

**М.-Г. М.-Ш. Мирфатуллаев**  
(Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России;  
e-mail: malygin\_com@mail.ru)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ СУБЪЕКТА РФ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Автор предлагает метод, который предусматривает декомпозицию проблемы на более простые составляющие части и дальнейшую обработку последовательности суждений лица, принимающего решения, по парным сравнениям. Суть метода – поэтапное установление приоритетов.*

*Ключевые слова: инвестиционная стратегия, пожарная безопасность, метод анализа иерархий.*

**M.-G. M.-S. Mirfatullaev**

## **APPLICATION OF HIERARCHY ANALYSIS METHOD BY FORMATION OF INVESTMENT STRATEGY OF RUSSIAN FEDERATION SUBJECT IN THE FIRE SAFETY AREA**

*The author proposes a method which involves decomposition of problem on more simple parts and further processing of responsible person opinion sequence by pair comparison. The main point of method is a process of stepwise establishment of priorities.*

*Key word: investment strategy, fire safety, method of hierarchy analysis.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 29 июня 2011 г.

Инвестиционная деятельность субъекта РФ в области пожарной безопасности не может ограничиваться удовлетворением текущих инвестиционных потребностей, определяемых необходимостью замены выбывающих активов или их прироста в связи с происходящими изменениями объема и структуры производственной деятельности субъекта РФ. В настоящее время перспективное планирование инвестиционной деятельности субъекта РФ в области пожарной безопасности следует осуществлять на основе научной методологии, исходя из общих целей стратегии развития региона с учетом потребностей государства в обеспечении пожарной безопасности. Необходимо разработать эффективный инструмент перспективного управления инвестиционной деятельностью в области пожарной безопасности объектов региона, подчиненный реализации целей стратегии развития всего региона в условиях происходящих макроэкономических изменений в экономике субъекта РФ, с учетом особенностей данного региона России и неопределенности, связанной с протеканием рыночных процессов в экономике страны. Таким инструментом является региональная инвестиционная стратегия субъекта РФ в области пожарной безопасности.

Анализ мер по обеспечению пожарной безопасности в Российской Федерации, осуществляемый органами исполнительной власти субъектов РФ и органами местного самоуправления в рамках своих полномочий, в целом свидетель-

ствуется о недостаточной координации, необходимой для развития сил и средств обнаружения и тушения пожаров. Недостаточное информационное, техническое и технологическое обеспечение служб экстренного реагирования не позволяет обеспечить устойчивое снижение основных показателей риска пожаров для населения, территорий и конкретных объектов.

Особого внимания требует обеспечение пожарной безопасности объектов, критически важных для национальной безопасности Российской Федерации.

Для снижения среднего времени оперативного реагирования пожарной охраны требуется реализация комплекса мер, включающих создание интегрированных систем мониторинга пожарной безопасности объектов и информационно-навигационных систем, оснащение противопожарных служб современными средствами связи для обеспечения координации их деятельности, межведомственного взаимодействия при тушении пожаров и спасении людей.

Основными направлениями инвестиционной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности являются:

- качественное повышение уровня обеспечения пожарной безопасности населения, территорий и объектов, критически важных для национальной безопасности Российской Федерации;
- оптимизация финансовых и материальных ресурсов, используемых для ликвидации пожаров;
- повышение эффективности мероприятий по минимизации риска пожаров, угроз жизни и здоровью людей.

Основными направлениями инвестиционной деятельности, которые могут обеспечить уменьшение рисков пожаров в конкретном субъекте Российской Федерации, являются:

- оптимизация финансовых и материальных ресурсов федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов РФ и организаций, направляемых на решение проблем пожарной безопасности;
- строительство и оснащение современными техническими средствами пожарных депо в населенных пунктах, на объектах, критически важных для национальной безопасности, находящихся на территории субъекта РФ;
- развитие материально-технической базы и системы подготовки подразделений пожарной охраны;
- развитие добровольной пожарной охраны;
- развитие экспериментальной базы пожарно-технических научно-исследовательских и образовательных учреждений в области обеспечения пожарной безопасности;
- разработка и внедрение новых инновационных технологий в области обнаружения пожаров и оповещения населения, а также создания средств спасения людей на пожарах и средств тушения пожаров;
- реализация приоритетных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности образовательных учреждений, учреждений социальной защиты и здравоохранения.

