

Метод анализа иерархий Т. Саати
Технология принятия решений

Существует множество информационных технологий, позволяющих помочь в решении проблем, связанных с процессами принятия решений в различных предметных областях. В частности, в настоящее время широко распространены системы поддержки принятия решений на основе метода анализа иерархий, разработанного американским ученым Т. Саати.

Задачи принятия решения

Зачастую экономические, медицинские, политические, социальные, управленческие и другие типы проблем имеют несколько вариантов решений. При этом лицо, принимающее решение (ЛПР), выбирая одно решение из множества возможных, руководствуется только интуитивными представлениями. В этом случае принятие решения имеет неопределенный характер, что может отразиться на качестве принимаемых решений. В то же время процессы принятия решений в различных сферах деятельности во многом аналогичны.

Любую задачу принятия решения можно представить следующим образом.

Пусть имеются:

1. несколько однотипных альтернатив (объектов, действий и т.п.),
2. главный критерий (главная цель) сравнения альтернатив,
3. несколько групп однотипных факторов (частных критериев, объектов, действий и т.п.), влияющих известным образом на отбор альтернатив.

Требуется каждой альтернативе поставить в соответствие некоторое число — приоритет. Чем более предпочтительна альтернатива по избранному критерию, тем выше ее приоритет. Принятие решений осуществляется в соответствии с полученным рейтингом альтернатив.

Задачи принятия решения имеют две разновидности:

1. **Задача выбора** — требуется выбрать или отвергнуть несколько вариантов из группы возможных.
2. **Задача распределения ресурсов** - каждый из рассматриваемых вариантов учитывается в соответствии с его приоритетом.

Типичные варианты задачи принятия решения

Задачи принятия решений чрезвычайно остро стоят перед специалистами, которым требуется делать выбор наилучшего (наиболее безрискового, дешевого, качественного и т.д.) решения из множества существующих альтернатив:

- работниками управления;
- экономистами;

- финансистами;
- социологами;
- политиками;
- консультантами;
- оценщиками;
- работниками здравоохранения;
- военными;
- психологами;
- работниками социальной сферы;
- научными работниками.

Примеры типичных задач принятия решения:

Рейтинг клиентов: какой из клиентов чаще покупает товары фирмы, кто из потенциальных клиентов является наиболее перспективным?

Анализ рисков: вложения в какой из рассматриваемых проектов наименее рискованны?

Распределение ресурсов. Например, руководство завода рассматривает перспективные проекты развития. Для принятия решения создается модель рейтингования путем приписывания каждому проекту доли от единицы. Эти доли показывают, какой процент от имеющихся ресурсов (сырья, денег и т.п.) требуется вложить в каждый проект.

Планирование от достигнутого. Исходя из имеющегося: основных фондов, кадров, сырья, инфраструктуры, партнеров, конкурентов, конъюнктуры, влияния государства, имеющейся финансовой поддержки составляется рейтинг возможных положений предприятия через год при условии, что все останется «как сейчас»: банкротство, бум основного производства, перепрофилирование, увеличение экспорта, захват или потеря рынков и т.п. Когда рейтинг известен, принимаются меры по поддержанию позитивных и подавлению негативных тенденций.

Планирование желаемого будущего. Предполагается, что рейтинг наиболее перспективных сценариев развития региона известен. Руководством составляется рейтинг действий, которые надо предпринять, чтобы наиболее перспективные сценарии осуществились.

Комбинированное планирование для определения приоритетов деятельности, позволяющей сблизить результаты планирования от достигнутого и планирования желаемого будущего.

Выбор оптимальной стратегии - комплекс задач по планированию, анализу рисков, распределению ресурсов и т.д.

Анализ эффективность-стоимость.

Пример: при исследовании возможностей разработки полезных ископаемых региона получены рейтинги: а) по критерию *«высокая эффективность добычи»*: уголь – 0,45; железная руда – 0,3; фосфориты – 0,15; известняк – 0,1; б) по критерию *«низкая стоимость добычи»*: фосфориты – 0,5; железная руда – 0,3; известняк – 0,1; уголь – 0,1. Отношение относительной оценки эффективности к стоимости дает рейтинг по критерию *«эффективность-стоимость»*: уголь – 4,5; железная руда – 1; известняк – 1; фосфориты – 0,3. На основе полученных данных должно быть принято решение разрабатывать уголь и руду, не разрабатывать известняк и фосфориты.

Принятие кадровых решений: составляется рейтинг сотрудников фирмы по критерию *«полезность за последний месяц»*. Критерий складывается из таких факторов, как компетентность, коммуникабельность, участие в проектах, принесших прибыль, и т.п. Лидеры рейтинга поощряются.

Разрешение конфликтов, например, в случаях, когда члены руководства предприятия по-разному оценивают ситуацию, склоняются к реализации разных проектов и не могут договориться. С учетом специфики деятельности предприятия составляется рейтинг проектов, по нему выбирается проект устраивающий всех. При составлении рейтинга в данном случае особенно важно то, что происходит обмен мнениями, спор переходит в конструктивное русло.

Поиск существенных факторов. Предполагается, что рейтинг составлен, из него удаляются некоторые факторы. Если при этом рейтинг принципиально не изменился, то отброшенные факторы считаются несущественными. Задача определения существенных факторов особенно актуальна при решении масштабных проблем и проблем стратегического планирования.

Диагностика возможных сценариев развития ситуации.

