за 2023 год [12]

Коэффициент осцилляции для акций ПАО «Сегежа Групп» рассчитывается следующим образом:

$$\frac{(47,38 - 24,6)}{37,27} = 61,12\%.$$

Для удобства перенесем данные в одну таблицу:

Таблица 1

Данные критериев оценки по компаниям

	A1 - Apple Inc.	A2 - ПАО «Сегежа Групп»	A3 - ПАО «Аэрофлот»
K1 - Динамика за год, %	139,78%	84,42%	138,68%
K2 - Дивидендная доходность, %	0,55%	-	-
K3 - Отрасль	Электронные технологии (1)	Обрабатывающая промышленность (3)	Транспорт (2)
K4 - Рыночная капитализация, млрд. \$	2695,57	0,66	1,56
K5 - Коэффициент осцилляции	43,73%	55,04%	61,12%

На основании данных значений подготовимся к выбору наилучшей альтернативы методом анализа иерархий. Заполним матрицы сравнения вариантов выбора по критерию.

K1 (Динамика за год)	A1 - Apple Inc.	A2 - ПАО «Сегежа Групп»	A3 - ПАО «Аэрофлот»
A1 - Apple Inc.	1	7	2
A2 - ПАО «Сегежа Групп»	1/7	1	1/6
A3 - ПАО «Аэрофлот»	1/2	6	1
K2 (Дивидендная доходность)	A1 - Apple Inc.	A2 - ПАО «Сегежа Групп»	A3 - ПАО «Аэрофлот»
A1 - Apple Inc.	1	3	3
A2 - ПАО «Сегежа Групп»	1/3	1	1
A3 - ПАО «Аэрофлот»	1/3	1	1
K3 (Отрасль)	A1 - Apple Inc.	A2 - ПАО «Сегежа Групп»	A3 - ПАО «Аэрофлот»
A1 - Apple Inc.	1	7	5
A2 - ПАО «Сегежа Групп»	1/7	1	1/3
A3 - ПАО «Аэрофлот»	1/5	3	1
K4 (Рыночная капитализация)	A1 - Apple Inc.	A2 - ПАО «Сегежа Групп»	A3 - ПАО «Аэрофлот»
A1 - Apple Inc.	1	9	7
A2 - ПАО «Сегежа Групп»	1/9	1	1/3
A3 - ПАО «Аэрофлот»	1/7	3	1
K5 (Коэффициент осцилляции)	A1 - Apple Inc.	A2 - ПАО «Сегежа Групп»	A3 - ПАО «Аэрофлот»
A1 - Apple Inc.	1	5	7
A2 - ПАО «Сегежа Групп»	1/5	1	3
A3 - ПАО «Аэрофлот»	1/7	1/3	1

Рис. 17. Заполненные матрицы попарных сравнений

Среднее геометрическое считается по трём значениям строки матрицы. После вычитывается вектор приоритетов по формуле:

$$w_i = \frac{\bar{x}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{x}_j},$$

где $\bar{x}_i$ – i-ое среднее геометрическое значение; $\sum_{j=1}^n \bar{x}_j$ – сумма всех средних геометрических значений.