Не зря приоритетным направлением федеральной целевой программы "Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2012 года" [1] (далее – Программа) является разработка инвестиционных механизмов институтов бизнеса и гражданского общества в реализации конкретных проектов и программ безопасного развития. Программа направлена на продвижение и ускоренную реализацию современных технологий обеспечения пожарной безопасности.

Реализация Программы на региональном уровне предполагает [1]:

– заключение с субъектами Российской Федерации соглашений о разработке региональных целевых программ в области обеспечения пожарной безопасности, а с организациями – соглашений о выполнении отдельных мероприятий в этой области, способствующих достижению целей Программы;

– утверждение в установленном порядке региональных целевых программ в области обеспечения пожарной безопасности или планов реализации отдельных мероприятий с учетом финансирования за счет средств бюджетов субъектов Российской Федерации и организаций;

– методическое сопровождение (при необходимости) мероприятий региональных целевых программ в области обеспечения пожарной безопасности или отдельных мероприятий в субъектах Российской Федерации со стороны государственных заказчиков Программы.

Любая проблема, в том числе и проблема инвестиционной деятельности в области пожарной безопасности субъекта РФ, не существует изолированно. Проблемы не могут быть выделены из целого, объяснены по отдельности, а затем интегрированы для объяснения целого. Большинство проблем имеют много решений, которые служат многим назначениям. Такие проблемы классифицируются как сложные.

При решении *сложных проблем* рассматривается взаимозависимость различных объектов, действующих вместе. Сложность проблемы зависит как от числа взаимодействующих компонент, так и от свойств новых элементов, являющихся результатом взаимодействия существующих компонент.

*Метод анализа иерархий* является систематической процедурой для иерархического представления элементов, определяющей суть любой проблемы. Метод состоит в *декомпозиции проблемы* на более простые составляющие части и дальнейшей обработке последовательности суждений лица, принимающего решения (ЛПР), *по парным сравнениям*. В результате может быть выражена относительная степень (интенсивность) взаимодействия элементов в иерархии. Эти суждения затем выражаются численно. Метод анализа иерархий включает процедуры синтеза множественных суждений, получения приоритетности критериев и нахождения альтернативных решений. Полученные значения являются оценками в шкале отношений и относятся к жестким оценкам.

Решение проблемы – это процесс *поэтапного установления приоритетов*. На первом этапе выявляются наиболее важные элементы проблемы, на втором – наилучший способ проверки наблюдений, испытания и оценки элементов; следующим этапом может быть выработка способа применения решения и оценка его качества.

### 1 этап. Выявление идентичности и декомпозиции

Принцип идентичности и декомпозиции предусматривает структурирование проблем в виде иерархии или сети. В наиболее элементарном виде иерархия строится с вершины (целей), через промежуточные уровни (критерии, от которых зависят последующие уровни) к самому низкому уровню (который обычно является перечнем альтернатив). Иерархия считается полной, если каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня.

### 2 этап. Принцип дискриминации и сравнительных суждений

После иерархического или сетевого воспроизведения проблемы устанавливаются приоритеты критериев и оценивается каждая из альтернатив по критериям с целью выявить самую важную альтернативу. Элементы задачи сравниваются попарно по отношению к их воздействию (весу или интенсивности) на общую для них характеристику.

Путем сравнения набора составляющих проблемы друг с другом получается квадратная матрица:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & a_{it} & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}.$$

Очевидно, что эта матрица имеет свойства обратной симметричности:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \quad (1)$$

где индексы  $i$  и  $j$  относятся к строке и столбцу соответственно.

Пусть  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  – множество из  $n$  элементов и  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  – соответственно их веса (или интенсивности). Сравнивается вес (или интенсивность), каждого элемента с весом (или интенсивностью) любого другого элемента множества по отношению к общему для них свойству или цели.