Построение зависимостей. Например, имеется прогноз рейтинга ценных бумаг на начало каждой из следующих двадцати недель. Тогда для каждого вида ценных бумаг можно нарисовать график прогнозируемых изменений ее рейтинга относительно других бумаг по двадцати позициям. По графику определяется тенденция развития: рост, падение, колебания, когда рост и когда падение. Затем принимается решение о стиле игры в данном секторе рынка акций.

Можно привести и другие примеры задач, для решения которых успешно применяются методы поддержки принятия решений на основе рейтингования альтернатив, наиболее эффективным из которых считается метод анализа иерархий.

Аналогии

1 Аналогии с теорией вероятностей

Приоритеты альтернатив (положительные числа с суммой равной единице) можно отождествить с вероятностями выбора альтернатив. Приоритеты факторов, влияющих на рейтинг альтернатив, можно считать вероятностями гипотез. При таком подходе способ вычисления приоритетов альтернатив аналогичен применению формулы полной вероятности.

При работе с моделями, учитывающими наличие обратных связей, можно установить многочисленные терминологические и идеологические соответствия между методом анализа иерархий и марковскими случайными процессами с дискретным набором состояний и дискретным временем (марковскими цепями).

2 Аналогии с теорией графов

Структура ситуации принятия решения представляется в методе анализа иерархий в виде направленного графа. Узлами графа служат альтернативы, главный критерий рейтингования альтернатив, факторы, влияющие на рейтинг альтернатив. Направленными дугами графа являются связи, указывающие на влияния одних узлов, на приоритеты других узлов.

3 Аналогии с теорией неотрицательных матриц

Расчеты рейтингов, проводимые в методе анализа иерархий, математически основываются на методах расчетов собственных векторов для неотрицательных (и в частности, для стохастических) матриц.

4 Аналогии с экспертными системами

Технологии принятия решения с помощью экспертных систем, основанных на байесовском способе логического вывода, являются частным случаем применения метода анализа иерархий.

5 Аналогии с идеологией искусственных нейронных сетей

В частности, обратная задача в методе анализа иерархий и проведение процедуры согласования аналогичны обучению нейронной сети.

6 Аналогии с синергетикой

Модели, строящиеся в методе анализа иерархий, имеют кластерную структуру. Кластеры, по сути, являются элементарными иерархическими структурами. В пределах кластеров метод оперирует понятием вектора приоритетов. При соединении кластеров в

систему рейтинг альтернатив конструируется на основе векторов приоритетов в отдельных кластерах. Сложные модели часто демонстрируют «голографический» эффект. Даже при удалении части структуры итоговый рейтинг в целом сохраняется.

Возможности метода анализа иерархий

Метод анализа иерархий – методологическая основа для решения задач выбора альтернатив посредством их многокритериального рейтингования. Основное применение метода – поддержка принятия решений посредством иерархической композиции задачи и рейтингования альтернативных решений.

Возможности метода

1. Метод позволяет провести анализ проблемы

При этом проблема принятия решения представляется в виде иерархически упорядоченных параметров, к которым относятся:

- а) главная цель (главный критерий) рейтингования возможных решений;
- б) несколько групп (уровней) однотипных факторов, так или иначе влияющих на рейтинг;
- в) группа возможных решений;
- г) система связей, указывающих на взаимное влияние факторов и решений.

Предполагается также, что для всех перечисленных «узлов» проблемы указано их взаимное влияние друг на друга (связи друг с другом).

2. Метод позволяет провести сбор данных по проблеме.

В соответствии с результатами иерархической декомпозиции модель ситуации принятия решения имеет кластерную структуру. Набор возможных решений и все факторы, влияющие на приоритеты решений, разбиваются на относительно небольшие группы – кластеры. Разработанная в методе анализа иерархий процедура парных сравнений позволяет определить приоритеты объектов, входящих в каждый кластер. Для этого используется метод собственного вектора. В итоге сложная проблема сбора данных разбивается на ряд более простых, решаемых для кластеров.

3. Метод позволяет оценить противоречивость данных и минимизировать ее

С этой целью в методе анализа иерархий разработаны процедуры согласования. В частности, имеется возможность определять наиболее противоречивые данные, что позволяет выявить наименее ясные участки проблемы и организовать более тщательное выборочное обдумывание проблемы.

4. Метод позволяет провести синтез проблемы принятия решения

После того, как проведен анализ проблемы и собраны данные по всем кластерам, по специальному алгоритму рассчитывается итоговый рейтинг - набор приоритетов

альтернативных решений. Свойства этого рейтинга позволяют осуществлять поддержку принятия решений. Как правило, принимается решение, имеющее наибольший приоритет. Кроме того, метод позволяет построить рейтинги для групп факторов, что позволяет оценить важность каждого фактора.

5. Метод позволяет организовать обсуждение проблемы, способствует достижению консенсуса

Мнения, возникающие при обсуждении проблемы принятия решения, сами могут рассматриваться в качестве возможных решений. Поэтому метод анализа иерархии можно применять для определения важности учета мнения каждого участника обсуждения.

6. Метод позволяет оценить важность учета каждого решения и важность учета каждого фактора, влияющего на приоритеты решений

В соответствии с формулировкой задачи принятия решения величина приоритета напрямую связана с оптимальностью решения. Поэтому решения с низкими приоритетами отвергаются как несущественные. Как отмечено выше, метод позволяет оценивать приоритеты факторов. Поэтому, если при исключении некоторого фактора приоритеты решений изменяются незначительно, такой фактор можно считать несущественным для рассматриваемой задачи.