K1 (Динамика за год)	A1 - Apple Inc.	A2 - ПАО «Сегежа Групп»	A3 - ПАО «Аэрофлот»	Среднее геометрическое	Вектор приоритетов
A1 - Apple Inc.	1	7	2	2,410142264	0,582149192
A2 - ПАО «Сегежа Групп»	1/7	1	1/6	0,287684791	0,069487794
A3 - ПАО «Аэрофлот»	1/2	6	1	1,44224957	0,348363014
			СУММА	4,140076626	1
K2 (Дивидендная доходность)	A1 - Apple Inc.	A2 - ПАО «Сегежа Групп»	A3 - ПАО «Аэрофлот»		
A1 - Apple Inc.	1	3	3	2,080083823	0,6
A2 - ПАО «Сегежа Групп»	1/3	1	1	0,693361274	0,2
A3 - ПАО «Аэрофлот»	1/3	1	1	0,693361274	0,2
			СУММА	3,466806372	1
K3 (Отрасль)	A1 - Apple Inc.	A2 - ПАО «Сегежа Групп»	A3 - ПАО «Аэрофлот»		
A1 - Apple Inc.	1	7	5	3,27106631	0,730644671
A2 - ПАО «Сегежа Групп»	1/7	1	1/3	0,362460124	0,080961232
A3 - ПАО «Аэрофлот»	1/5	3	1	0,843432665	0,188394097
			СУММА	4,4769591	1
K4 (Рыночная капитализация)	A1 - Apple Inc.	A2 - ПАО «Сегежа Групп»	A3 - ПАО «Аэрофлот»		
A1 - Apple Inc.	1	9	7	3,979057208	0,785391188
A2 - ПАО «Сегежа Групп»	1/9	1	1/3	0,333333333	0,065793742
A3 - ПАО «Аэрофлот»	1/7	3	1	0,753947441	0,14881507
			СУММА	5,066337982	1
K5 (Коэффициент осцилляции)	A1 - Apple Inc.	A2 - ПАО «Сегежа Групп»	A3 - ПАО «Аэрофлот»		
A1 - Apple Inc.	1	5	7	3,27106631	0,730644671
A2 - ПАО «Сегежа Групп»	1/5	1	3	0,843432665	0,188394097
A3 - ПАО «Аэрофлот»	1/7	1/3	1	0,362460124	0,080961232
			СУММА	4,4769591	1

Рис. 18. Рассчитанные средние геометрические и вектора приоритетов

Проанализировав полученные результаты вычисления оценки каждой из альтернатив по критериям, можно прийти к выводу, что по всем критериям лучшей альтернативой является Apple Inc.

Стоит отметить, что метод анализа иерархий (МАИ) основан на последовательном сравнении альтернативных вариантов по ряду критериев, в результате чего формируются так называемые матрицы попарных сравнений [13].

Кроме того, теоретические исследования, представленные Малышевой А.К., Абдуллаевой А.М. [14] и Алексеевым Г.В. [15], подтверждают практическую применимость МАИ для снижения влияния субъективных оценок и повышения объективности анализа инвестиционных альтернатив.

Проведем расчеты $\lambda_{\max}$, индекса однородности и отношения однородности. Максимальное собственное число ($\lambda_{\max}$) необходимо для проверки согласованности оценок. После того как заполнится матрица попарных сравнений, рассчитывается собственный вектор приоритетов. Чтобы удостовериться, что экспертные суждения не противоречат друг другу, высчитывается $\lambda_{\max}$ этой матрицы и используется $\lambda_{\max}$ при вычислении индекса однородности (ИО) [16, 17].

$$\lambda_{\max} = e^T * A * W,$$

где $\lambda_{\max}$ – максимальное собственное число матрицы;

e^T – транспонированный единичный вектор (вектор-столбец из n строк);

A – матрица парных сравнений;

W – вектор приоритетов.

Расчет индекса однородности производится по формуле:

$$\text{ИО} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1),$$

где $\lambda_{\max}$ – максимальное собственное число матрицы;

n – число строк матрицы.

При помощи ИО ищется отношение однородности (ОО):

$$\text{ОО} = \text{ИО} / \text{М(ИО)},$$

где ИО – индекс однородности;

М(ИО) – математическое ожидание индекса однородности, определяемое по табл. 2.

Таблица 2

Математическое ожидание индекса однородности [18]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
М(ИО)	0,00	0,00	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45
n	10	11	12	13	14	15			
М(ИО)	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59			

Единичный вектор			$e^T * A$		$\lambda_{\max} = (e^T * A) * W$		Индекс однородности	Отношение однородности
1	1	1	1,642857	14	3,166667	3,032366617	0,016183309	0,027902256
			1,666667	5	5	3	0	0
			1,342857	11	6,333333	3,06488758	0,03244379	0,055937569
			1,253968	13	8,333333	3,080299844	0,040149922	0,069224003
			1,342857	6,333333	11	3,06488758	0,03244379	0,055937569

Рис. 19. Расчет параметров $\lambda_{\max}$, индекса однородности и отношения однородности

Индекс однородности (ИО) показывает, насколько единообразны наши суждения. Рассмотрим частный случай, если ИО слишком велик, это значит, что в матрице присутствуют противоречия: один и тот же объект может оказаться одновременно и лучше, и хуже

другого по разным сравнениям. Подобная ситуация сигнализирует, что оценки следует пересмотреть. Когда же отношение однородности ($OO = IO / M(IO)$) не превышает 0,1, мы можем быть уверены, что логика оценок в целом не вызывает серьезных сомнений.