Сравнение весов можно представить следующим образом:

	1	2	...	$n$
1				
2				
...				
$n$				

После иерархического представления проблемы составляется матрица сравнения относительной важности критериев на втором уровне по отношению к общей цели на первом уровне. Подобные матрицы составляются для парных сравнений каждой альтернативы на третьем уровне по отношению к критериям второго уровня и т. д. до нижнего уровня. Количество матриц суждений на каждом уровне будет равняться числу элементов вышестоящего уровня, а размерность матриц будет соответствовать числу попарно сравниваемых элементов данного уровня.

Для проведения субъективных парных сравнений разработана шкала относительной важности (табл. 1). Следует отметить, что сравнивается относительная важность левых элементов матрицы с элементами наверху. Поэтому диагональ матрицы содержит только единицы.

Таблица 1

**Шкала выявления относительной важности сравниваемых элементов  
одного уровня иерархии**

<b>Интенсивность относительной важности</b>	<b>Определение</b>	<b>Объяснения</b>
1	Равная важность	Равный вклад двух видов деятельности в цель
3	Умеренное превосходство одного над другим	Опыт и суждения дают легкое превосходство одному виду деятельности над другим
5	Существенное или сильное превосходство	Опыт и суждения дают сильное превосходство одному виду деятельности над другим
7	Значительное превосходство	Одному виду деятельности даётся настолько сильное превосходство, что оно становится практически значительным
9	Очень сильное превосходство	Очевидность превосходства одного вида над другим подтверждается наиболее сильно
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями	Применяются в компромиссном случае
Обратные величины приведенных выше чисел	Если при сравнении одного вида деятельности с другим получено одно из вышеуказанных чисел, то при сравнении второго вида деятельности с первым получим вышеуказанную величину	

### 3 этап. Синтез приоритетов

Данный этап включает пять процедур:

#### 3.1. Вычисление локальных приоритетов

Из группы матриц парных сравнений формируется набор локальных приоритетов, которые выражают относительное влияние множества элементов на элемент вышестоящего уровня. Относительная сила, величина, ценность, желательность или вероятность каждого отдельного объекта инвестиций в области пожарной безопасности – через "решение" матриц, каждая из которых обладает обратносимметричными свойствами. Для этого вычисляется множество собственных векторов. Многие авторы в качестве способа приближения к приоритетам рекомендуют использовать геометрическое среднее, вычисленное следующим образом. Необходимо перемножить элементы в каждой строке и извлечь корень степени, равной числу элементов. Затем полученный столбец чисел нормализуется делением каждого числа на сумму всех чисел. В результате, получается собственный вектор приоритетов. Эта процедура может быть проиллюстрирована на примере матрицы суждений 4-го порядка следующим образом:

$$\begin{array}{cccccccc} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & & & \\ A_1 & \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \frac{w_1}{w_4} & \sqrt[4]{\frac{w_1}{w_1} \times \frac{w_1}{w_2} \times \frac{w_1}{w_3} \times \frac{w_1}{w_4}} = a & \frac{a}{a+b+c+d} = x_1 & \\ A_2 & \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \frac{w_2}{w_4} & \sqrt[4]{\frac{w_2}{w_1} \times \frac{w_2}{w_2} \times \frac{w_2}{w_3} \times \frac{w_2}{w_4}} = b & \frac{b}{a+b+c+d} = x_2 & \\ A_3 & \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \frac{w_3}{w_4} & \sqrt[4]{\frac{w_3}{w_1} \times \frac{w_3}{w_2} \times \frac{w_3}{w_3} \times \frac{w_3}{w_4}} = c & \frac{c}{a+b+c+d} = x_3 & \\ A_4 & \frac{w_4}{w_1} & \frac{w_4}{w_2} & \frac{w_4}{w_3} & \frac{w_4}{w_4} & \sqrt[4]{\frac{w_4}{w_1} \times \frac{w_4}{w_2} \times \frac{w_4}{w_3} \times \frac{w_4}{w_4}} = d & \frac{d}{a+b+c+d} = x_4 & \end{array} \quad (2)$$

Другой способ вычисления приоритетов каждого отдельного элемента заключается в нормализации элементов каждого столбца матрицы и затем в усреднении каждой строки. Существует множество других способов аппроксимации приоритетов. При использовании любого метода аппроксимации существует опасность изменения порядка ранжирования, что приводит к нежелательным результатам. Однако преимущество подхода, основанного на собственном векторе, состоит в том, что, во-первых, используется информация, которая содержится в любой, даже несогласованной матрице, и, во-вторых, для вычисления приоритетов не производятся арифметические преобразования данных.