7. Метод позволяет оценить устойчивость принимаемого решения

Принимаемое решение можно считать обоснованным лишь при условии, что неточность данных или неточность структуры модели ситуации принятия решения не оказывают существенного влияния на рейтинг альтернативных решений.

Требования к обобщенному методу принятия решений

Процессы принятия решений в различных сферах деятельности и сопутствующие им проблемы во многом аналогичны. Обобщая опыт принятия решений в экономике, политике, на производстве и в других сферах человеческой деятельности, можно сформулировать ряд требований к свойствам метода, призванного обеспечить поддержку процесса принятия решения.

1. Метод должен соответствовать естественному ходу человеческого мышления.

2. Метод должен служить универсальной систематической основой принятия решения, позволяющей ставить процесс принятия решений на поток.

3. Метод должен позволять решать проблему принятия решений с учетом ее реальной сложности. Как правило, применение традиционных аналитических технологий невозможно без различных допущений, упрощающих ситуацию.

4. Метод должен учитывать, что, как правило, имеется множество мнений и стилей принятия решения. В процессе выработки единого решения возможны конфликты, следовательно, метод должен включать средства достижения согласия.

5. Метод должен учитывать, что часто (особенно для масштабных задач) имеется множество вариантов решений. Несистематический процесс принятия решений несет неопределенность, сказывающуюся на качестве решений. Кроме того, для выбора лучшего решения далеко не всегда возможно построить логическую цепочку рассуждений, позволяющую из двух вариантов выбрать один единственно верный. Поэтому для обеспечения ясности необходим обоснованный механизм количественного ранжирования (установки приоритетов) возможных вариантов решений.

6. Метод должен учитывать как имеющуюся количественную, так и качественную информацию о предпочтениях лица принимающего решения (нравится – не нравится, лучше – хуже и т.п.). В связи с этим может быть полезным включение процедуры парных сравнений.

Перечисленным требованиям во многом удовлетворяет метод анализа иерархий.

Преимущества и недостатки метода

В рамках метода анализа иерархий нет общих правил для формирования структуры модели принятия решения. Это является отражением реальной ситуации принятия решения, поскольку, как правило, для одной и той же проблемы имеется целый спектр мнений. Метод позволяет учесть данное обстоятельство с помощью построения дополнительной модели для согласования различных мнений, посредством определения их приоритетов. Таким образом, метод анализа иерархий позволяет учитывать «человеческий фактор» при подготовке принятия решения. Это одно из важных достоинств данного метода перед другими методами принятия решений.

Формирование структуры модели принятия решения в методе анализа иерархий является достаточно трудоемким процессом. Однако в итоге удастся получить детальное представление о том, как именно взаимодействуют факторы, влияющие на приоритеты альтернативных решений, и сами решения; как именно формируются рейтинги возможных решений и рейтинги, отражающие важность факторов. Процедуры расчетов рейтингов в методе анализа иерархий достаточно просты, что выгодно отличает данный метод от других методов принятия решений.

Сбор данных для поддержки принятия решения осуществляется главным образом с помощью процедуры парных сравнений, результаты которых могут быть противоречивыми. Метод анализа иерархий предоставляет большие возможности для выявления противоречий в данных. При этом возникает необходимость пересмотра

данных для минимизации противоречий. Процедура парных сравнений и процесс пересмотра результатов сравнений для минимизации противоречий часто являются трудоемкими. Однако в итоге лицо, принимающее решение, приобретает уверенность, что используемые данные являются вполне осмысленными.

В рамках метода анализа иерархий нет средств для проверки достоверности данных. Это существенный недостаток, ограничивающий возможности применения метода. Однако метод применяется главным образом в тех случаях, когда в принципе не может быть объективных данных, а основными мотивами для принятия решения являются предпочтения людей. При этом процедура парных сравнений для сбора данных практически не имеет достойных альтернатив. Если сбор данных проведен с помощью опытных экспертов и в них нет существенных противоречий, то качество таких данных признается удовлетворительным.

Метод является универсальным, схема его применения не зависит от сферы деятельности, в которой принимается решение.

Работа по подготовке принятия решений часто является слишком трудоемкой для одного человека. Модель, составленная с помощью метода анализа иерархий, всегда имеет кластерную структуру. Применение метода позволяет разбить большую задачу, на ряд малых самостоятельных задач. Благодаря этому для подготовки принятия решения можно привлечь экспертов, работающих независимо друг от друга над локальными задачами. При этом эксперты могут ничего не знать о характере принимаемого решения, благодаря чему, в частности, удастся сохранить в тайне информацию о подготовке решения.

Метод анализа иерархий дает только способ ранжирования альтернатив, но не имеет внутренних средств для интерпретации рейтингов, т.е. считается, что человек, принимающий решение, зная рейтинг возможных вариантов решения, должен в зависимости от ситуации сам сделать вывод. Этот факт можно отнести к недостаткам метода.

Метод анализа иерархий может служить надстройкой для других методов, призванных решать плохо формализованные задачи, где более адекватно подходят человеческие опыт и интуиция, чем сложные математические расчеты. Метод дает удобные средства учета экспертной информации для решения различных задач.