Полученные значения отношения однородности меньше 0,1, следовательно, можно сделать вывод, что матрицы построены верно, суждения являются однородными [19].

На основе проведенного анализа были собраны ключевые показатели компаний, включающие динамику стоимости акций, дивидендную доходность, отрасль, рыночную капитализацию и коэффициент осцилляции. Эти параметры позволяют провести объективную оценку и сопоставление компаний с использованием метода анализа иерархий.

Следующим этапом является процедура свертки, или иерархического синтеза, которая заключается в объединении локальных векторов приоритетов, полученных для каждого критерия, в единый итоговый рейтинг альтернатив [19].

Иерархический синтез (свертки) - способ объединить результаты из разных матриц сравнения, чтобы получить общий рейтинг альтернатив. Сначала ведется подсчет вектора приоритетов для каждого критерия (например, динамики акций, дивидендной доходности), потом вычисляется «вес» этих критериев относительно друг друга, а уже потом происходит процесс умножения векторов приоритетов на другие. Так постепенно «сворачивается» вся иерархия: сначала внутри группы критериев, а затем и на самом верхнем уровне, где определяется итоговый фаворит.

На данном этапе будут построены матрицы попарных сравнений и рассчитаны весовые коэффициенты для каждого критерия, что обеспечит структурированное принятие решений, на основе собранных данных [20].

Проведем свертку второго уровня. Найдем критерии E_1^2 и E_2^2 .

Критерий «Динамика за год» отражает способность компании к росту, что делает его ключевым для оценки краткосрочной привлекательности инвестиций. Рост стоимости акций показывает, насколько эффективно компания использует свои ресурсы и привлекает инвесторов.

Критерий «Дивидендная доходность» важна для инвесторов, ориентированных на получение регулярного дохода. Однако её значимость может уступать динамике стоимости акций, особенно для компаний с высокой капитализацией, где акцент делается на реинвестирование прибыли.

Отрасль определяет долгосрочные перспективы компании. Например, высокотехнологичные компании могут иметь большие темпы роста, чем традиционные отрасли, такие как производство или лесозаготовка. Однако влияние этого критерия, как правило, опосредованное, так как оно проявляется через другие показатели.

Для проведения свертки необходимо построить матрицы парных сравнений критериев.

Сравнение критериев						
Сравнение по критерию "Потенциальная доходность"						
Динамика за год	1	3	4		2,289428485	0,625013074
Дивидендная доходность	1/3	1	2		0,873580465	0,238487123
Отрасль	1/4	1/2	1		0,5	0,136499803
				СУММА	3,66300895	1
Сравнение по критерию "Надежность"						
Рыночная капитализация	1	3			1,732050808	0,75
Коэффициент осцилляции	1/3	1			0,577350269	0,25
				СУММА	2,309401077	1
Сравнение по критерию "Выбор наилучшего варианта инвестирования"						
Потенциальная доходность	1	2			1,414213562	0,666666667
Надежность	1/2	1			0,707106781	0,333333333
				СУММА	2,121320344	1

Рис. 20. Построение трех матриц парных сравнений критериев

Так как первая матрица парных сравнений по критерию «Потенциальная доходность» третьего порядка необходимо посчитать отношение однородности для проверки однородности суждений.

Единичный вектор			$e^{T*}A$			$\lambda_{max} = (e^{T*}A)/W$	Индекс однородности	Отношение однородности
1	1	1	1,58333	4,5	7	3,018294707	0,009147354	0,01577129
СУММА	3,66300895	1						

Рис. 21. Проверка матрицы парных сравнений по критерию «Потенциальная доходность» на однородность суждений

Полученное значение отношения однородности меньше 0,1, что подтверждает правильность построения матрицы и однородности суждений. Две следующие матрицы парных сравнений второго порядка, следовательно, считать отношение однородности для них не нужно.

Для проведения свертки необходимо умножить матрицу, состоящую из векторов приоритетов конкретных критериев на вектор, который отражает сравнение важности этих критериев.