### 3.2. Вычисление собственного значения матрицы суждений

Сначала суммируется каждый столбец матрицы суждений, затем сумма первого столбца умножается на величину первой компоненты нормализованного вектора приоритетов, сумма второго столбца – на вторую компоненту и т. д., затем полученные числа суммируются. Таким образом, можно получить наибольшее собственное значение каждой матрицы суждений.

### 3.3. Определение индекса согласованности матрицы суждений

Согласованность может оцениваться следующим образом [2]. Умножив матрицу сравнений справа на полученную оценку вектора решения, получим новый вектор:

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ w_1 & w_2 & & w_n \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ w_1 & w_2 & & w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \\ w_1 & w_2 & & w_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Полученный вектор можно записать следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} x_1 + \frac{w_1}{w_2} x_2 + \dots + \frac{w_1}{w_n} x_n = Y_1 \\ \frac{w_2}{w_1} x_1 + \frac{w_2}{w_2} x_2 + \dots + \frac{w_2}{w_n} x_n = Y_2 \\ \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} x_1 + \frac{w_n}{w_2} x_2 + \dots + \frac{w_n}{w_n} x_n = Y_n \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Проведя арифметические преобразования, можно записать:

$$\left( \frac{x_1}{w_1} + \frac{x_2}{w_2} + \dots + \frac{x_n}{w_n} \right) \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Следовательно

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Алгебраически задача в случае согласованности заключается в решении уравнения

$$A \times w = n \times w, \quad A = \frac{w_i}{w_j}, \quad (7)$$

а общая задача с обратносимметричными суждениями заключается в решении уравнения

$$A' \times w' = \lambda_{\max} \times w', \quad A' = (a_{ij}), \quad (8)$$

где  $\lambda_{\max}$  – наибольшее собственное значение матрицы суждений  $A$ .

Разделив первую компоненту вектора  $Y$  на первую компоненту оценки вектора решения, вторую компоненту вектора  $Y$  на вторую компоненту оценки вектора решения и т. д., определим ещё один вектор:

$$\left( \frac{Y_1}{x_1} + \frac{Y_2}{x_2} + \dots + \frac{Y_n}{x_n} \right)^T. \quad (9)$$

Разделив сумму компонент этого вектора на число компонент, найдем приближение к числу  $\lambda_{\max}$  (называемому максимальным или главным собственным значением), используемому для оценки согласованности, отражающей пропорциональность предпочтений. Чем ближе  $\lambda_{\max}$  к  $n$  (числу объектов или видов действия в матрице), тем более согласован результат.

Отклонение от согласованности может быть выражено индексом согласованности (ИС):

$$ИС = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1), \quad (10)$$

где  $\lambda_{\max}$  – наибольшее собственное значение матрицы суждений;

$n$  – число сравниваемых элементов.

Для обратносимметричной матрицы  $\lambda_{\max} \geq n$ .

Если разделить  $ИС$  на случайную согласованность матрицы того же порядка, получим *отношение согласованности (ОС)*. Величина ОС не должна превышать 0,1, чтобы быть приемлемой.

### 3.4. Иерархический синтез приоритетов

Приоритеты синтезируются, начиная со второго уровня вниз, следующим образом. Во-первых, составляются матрицы, в которых локальные приоритеты располагаются по отношению к каждому критерию, которые расположены в верхней строке. Во-вторых, каждый столбец векторов умножается на приоритет соответствующего критерия, и результат складывается вдоль каждой строки. Таким образом, рассчитываются обобщенные или глобальные приоритеты.

### 3.5. Определение индекса согласованности всей иерархии

Для нахождения согласованности всей иерархии каждый индекс согласованности умножается на приоритет соответствующего критерия и полученные числа суммируются. Затем результат делится на такое же выражение, но со случайным индексом согласованности, соответствующим размерам каждой взвешенной приоритетами матрицы. Приемлемым является значение не более 0,1. В противном случае качество суждений следует улучшить.