Метод отражает естественный ход человеческого мышления и дает более общий подход, чем, например, метод логических цепей. Метод анализа иерархий дает не только способ выявления наиболее предпочтительного решения, но и позволяет количественно выразить степень предпочтительности посредством рейтингования. Это способствует

полному и адекватному выявлению предпочтений лица, принимающего решение. Кроме того, оценка меры противоречивости использованных данных позволяет установить степень доверия к полученному результату.

Смежные научные разделы

Метод анализа иерархий представляет собой междисциплинарную область науки. Обоснование вычислительных процедур метода проводится с помощью теории неотрицательных матриц. Основным инструментом для сбора данных, благодаря которому метод практически не имеет аналогов при работе с качественной информацией, является процедура парных сравнений. Психологические обоснования шкал сравнений основаны на результатах исследований стимулов и реакций.

Анализ структуры модели, которой оперирует метод анализа иерархий, проводится с помощью процедур, разработанных в теории графов. При проведении процедуры согласования и при решении обратной задачи используются методы оптимизации, в частности, нелинейного программирования.

Сопутствующие задачи

Формулировка задачи принятия решения является довольно обобщенной. Для реального процесса подготовки принятия решения самостоятельный интерес представляют также следующие задачи.

1. Выявление наиболее противоречивых этапов создания модели поддержки принятия решения. Для этого разработанную модель анализируют по следующим вопросам:

- а) является ли рассматриваемый набор решений полным;
- б) учтены ли все группы факторов, влияющих на выбор наиболее приоритетного решения;
- в) определены ли все существенные влияния главного критерия, факторов и альтернатив друг на друга;
- г) известны ли сравнительные оценки того, как сильно влияют главный критерий, факторы и альтернативы друг на друга, имеются ли противоречия в оценках (какова согласованность сравнений);
- д) имеются ли альтернативные мнения по рассматриваемой проблеме, насколько они различаются.

2. Разбиение большой задачи о принятии решения на ряд малых задач и проведение их анализа, что позволяет распределить работу по подготовке принятия решения.

Представление в понятной форме схемы взаимодействия факторов, влияющих на формирование приоритетов решений и самих решений.

3. Оценка и минимизация противоречивости данных, используемых для определения приоритетов рассматриваемых решений.

4. Определение предварительных условий, при которых по найденному рейтингу приоритетов возможных решений можно сделать выбор наилучшего решения.

5. Выявление наиболее и наименее существенных факторов, влияющих на выбор решения. Это важно при рассмотрении проблем большого масштаба и проблем стратегического планирования.

6. Оценка устойчивости результатов, полученных в результате применения метода анализа иерархий. В реальной ситуации практически невозможно гарантировать, что имеющиеся данные или представления о проблеме являются абсолютно точными. Поэтому необходима проверка, в какой мере изменятся приоритеты решений, если данные или схема принятия решения претерпят незначительные изменения.

7. Выбор наилучшего решения при наличии нескольких эффективных схем принятия решения и нескольких наборов правдоподобных данных.

8. Численная обработка имеющейся качественной информации.

С необходимостью решения перечисленных выше и ряда других задач связаны возможности метода анализа иерархий.

Сопутствующие проблемы

Задаче принятия решения часто сопутствует проблем, решить которые также позволяет метод анализа иерархий, в то время как применение других методов поддержки принятия решения может оказаться неэффективным.

Типичные сопутствующие задачи:

1. Полный набор решений, которые действительно необходимо учитывать, не известен. Неизвестным также может оказаться полный набор факторов, ощутимо влияющих на рейтинг альтернативных решений.

Эта проблема особенно актуальна при принятии стратегических долгосрочных решений. С течением времени малозначительные на данный момент времени факторы и альтернативы могут стать важнейшими, и наоборот, то, что важно в настоящий момент, может оказаться незначительным впоследствии. Поэтому важно выявление существенных элементов рассматриваемой проблемы.

2. Наличие множества альтернатив и факторов, влияющих на их отбор. При этом выявление существенных элементов может не решать проблему полностью. В таких случаях прибегают к разбиению совокупности рассматриваемых решений и факторов,

которые потенциально определяют приоритеты решений, на достаточно малые группы – кластеры. Тогда сложная задача ранжирования решений разбивается на ряд простых задач. Такое разбиение дает возможность распределения работы по подготовке принятия решения между несколькими специалистами и соблюдения конфиденциальности информации о принимаемом решении.

3. Влияние различных факторов на выбор оптимального решения может быть сложным и неоднозначным.

В реальных задачах часто имеют место так называемые «обратные связи». Это особенно ярко проявляется при принятии решений, требующих значительного времени на воплощение. В таких случаях оказывается, что факторы, определяющие значимость решения, сами зависят от принятого решения. Например, производственное решение, принятое с учетом имеющихся на данный момент ресурсов предприятия, впоследствии влияет на величины ресурсов, что может привести к необходимости пересмотра решения. Кроме того, некоторые факторы влияют на принятие решения опосредованно, например, некоторые факторы влияют на важность других. Из-за этого также могут возникать затруднения с определением нужного набора факторов.

4. Отсутствие точной количественной информации, необходимой для решения задачи.

Во многих случаях выбор решения существенно зависит от предпочтений лица, принимающего решения. Но то, что хорошо для одного человека, может быть неприемлемо для другого. В таких случаях необходимы методы обработки качественной информации, что является трудно реализуемым для традиционных средств принятия решений.

5. Наличие противоречивых данных.