Иерархический синтез			
Свертка критерия "Потенциальная доходность"			
	0,582149192	0,6	0,730644671
	0,069487794	0,2	0,080961232
	0,348363014	0,2	0,188394097
	0,606675984		
	0,102179396		
	0,29114462		
Вектор приоритетов "Потенциальная доходность"			
			0,625013074
			0,238487123
			0,136499803

Рис. 22. Свертка критерия E_1^2 (Потенциальная доходность)

По критерию E_1^2 можно сделать вывод, что наилучшей альтернативой является A1 (Apple Inc.).

Показатель «Рыночная капитализация» отражает масштаб и устойчивость компании на рынке. Чем выше рыночная капитализация, тем меньше вероятность резких изменений стоимости акций или банкротства. Компании с большой рыночной капитализацией, как правило, обладают высокой надёжностью. Этот критерий может быть оценён как наиболее значимый для определения общей стабильности компании.

Коэффициент осцилляции показывает уровень волатильности акций компании. Низкие значения свидетельствуют о стабильности цен и меньших рисках для инвесторов. Однако этот критерий носит более временный характер по сравнению с рыночной капитализацией и может быть менее значимым для долгосрочных инвестиций.

Свертка критерия "Надежность"			
	0,785391188	0,730644671	
	0,065793742	0,188394097	0,75
	0,14881507	0,080961232	0,25
	0,771704559		
	0,096443831		
	0,13185161		
Вектор приоритетов "Надежность"			

Рис. 23. Свертка критерия E_2^2 (Надежность)

По критерию E_2^2 можно сделать вывод, что наилучшей альтернативой также является A1 (Apple Inc.).

Теперь выполним свертку первого уровня.

Критерий «Потенциальная доходность» отражает ожидаемую выгоду от вложений. Инвесторы, ориентированные на высокую прибыль в краткосрочной или среднесрочной перспективе, обычно придают этому критерию первостепенное значение. Он включает такие параметры, как динамика стоимости акций, дивидендная доходность и перспективы отрасли.

Надежность показывает устойчивость компании и минимизацию рисков. Этот критерий особенно важен для инвесторов, стремящихся к долгосрочной безопасности своих вложений. Сюда входят такие параметры, как рыночная капитализация и коэффициент осцилляции.

Свертка критерия "Выбор наилучшего варианта инвестирования"			
	0,606675984	0,771704559	
	0,102179396	0,096443831	0,66666667
	0,29114462	0,13185161	0,33333333
	0,661685509		
	0,100267541		
	0,23804895		
Вектор приоритетов "Выбор наилучшего варианта для инвестирования"			

Рис. 24. Свертка критерия E_1^1 (Выбор наилучшего варианта инвестирования)