Идея иерархии может быть использована в расчленении рассматриваемых элементов на большие группы или кластеры, которые далее расчленяются на меньшие кластеры и т. д. Тогда целью будет получение приоритетов всех элементов посредством группирования. Это более эффективный процесс, чем обработка всех элементов совместно.

При исследовании большого числа элементов, приходящихся на один из уровней иерархии, рекомендуется группировка элементов в кластеры в соответствии с их относительной важностью. Таким образом, можно получить кластер самых важных (самых подобных) элементов, другой кластер – элементов умеренной важности, и третий – элементов с малой важностью. Затем сравниваются попарно относительные воздействия кластеров на соответствующие критерии из расположенного выше уровня. Группирование в кластеры может различаться от критерия к критерию. После анализа кластеров элементы в каждом кластере попарно сравниваются по их относительной важности в этом кластере. Если их слишком много, то они вновь могут быть сгруппированы в кластере. Таким образом, каждый элемент принадлежит нескольким кластерам и получает несколько весов из различных кластеров [2].

Среди других методов сравнений объектов для выявления индивидуальных и групповых предпочтений можно выделить следующие:

- матричное с указанием превосходства сравниваемых элементов;
- векторное;
- матричное с полным упорядочиванием элементов.

В [3] метод анализа иерархий сравнивается с методом Коггера и Ю. Методом Коггера и Ю решение находится быстрее, однако при этом нарушается свойство обратной симметричности матрицы парных сравнений.

Метод анализа иерархий, по сравнению с прочими многокритериальными методами, обладает следующими преимуществами:

1. Возможность структурирования проблемы формирования инвестиционной стратегии субъекта РФ в области пожарной безопасности в иерархию позволяет использовать следующие преимущества иерархий:

а) иерархическое представление системы можно использовать для описания влияния изменений приоритетов элементов верхних уровней на приоритеты нижних уровней;

б) иерархии предоставляют более подробную информацию о структуре и функциях системы на нижних уровнях;

в) иерархии устойчивы и гибки: устойчивы в том смысле, что малые изменения вызывают малый эффект, а гибкие в том смысле, что добавления к хорошо структурированной иерархии не разрушают её характеристик.

2. Не требуется допущения о согласованности в предпочтениях, в то время как построение функции полезности при использовании теории полезности требует транзитивности отношения предпочтений.

3. Возмущение суждения в пределах иерархии для получения нового набора приоритетов менее затруднительно, чем построение функции полезности для каждого периода времени.

4. Шкала 1-9, используемая для выявления относительной важности сравниваемых элементов одного уровня иерархии, наиболее полно соответствует интуиции ЛПР, по следующим причинам:

а) суждения лица, принимающего решение, относительно превосходства сравниваемых элементов одного уровня иерархии классифицируются в трихотомию зон: неприятия, безразличия и принятия. Для более тонкой классификации в каждую из этих зон заложен принцип трихотомии: деление на низкую, умеренную и высокую степени. Таким образом, получается девять оттенков значимых особенностей;

б) психологический предел  $7 \pm 2$  предметов при одновременном сравнении подтверждает, что если взять  $7 \pm 2$  отдельных предметов (предметы близки относительно свойства, используемого для сравнения, и слегка отличаются друг от друга), то понадобится 9 точек, чтобы различить их.

Таким образом, метод анализа иерархий учитывает как интересы лиц, которые воздействуют и находятся под воздействием конечного результата планирования, так и сложность прогнозирования экономических результатов стратегического планирования в области пожарной безопасности в субъекте РФ. Поэтому для решения проблемы формирования инвестиционной стратегии субъекта РФ в области пожарной безопасности и предложен метод анализа иерархий как системный подход к решению сложных проблем.

### Литература

1. *Постановление* Правительства РФ от 29 декабря 2007 г. № 972 "О федеральной целевой программе "Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2012 года"" (с изменениями от 8 декабря 2008 г.).

2. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. М.: "Радио и связь", 1993. 320 с.

3. *Ногин В.Д., Чистяков С.В.* Применение линейной алгебры в принятии решений: Учеб. пособие. С.-Пб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. 40 с.