В большинстве случаев данные, на основе которых принимается решение, в большей или меньшей степени противоречивы, поскольку принятие решения во многом зависит от субъективных мнений экспертов. Простым примером являются непоследовательные суждения. Человек, планируя выходные, вполне может рассуждать следующим образом, сравнивая последовательно по парам имеющиеся варианты: *«Лучше отправиться на рыбалку, чем с семьей в парк развлечений»*, *«В парке с семьей лучше, чем с друзьями на охоте»*, *«Охота лучше рыбалки»*. Такой ход рассуждений нельзя назвать логичным, но он довольно естественен.

Противоречивые данные не могут быть достоверной основой для принятия решения. Не всегда противоречия можно убрать полностью, но в большинстве случаев их можно уменьшить.

6. Отсутствие четкой и универсальной методики составления рейтинга рассматриваемых решений.

При возникновении в процессе решения задачи множества мнений достижение согласия может быть достигнуто путем усреднения или «взвешивания» имеющихся решений.

Условия применения метода

Важным требованием, обеспечивающим обоснованность применения метода анализа иерархий, является квалификация экспертов, принимающих участие в создании структуры модели принятия решения, подготовке данных и в интерпретации результатов.

Во многом обоснованность решения, принятого с помощью иерархического анализа проблемы, связана:

- с полнотой учета факторов, определяющих рейтинг решений;
- с полнотой учета связей между целью, факторами и возможными решениями;
- с адекватностью формулировок критериев для парных сравнений цели построения модели.

Модели, основанные на строгом иерархическом принципе, являются полилинейными и предполагают использование взвешенного суммирования для вычисления приоритетов альтернатив. При этом взаимная зависимость однотипных факторов, от которых зависят приоритеты решений, выявляется путем парных сравнений или не учитывается вовсе, т.е. факторы в модели считаются независимыми. Таким образом, если учитываются сильно коррелирующие факторы, то соответствующая модель должна иметь обратные связи. Учет обратных связей позволяет установить опосредованные связи между однотипными факторами (через факторы других типов). Если в реальной ситуации имеются существенно нелинейные взаимодействия между компонентами задачи, то аддитивный принцип расчета рейтинга, принятый в методе анализа иерархий, может приводить к ошибкам.

Метод в наибольшей степени подходит для случаев, когда основная часть данных основана на предпочтениях лица, принимающего решения.

Результаты, полученные с помощью иерархических моделей без обратных связей, являются статичными. Учет цикличности функционирования систем во времени возможен только с помощью систем с обратными связями. Метод не приспособлен для моделирования произвольных динамических процессов. В частности, в рамках метода нет явных средств для моделирования «запаздывания», при котором действие разных факторов распространяется с разной скоростью.

Сбор данных и минимизация содержащихся в них противоречий может занимать довольно много времени. При этом может оказаться, что в наборе данных неявно учитывается их разброс по времени. Это обстоятельство может вести к искажению результатов при моделировании быстро меняющихся ситуаций. Метод дает более реалистичные результаты при моделировании медленно меняющихся ситуаций, для принятия стратегических решений.

Рейтинг возможных решений должен иметь малую чувствительность к несущественным изменениям данных или структуры модели.

Формулировка задачи принятия решения

Часто экономические, медицинские, политические, социальные, управленческие и другие типы задач имеют несколько вариантов решения. Эти варианты относятся к одной проблеме, и в этом смысле они однородны и по отношению друг к другу являются альтернативами. Таким образом, в типичной ситуации принятия решения:

- рассматривается несколько вариантов решения;
- задан критерий, по которому определяется, в какой мере то или иное решение является подходящим;
- известны условия решения задачи и причины, влияющие на выбор того или иного решения.

Кроме того, зачастую, выбирая одно решение из множества возможных, лицо, принимающее решение, руководствуется только интуитивными представлениями. При этом даже тот, кто принял решение, далеко не всегда может четко ответить, почему он выбрал именно данный вариант. Для других людей мотивы принятия решения могут быть еще более неясными. Поэтому, с целью придания ясности, необходима численная мера того, насколько каждое из решений является подходящим.

Рекомендуется строить метод принятия решения так, чтобы на всех этапах его реализация сопровождалась количественным выражением таких категорий, как *«предпочтительность»*, *«важность»*, *«желательность»* и т.п.

Основные понятия метода анализа иерархий

В соответствии с формулировкой задачи принятия решения структура модели принятия решения в методе анализа иерархий представляет собой схему (граф), включающую набор альтернативных решений; главный критерий ранжирования решений; набор групп однотипных факторов, влияющих на рейтинг; множество направленных связей, указывающих на влияния решений, критерия и факторов друг на друга. Структура модели отражает результат анализа ситуации принятия решения.

Все основные понятия метода можно разделить на четыре группы. Первая группа понятий связана с описанием возможных структур модели принятия решения. Для вычисления приоритетов альтернативных решений в структуре должна учитываться информация о силе влияний решений, критерия и факторов друг на друга.

Вторая группа понятий связана с описанием данных для модели принятия решения. После того как сформирована структура и собраны все данные, могут быть получены рейтинги приоритетов решений и факторов. Знание приоритетов необходимо для поддержки принятия решения.

Третья группа понятий связана с описанием получаемых результатов.

Четвертая группа понятий связана с пояснением того, как организованы вычисления. Знание этих понятий необходимо лишь для понимания математических обоснований метода, но необязательно для его применения.