Выводы. Был проведён сравнительный анализ трёх компаний (Apple Inc., ПАО «Сегежа Групп», ПАО «Аэрофлот») с помощью метода анализа иерархий (МАИ) по критериям динамики акций, дивидендной доходности, отрасли, рыночной капитализации и коэффициента осцилляции. Итоги иерархического синтеза показали, что Apple Inc. лидирует по всем критериям, что делает её наиболее привлекательной с точки зрения, как роста капитала, так и стабильной доходности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. График Apple (AAPL) – Investing.com. – URL: <https://ru.investing.com/equities/apple-computer-inc-chart> (дата обращения: 03.12.2024).
2. График Segezha Group (SGZH) – Investing.com. – URL: <https://ru.investing.com/equities/segezha-group-pao-chart> (дата обращения: 03.12.2024).
3. График акций ПАО «Аэрофлот» – Investing.com. – URL: <https://ru.investing.com/equities/aeroflot-chart> (дата обращения: 03.12.2024).
4. Дивиденды Apple (AAPL) – Finrange. – URL: <https://finrange.com/ru/company/NASDAQ/AAPL/dividends> (дата обращения: 03.12.2024).
5. Дивиденды Segezha Group – Управляющая компания «ДОХОД». – URL: <https://www.dohod.ru/ik/analytics/dividend/sgzh> (дата обращения: 03.12.2024).
6. Дивиденды ПАО «Аэрофлот» – Управляющая компания «ДОХОД». – URL: <https://www.dohod.ru/ik/analytics/dividend/aflt> (дата обращения: 03.12.2024).
7. Капитализация Apple (AAPL) – smart-lab. – URL: https://smart-lab.ru/q/AAPL/GAAP/market_cap/ (дата обращения: 03.12.2024).
8. Капитализация Segezha Group (SGZH) – smart-lab. – URL: https://smart-lab.ru/q/SGZH/MSFO/market_cap/ (дата обращения: 03.12.2024).
9. Капитализация ПАО «Аэрофлот» (AFLT) – smart-lab. – URL: https://smart-lab.ru/q/AFLT/MSFO/market_cap/ (дата обращения: 03.12.2024).
10. Котировки акций Apple Inc. за прошлые периоды – Investing.com. – URL: <https://ru.investing.com/equities/apple-computer-inc-historical-data> (дата обращения: 03.12.2024).
11. Акции Segezha Group (SGZH) – Investing.com. – URL: <https://ru.investing.com/equities/segezha-group-pao> (дата обращения: 03.12.2024).
12. Акции ПАО «Аэрофлот» – Investing.com. – URL: <https://ru.investing.com/equities/aeroflot> (дата обращения: 03.12.2024).
13. Саати Т.Л. Метод анализа иерархий. – Нью-Йорк: Макгроу-Хилл, 1980.
14. Матишова А.К., Абдуллаева А.М. Выбор оптимального программного продукта для календарного планирования стратегии развития компании // Вестник кибернетики. – 2024. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-optimalnogo-programmnogo-produkta-dlya-kalendarnogo-planirovaniya-strategii-razvitiya-kompanii> (дата обращения: 05.12.2024).
15. Алексеев Г.В., Гонашвили А.С., Кирсанова Н.П., Садыкова Г.И., Холявин И.И., Усманов И.И. Задачи сетевого планирования в экономике, технологии и социологии. – СПб., 2023. – 118 с.
16. Саати Т.Л. Принятие решений с помощью метода аналитической иерархии // Международный журнал наук о сервисе. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 83-98.
17. Форман Э.Х., Гасс С.И. Процесс аналитической иерархии – изложение // Operations Research. – 1995. – Т. 43, № 3. – С. 649-669.
18. Мосолов А.С., Акинин Н.И. Компьютерные технологии и методы проектирования в сфере безопасности : учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2021. – 444 с. – ISBN 978-5-8114-8034-0. – URL: <https://e.lanbook.com/book/183115> (дата обращения: 05.12.2024).
19. Картвелишвили Василий Михайлович, Лебедюк Эдуард Андреевич. Метод анализа иерархий: критерии и практика // Вестник РЭА им. Г.В. Плеханова. – 2013. – №6 (60). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-analiza-ierarhiy-kriterii-i-praktika> (дата обращения: 05.12.2024).
20. Фурцев Д.Г., Коваленко А.Н., Ткаченко Е.А. Об оптимизации на основе метода анализа иерархий // Экономика. Информатика. – 2014. – № 1-1 (172). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsii-na-osnove-metoda-analiza-ierarhiy> (дата обращения: 05.12.2024).

REFERENCES

1. Grafik Apple (AAPL) – Investing.com [Apple (AAPL) chart – Investing.com]. Available at: <https://ru.investing.com/equities/apple-computer-inc-chart> (accessed 03 December 2024).