Структура

Узел – общее название для всех возможных решений (альтернатив), главного критерия (главной цели) рейтингования решений, всех факторов, от которых, так или иначе, зависит рейтинг. Название узла совпадает с названием соответствующего решения, критерия или фактора. С математической точки зрения схема задачи принятия решения (структура модели), получаемая в методе анализа иерархий, является графом, поэтому понятие «узел» вполне оправдано. Очевидно также, что решения, критерий и факторы являются «узлами» проблемы принятия решения.

Уровень – группа однотипных (равноправных, однородных, гомогенных и т.п.) узлов. Название уровня отражает назначение, функцию группы узлов в ситуации принятия решения. Каждый узел определяется не только своим названием, но и названием уровня, которому он принадлежит. Отдельный уровень образуют альтернативные решения. Главный критерий рейтингования, как правило, единственен и образует отдельный уровень. На рейтинг оказывают влияние несколько групп факторов, которые также составляют отдельные уровни.

Вершина – узел, соответствующий главному критерию (главной цели) отбора альтернатив.

Связь – указание на наличие влияния одного узла, называемого доминирующим, на другой узел, называемого подчиненным.

На схеме связь изображается стрелкой. Направление стрелки совпадает с направлением влияния. С точки зрения теории графов связь – это дуга направленного графа. Связь, направленная от узла-фактора к узлу-решению, означает, что предпочтительность (важность, оптимальность) решения оценивается с точки зрения

воздействия данного фактора. Связь от вершины к узлу-фактору означает, что важность учета фактора оценивается с точки зрения главного критерия ранжирования альтернатив. Связь от одного узла-фактора к другому узлу-фактору означает, что важность учета второго фактора рассматривается с точки зрения первого фактора.

Кластер – группа узлов одного уровня, подчиненных некоторому узлу другого уровня – вершине кластера (доминирующему узлу). Кластеры образуются при расстановке связей между узлами. Каждый кластер определяется своей вершиной, названием уровня и списком узлов. Важность узлов кластера друг относительно друга оценивается в соответствии с тем, какой узел является вершиной кластера.

Система (структура модели, схема ситуации принятия решения) – совокупность всех узлов, сгруппированных по уровням, и всех связей между узлами. С математической точки зрения, системы, которыми приходится оперировать в методе анализа иерархий, являются направленными графами (сетями). Связи образуют пути, ведущие от одних узлов к другим. Все пути, так или иначе, являются частями основных путей, ведущих от главного критерия рейтингования через факторы к альтернативам, т.е. основные пути, по сути, являются логическими цепочками, ведущими к выбору одной из альтернатив. Эта система является иерархической (но не является строгой иерархией).

Даже для простых задач структуры моделей, строящихся с помощью метода анализа иерархий, представляют собой довольно сложные схемы. Это свидетельствует о том, что метод позволяет вскрыть реальную сложность задач, которые человеку приходится решать мысленно. Название системы отражает ее назначение, принадлежность к сфере деятельности, в которой требуется принять решение.

Иерархия – система, в которой уровни расположены и пронумерованы таким образом, что:

- нижний уровень содержит рейтингуемые альтернативы,
- узлы уровней с большими номерами могут доминировать только над узлами уровней с меньшими номерами.

Таким образом, в иерархии связи определяют пути одной направленности - от вершины к альтернативам через промежуточные уровни, которые состоят из узлов-факторов. Система представляет собой строгую иерархию, если допустимы связи только между соседними уровнями от верхнего уровня к нижнему.

Система с обратными связями. Система имеет обратные связи, если при любом способе нумерации уровней в системе присутствуют узлы, доминирующие и над узлами уровней с большими номерами, и над узлами уровней с меньшими номерами, т.е. система имеет обратные связи, если ни при каких перестановках уровней она не сводится к

иерархии. Кроме того, понять различия в структуре иерархии и системы с обратными связями можно, рассматривая пути, образованные связями. Если в системе нет ни одного такого уровня, что по путям, начинающимся в узлах этого уровня, можно попасть в узлы того же уровня, то система является иерархией, т.е. в иерархии любой путь может пересекаться с каждым уровнем лишь однажды. Если в системе имеется такой уровень, что по пути, начинающемуся в одном из узлов этого уровня, можно попасть в один из узлов того же уровня, то система имеет обратные связи. Т.е. в системе с обратными связями обязательно присутствуют пути, пересекающие некоторые уровни два или более раз. Формирование структуры без обратных связей (иерархии) и формирование структуры с обратными связями производятся по определенным правилам.

Данные

Приоритет узла в кластере – положительное число, служащее для количественного выражения важности (веса, значимости, предпочтительности и т.п.) данного узла в кластере относительно остальных узлов кластера в соответствии с критерием, заключенным в вершине кластера. Сумма всех приоритетов узлов кластера равна единице. Поэтому часто приоритеты трактуют как вероятности, доли общего ресурса и т.п. в зависимости от рассматриваемой ситуации.

В случаях, когда непосредственно определить набор приоритетов (вектор приоритетов) узлов кластера затруднительно, используется процедура парных сравнений и метод собственного вектора.

Парные сравнения узлов кластера – оценки (качественные или количественные) отношения приоритета одного узла к приоритету другого, т.е. результаты парных сравнений – это оценки важности (предпочтительности, вероятности и т.п.) каждого узла кластера относительно каждого из остальных узлов по критерию, заключенному в вершине кластера. Результат парного сравнения – это оценка отношения «весов» сравниваемых объектов. При этом под «весом» объектов понимается численное выражение их предпочтительности, оптимальности, значимости и т.п. по отношению друг к другу. Цель парных сравнений – определение приоритетов узлов кластера.