2. Grafik Segezha Group (SGZH) – Investing.com [Segezha Group (SGZH) chart – Investing.com]. Available at: <https://ru.investing.com/equities/segezha-group-pao-chart> (accessed 03 December 2024).
3. Grafik aktsiy PAO «Aeroflot» – Investing.com [PJSC “Aeroflot” Stock Chart]. Available at: <https://ru.investing.com/equities/aeroflot-chart> (accessed 03 December 2024).
4. Dividendy Apple (AAPL) – Finrange [Apple (AAPL) Dividends – Finrange]. Available at: <https://finrange.com/ru/company/NASDAQ/AAPL/dividends> (accessed 03 December 2024).
5. Dividendy Segezha Group – Upravlyayushchaya kompaniya «DOKhOD» [Segezha Group Dividends – “DOHOD” Management Company]. Available at: <https://www.dohod.ru/ik/analytics/dividend/sgzh> (accessed 03 December 2024).
6. Dividendy PAO «Aeroflot» – Upravlyayushchaya kompaniya «DOKhOD» [Dividends of PJSC “Aeroflot” – “DOHOD” Management Company]. Available at: <https://www.dohod.ru/ik/analytics/dividend/aflt> (accessed 03 December 2024).
7. Kapitalizatsiya Apple (AAPL) – smart-lab [Apple (AAPL) Market Capitalization]. Available at: https://smart-lab.ru/q/AAPL/GAAP/market_cap/ (accessed 03 December 2024).
8. Kapitalizatsiya Segezha Group (SGZH) – smart-lab [Segezha Group (SGZH) Market Capitalization – smart-lab]. Available at: https://smart-lab.ru/q/SGZH/MSFO/market_cap/ (accessed 03 December 2024).
9. Kapitalizatsiya PAO «Aeroflot» (AFLT) – smart-lab [PJSC “Aeroflot” (AFLT) Market Capitalization – smart-lab]. Available at: https://smart-lab.ru/q/AFLT/MSFO/market_cap/ (accessed 03 December 2024).
10. Kotirovki aktsiy Apple Inc. za proshlye periody – Investing.com [Apple Inc. Stock Quotes for Past Periods — Investing.com]. Available at: <https://ru.investing.com/equities/apple-computer-inc-historical-data> (accessed 03 December 2024).
11. Aktsii Segezha Group (SGZH) – Investing.com [Segezha Group (SGZH) Stock – Investing.com]. Available at: <https://ru.investing.com/equities/segezha-group-pao> (accessed 03 December 2024).
12. Aktsii PAO «Aeroflot» – Investing.com [PJSC “Aeroflot” Stock – Investing.com]. Available at: <https://ru.investing.com/equities/aeroflot> (accessed 03 December 2024).
13. Saati T.L. Metod analiza ierarkhiy [The analytic hierarchy process]. N'yu-York: Makgrou-Khill, 1980.
14. Malysheva A.K., Abdullaeva A.M. Vybor optimal'nogo programmnogo produkta dlya kalendarnogo planirovaniya strategii razvitiya kompanii [Choosing the optimal software product for calendar planning of a company's development strategy], *Vestnik kibernetiki* [Bulletin of Cybernetics], 2024, No. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-optimalnogo-programmnogo-produkta-dlya-kalendarnogo-planirovaniya-strategii-razvitiya-kompanii> (accessed 05 December 2024).
15. Alekseev G.V., Gonashvili A.S., Kirsanova N.P., Sadykova G.I., Kholyavin I.I., Usmanov I.I. Zadachi setevogo planirovaniya v ekonomike, tekhnologii i sotsiologii [Tasks of network planning in economics, technology, and sociology]. Saint Petersburg, 2023, 118 p.
16. Saati T.L. Prinyatie resheniy s pomoshch'yu metoda analiticheskoy ierarkhii [Decision making with the analytic hierarchy process], *Mezhdunarodnyy zhurnal nauk o servise* [International Journal of Services Sciences], 2010, Vol. 3, No. 2, pp. 83-98.
17. Forman E.Kh., Gass S.I. Protsess analiticheskoy ierarkhii – izlozhenie [The analytic hierarchy process – an exposition], *Operations Research* [Operations Research], 1995, Vol. 43, No. 3, pp. 649-669.
18. Mosolov A.S., Akinin N.I. Komp'yuternye tekhnologii i metody proektirovaniya v sfere bezopasnosti: uchebnyy dlya vuzov [Computer technologies and design methods in the field of security: a textbook for universities]. Saint Petersburg: Lan', 2021, 444 p. ISBN 978-5-8114-8034-0. Available at: <https://e.lanbook.com/book/183115> (accessed 05 December 2024).
19. Kartvelishvili Vasilii Mikhaylovich, Lebedyuk Eduard Andreevich. Metod analiza ierarkhiy: kriterii i praktika [The analytic hierarchy process: criteria and practice], *Vestnik REA im. G.V. Plekhanova* [Bulletin of G.V. Plekhanov REA], 2013, No. 6 (60). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-analiza-ierarkhiy-kriterii-i-praktika> (accessed 05 December 2024).
20. Furtsev D.G., Kovalenko A.N., Tkachenko E.A. Ob optimizatsii na osnove metoda analiza ierarkhiy [On optimization based on the analytic hierarchy process], *Ekonomika. Informatika* [Economics. Informatics], 2014, No. 1-1 (172). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-optimizatsii-na-osnove-metoda-analiza-ierarkhiy> (accessed 05 December 2024).