Для проведения парных сравнений должны быть определены шкала сравнений и способ сравнения. При проведении парного сравнения двух объектов достаточно установить только один из результатов, т.е. оценку отношения «веса» одного объекта к «весу» другого объекта.

Шкала сравнений – упорядоченный набор градаций (терминов, чисел и т.п.) для выражения результатов парных сравнений. Шкала сравнений позволяет выражать оценки отношений значений приоритетов узлов, поэтому ее деления – безразмерные величины.

Шкалы, используемые в методе анализа иерархий, являются шкалами отношений. Т.е. если результату сравнения пары объектов ставится в соответствие некоторое значение на шкале, оно выражает оценку отношения «весов» объектов («веса» объектов численно выражают их предпочтительность, оптимальность, значимость и т.п.).

Шкала является количественной, если результаты парных сравнений выражаются непосредственно с помощью чисел. Шкала является качественной, если результаты парных сравнений выражаются с помощью с градаций-предпочтений. Градациям качественных шкал, используемых в методе анализа иерархий, соответствуют числа. Т.е. качественные шкалы данного метода предоставляют возможность опосредованного оценивания приоритетов через предпочтения.

Дискретная шкала имеет конечных набор градаций, при переходе от одной градации к другой значение парного сравнения изменяется скачком. Дискретные шкалы отличаются по величине наибольшего значения (при количественных сравнениях) или по количеству основных градаций (при качественных сравнениях).

Если результату сравнения пары объектов соответствует единица, то значения «весов» объектов оцениваются как равные.

Непрерывная шкала имеет непрерывный набор градаций. Градациям непрерывной шкалы соответствуют числа на отрезке числовой прямой. Непрерывные шкалы также отличаются по величине наибольшего значения (при количественных сравнениях) или по количеству основных градаций (при качественных сравнениях). Если «вес» объекта α оценивается как превышающий «вес» объекта β , результату парного сравнения данных объектов соответствует значение на шкале, больше единицы, в противном случае - меньше единицы. В соответствии с этим правилом осуществляется и перевод градаций качественных шкал в числовые значения.

Способ сравнения определяется набором парных сравнений, необходимых для определения приоритетов узлов кластера. При сравнениях с эталоном (по Стивенсу) выбирается один из узлов кластера, с которым затем сравниваются все остальные. При проведении классических сравнений (по Саати) каждый узел кластера сравнивается со всеми остальными узлами кластера.

Сравнение кластеров - процедура оценки важности (приоритетности, силы подчинения) кластеров, имеющих общую вершину.

Кластеры сравниваются друг с другом по критерию, заданному названием их вершины. Для проведения сравнений используется та же методика, что и для сравнения узлов в кластере. Фактически при сравнении кластеров, подчиненных одному узлу, производится ранжирование уровней по критерию, определяемому этим узлом.

Матрица сравнений – таблица числовых значений парных сравнений для узлов кластера или для кластеров, имеющих общую вершину.

Индекс согласованности – положительное число, выражающее количественную оценку противоречивости результатов сравнений для системы в целом, для узлов одного кластера или для кластеров, имеющих общую вершину. Следует иметь в виду, что между достоверностью и непротиворечивостью сравнений нет явной связи. Противоречия в сравнениях возникают из-за субъективных ошибок экспертов. Индекс согласованности не зависит от шкалы сравнений, но зависит от количества парных сравнений. Чем меньше противоречий в сравнениях, тем меньше значение индекса согласованности. При использовании способа сравнений с эталоном значение индекса согласованности равно нулю.

Достоверность результата сравнения – количественная оценка, характеризующая степень неточности (размытости) результата сравнения, связанная с компетентностью эксперта, уровнем доверия к данным и т.п. Достоверность сравнения выражается долей от единицы (или в процентах). Нулю соответствуют абсолютно недостоверные сравнения, единице (или 100%) – абсолютно достоверные сравнения. На основе значений достоверности сравнений для кластеров, имеющих общую вершину, и значений достоверности парных сравнений в кластерах определяется достоверность данных в масштабах всей системы.

Относительная согласованность матрицы сравнений – отношение индекса согласованности к среднестатистическому значению индекса согласованности при случайном выборе коэффициентов матрицы сравнений. Относительная согласованность для системы в целом характеризует взвешенное среднее значение относительной согласованности по всем матрицам сравнений.

Данные можно считать практически непротиворечивыми (достаточно согласованными), если значение относительной согласованности меньше 0.1. Это заключение справедливо как для данных кластера, так и для данных в масштабе всей системы.

Идеальные сравнения – наиболее близкие к имеющимся непротиворечивые результаты сравнений.

Идеальным сравнениям соответствуют нулевой индекс согласованности и, соответственно, нулевое значение относительной согласованности. Знание идеальных сравнений используется при проведении процедуры согласования для кластеров, позволяющей скорректировать сравнения для уменьшения их противоречивости.

Наиболее противоречивые сравнения – это результаты нескольких парных сравнений узлов одного кластера или кластеров, имеющих общую вершину, вносящие наибольший вклад в значение относительной согласованности.