Богнюков Александр Алексеевич – Волгоградский государственный технический университет; e-mail: bogniukovv@gmail.com; г. Волгоград, Россия; студент.

Зорькин Дмитрий Юрьевич – Волгоградский государственный технический университет; e-mail: mosh285@gmail.com; г. Волгоград, Россия; преподаватель кафедры ПМ.

Тарасова Ирина Александровна – Волгоградский государственный технический университет; e-mail: irina_a_tarasova@vk.com; г. Волгоград, Россия; зав. кафедрой ПМ; доцент.

Bognyukov Alexander Alekseevich – Volgograd State Technical University; e-mail: bognyukovv@gmail.com; Volgograd, Russia; student.

Zorkin Dmitry Yuryevich – Volgograd State Technical University; e-mail: mosh285@gmail.com; Volgograd, Russia; teacher of PM department.

Tarasova Irina Alexandrovna – Volgograd State Technical University; e-mail: irina_a_tarasova@vk.com; Volgograd, Russia; head of the PM Department; associate professor.

УДК 004.89

DOI 10.18522/2311-3103-2025-1-153-164

С.Л. Беляков, Л.А. Израилев

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ОБОБЩЕНИЯМИ

Основной проблемой при принятии решений в аварийных ситуациях остается достоверность этих решений. Аварийные ситуации в силу своей непредсказуемой и динамичной природы протекания часто обладают неполной и неточной информацией. Использование накопленного опыта позволяет находить достоверные решения, опираясь на известные прецеденты аварийных ситуаций. В качестве инструмента накопления опыта и генерации на его основе решений могут выступать геоинформационные системы (ГИС). Картографическая основа ГИС позволяет анализировать аварийные ситуации, учитывая их пространственно-временные характеристики. Однако, картографическое представление прецедентов с принятыми решениями описывает их слишком узко. Нет понимания того, какие свойства ситуации являются значимыми и можно ли применить решение прецедента в других обстоятельствах. Использование известных образов и их допустимых преобразований, созданных на основе экспертных знаний, способно решить эту проблему. Образ обобщает множество схожих по смыслу прецедентов. Цель такого обобщения заключается в расширении области применения информации из частных наблюдений за счет определения границ допустимых преобразований. Однако необходимость привлечения экспертов для их создания является труднореализуемой задачей, так как каждая ситуация по своему уникальна. Не менее проблематичным остается перенос опыта из одной пространственно-временной области в другую. В данной работе рассматривается подход к автоматическому порождению образов. Предлагается способ создания геоинформационной модели аварийных ситуаций, который включает обобщение прецедентов по общему местоположению. Этот подход направлен на повышение достоверности прогнозирования аварийных ситуаций. Был проведен эксперимент по синтезу образов, основанных на прецедентах дорожно-транспортных происшествий, и оценена их эффективность по сравнению с отдельными прецедентами. Использование разработанного метода автоматической обработки данных для создания образов является актуальным, так как значительно снижает затраты на получение знаний. Применение пространственных обобщений также устраняет необходимость в экспертных знаниях, поскольку формирование наборов прецедентов осуществляется путем анализа их географического расположения.

Геоинформационные системы; прецедентный анализ; аварийные ситуации; опыт; информационная поддержка принятия решений.

S.L. Belyakov, L.A. Izrailev

GEOINFORMATION MODELS OF EMERGENCY SITUATIONS WITH SPATIAL GENERALIZATIONS

The main problem of decision making in emergency situations is the reliability of these decisions. Emergency situations by virtue of its unpredictable and dynamic nature often have incomplete and inaccurate information. The use of accumulated experience allows to find reliable solutions based on known precedents of emergency situations. Geographic information systems (GIS) can act as a tool for accumulating experience and generating solutions based on it. The cartographic basis of GIS allows analyzing emergency situations, taking into account their spatial and temporal characteristics. However, the cartographic representation of precedents with adopted solutions describes them too narrowly. There is no idea what properties of the situation are significant and whether the precedent solution can be applied in other circumstances. The use of known images and their admissible transformations, created on the basis of expert knowledge, can solve this problem. The image generalizes a set of similar precedents. The purpose of such generalization is to expand the area of application of information from private observations by determining the boundaries of permissible transformations. However, the need to attract experts for their creation is a difficult task, since each situation is unique in its own way.