Результаты

Итоговый вектор приоритетов – рейтинг альтернатив. Каждой альтернативе (каждому возможному решению) ставится в соответствие положительное число – приоритет, которое количественно выражает важность (предпочтительность, вероятность, оптимальность и т.п.) альтернативы в соответствии с главным критерием. Сумма приоритетов всех альтернатив равна единице, поэтому часто приоритеты отождествляют с вероятностями. Для поддержки принятия решения в основном с помощью итогового вектора приоритетов производится интерпретация результатов применения метода. Например, принимается решение с наибольшим приоритетом, отвергается решение с наименьшим приоритетом и т.п.

Вектор приоритетов уровня - рейтинг узлов данного уровня. Вектор приоритетов уровня вычисляется в предположении, что узлы данного уровня являются альтернативами. Все уровни, кроме тех, что содержат альтернативы и главный критерий ранжирования альтернатив, состоят из факторов, влияющих на итоговый вектор приоритетов. Таким образом, приоритеты узлов-факторов количественно характеризуют важность учета каждого фактора относительно других факторов того же уровня. При вычислении вектора приоритетов уровня рассматриваются только пути, образованные связями, ведущими от вершины к узлам данного уровня. Приоритет узла в системе – это соответствующая компонента вектора приоритетов уровня, которому принадлежит данный узел.

Вектор приоритетов кластера – рейтинг узлов кластера. Вектор приоритетов узлов кластера может задаваться напрямую, т.е. без проведения сравнений, или рассчитываться на основе матрицы сравнений.

Показатели согласованности и достоверности для системы в целом, характеризующие качество данных, используемых для вычисления векторов приоритетов, также являются результатами. Величины этих показателей позволяют оценить степень доверия к результатам, полученным с помощью метода анализа иерархий. Знание показателей согласованности позволяет решать промежуточную задачу выявления участков проблемы, по которым имеется наиболее противоречивая информация. Решение данной задачи позволяет сделать сбор и корректировку данных более целенаправленными.

Устойчивость вектора приоритетов – качественная характеристика чувствительности значений приоритетов к малым изменениям данных или структуры модели.

Очевидно, что данные, используемые для принятия решений, всегда в большей или меньшей степени содержат неточности. Поэтому, чем меньше чувствительность значений приоритетов, тем больше обоснованность использования этих приоритетов для поддержки принятия решения. Если при малых изменениях данных или структуры рейтинг изменяется несущественно, он считается устойчивым.

В зависимости от решаемой задачи определяется понятие *«существенное изменение рейтинга»*, что может соответствовать, например, смене лидера, смена аутсайдера и т.п.

Существенные элементы структуры – это узлы или связи между узлами, удаление которых приводит к существенному изменению рейтинга. Заранее бывает сложно определить, какие факторы являются определяющими для принятия решения, а какими можно пренебречь. Часто при принятии решения происходит упрощение ситуации (отбрасывание ряда факторов) или делается попытка учесть максимально возможное количество факторов. Поэтому поиск существенных факторов является важной самостоятельной задачей в процессе подготовки принятия решения.

Приоритет узла в модели – соответствующая компонента вектора приоритетов уровня, которому принадлежит данный узел. Если в решаемой задаче близость приоритета к единице (к нулю) ассоциируется с предпочтительностью, оптимальностью и т.п., тогда, как правило, узлы с малыми (с большими) приоритетами оказываются несущественными.

Приоритет кластера в модели. Если некоторый узел является вершиной только одного кластера, то приоритет кластера в модели совпадает с приоритетом его вершины. В модели, структура которой является строгой иерархией, так определяется приоритет для каждого кластера. Если некоторый узел является вершиной нескольких кластеров, то для них устанавливаются приоритеты относительно общей вершины. Приоритет каждого из таких кластеров определяется как произведение приоритета относительно вершины на приоритет узла-вершины в модели.

Эффективность применения метода

Если для принятия решения достаточно использовать только объективные данные, то с точки зрения точности и скорости получения результата более предпочтительными могут быть другие методы, например, методы оптимизации целевого критерия.

Метод анализа иерархий может быть излишне громоздким для принятия решения в простых ситуациях, вследствие того, что для сбора данных требуется провести множество парных сравнений. Однако, если рассматривается масштабная проблема и цена

последствия неправильного решения высока, более предпочтительным является метод анализа иерархий, позволяющий разбить сложную проблему на ряд простых, а также выявить имеющиеся противоречия.

В задачах принятия стратегических решений часто приходится опираться скорее на опыт и интуицию специалистов, чем на имеющиеся объективные данные. В этом случае результаты, полученные с помощью метода анализа иерархий, могут быть более реалистичными, чем результаты, полученные другими методами.

Рейтинги возможных решений в методе анализа иерархий составляются на основе «прозрачных» принципов. Поэтому они могут быть более убедительными, чем информация для поддержки принятия решения, полученная с помощью моделей типа «черного ящика». В таких моделях входная информация о проблеме преобразуется в выходную информацию о принятии решения по «непрозрачным» принципам, структура ситуации принятия решения не раскрывается.

Метод анализа иерархий не требует упрощения структуры задачи, априорного отбрасывания некоторых признаков. Поэтому он эффективнее других аналитических инструментов позволяет учитывать влияние всевозможных факторов на выбор решения.

Составление структуры модели принятия решения может быть трудоемким процессом. Однако, если модель составлена, она может затем применяться многократно, необходимо лишь корректировать данную структуру и наполнять ее данными. При этом решение типичных задач может быть поставлено на поток.