

ИЕРАРХИЯ ЭМЕРДЖЕНТНЫХ СВОЙСТВ АЛЬТЕРНАТИВ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

Альберт Воронин

Аннотация: Показано, что при векторном подходе задача принятия решений посредством декомпозиции эмерджентных свойств альтернатив представляется иерархической системой критериев. На нижнем уровне иерархии осуществляется оценка альтернативы по отдельным свойствам при помощи вектора критериев, а на верхнем уровне посредством механизма композиции получается оценка альтернативы в целом. Задача решается методом вложенных скалярных сверток. Методология решения задачи основана на принципе дополнительности Н. Бора и теореме о неполноте К. Гёделя.

Ключевые слова: иерархия, эмерджентность, вложенные скалярные свёртки, многокритериальность

ACM Classification Keywords: H.1 Models and Principles, H.1.1 Systems and Information Theory; H.4.2 Types of Systems

Содержание проблемы

Важным понятием системного анализа является *целостность* системы. Некоторые явления можно понять, лишь изучая весь объект исследования (организм, система и т.п.) целиком. Например, мы не можем воспринять музыкальное произведение, изучая только отдельные его звуки и такты. Этот феномен определяется в науке термином “**эмерджентность**” (от англ. Emergence – возникновение, появление нового): наличие у системы таких целостных свойств, которыми не обладают её отдельные элементы. Эмерджентность является критериальным признаком системы.

Характеристикой эмерджентности является неаддитивность свойств системы, неприменимость принципа суперпозиции, нелинейность связи между свойствами системы и ее отдельных элементов. Появление эмерджентности является результатом синергизма элементов (усиление свойств). По сути, это известный диалектический закон перехода количества в качество. Эмерджентность обусловлена взаимодействием элементов (подсистем) в составе функционирующей системы, которая как целое обнаруживает присущие только ей новые качества и закономерности. Так, у системы „зрение” есть такое свойство, как объемность

восприятия, которого нет ни у одного из ее элементов (левого или правого глаза). На этом основано действие технических систем, использующих стереоскопический эффект. Есть такие объекты, у которых целостное свойство и свойства отдельных элементов диаметрально противоположны. У Виктора Гюго в романе „Отверженные” есть такое описание моста: каждый кирпичик в мосте, висящем над пропастью, стремится упасть вниз, но благодаря тому, что они хотят упасть одновременно и все вместе, получается прочная целостная арочная конструкция и мост держится.

Различают три причины появления эмерджентности:

1. Нелинейность систем. Примеры: пороговое превышение критической массы соединения ядер, приводящее к цепной реакции (атомная бомба); кристаллизация при перенасыщении растворов (расплавов); применение катализаторов для изменения скорости химических реакций; возникновение воды из водорода и кислорода.
2. Непредсказуемая бифуркация в эволюции какой-либо подсистемы (появление новой ветви растущего дерева).
3. Рекомбинация связей между элементами. Например, всем известно, что пары воды переходят в жидкость при понижении температуры, но не все знают, что в этом случае возрастает количество межмолекулярных связей. Количество молекул в изолированной системе остается тем же, но качество (свойства) резко изменяется.

Для сложных систем характерна *иерархичность* эмерджентных свойств. Приведём примеры из различных предметных областей. В физике, система одного атома, обладающая своими эмерджентными свойствами, объединяется в новую систему – молекулу со своими свойствами, затем – в вещество и т.д. На каждом новом уровне появляется новая система с новыми эмерджентными свойствами, которых не было у системы более низкого уровня. В баллоне с газом на микроскопическом уровне мы имеем множество молекул, положение и скорость каждой из которых постоянно меняется. На целостном же уровне мы рассматриваем эту среду как единое целое, игнорируя её составные части. Здесь мы вводим новые эмерджентные характеристики состояния газа: давление, температуру, объём. Эти три „целостные” величины связаны между собой точными законами. Важно, что эти характеристики не могут быть выражены на низшем уровне (скажем, у молекулы нет температуры).

В химии, часто, исходя из свойств отдельных компонентов объекта, невозможно предсказать свойства объекта как целого. Например, водород и кислород, соединяясь, дают воду, совершенно непохожую на исходные газы. Углерод в различных аллотропных модификациях может быть как графитом, так и алмазом.

Эмерджентность сильна в *социальных системах* (муравейник, пчелиный улей, птичья стая, толпа людей и т.п.). Птица в стае частично теряет свою маневренность, но только стая способна на дальний перелет в теплые края. Человек в толпе теряет часть своей свободы, но групповые

действия намного эффективней индивидуальных. Интересно, что для выхода из толпы человеку нужно затратить определенную энергию по преодолению системообразующей силы.

В биологии, эмерджентные свойства проявляются, если смотреть на разные уровни – начиная с молекулярного, заканчивая биосферным. Клетка не является простым объединением химических молекул. Организм не является простым набором клеток, популяция не является механической совокупностью организмов. Ф. Энгельс: „Мы, несомненно, „сведем” когда-нибудь экспериментальным путем мышление к молекулярным и химическим движениям в мозге, но разве этим исчерпывается сущность мышления?“. Психика – эмерджентное свойство целостной структуры более высокого порядка – нервной системы.

И, наконец, в теории принятия решений, целостные свойства альтернативы подвергаются декомпозиции, приводящей к иерархической структуре эмерджентных свойств (анализ). Любая многокритериальная задача может быть представлена иерархической системой, на нижнем уровне которой осуществляется оценка объекта по отдельным свойствам при помощи вектора критериев, а на верхнем уровне посредством механизма композиции получается оценка объекта в целом (синтез). Центральной здесь является **проблема композиции критериев по уровням иерархии**.

Многокритериальная задача принятия решений

Задача принятия решений в общем виде [Gubanov et al, 1988] может быть представлена схемой

$$\{\{x\}, Y\} \rightarrow x^*,$$

где $\{x\}$ – множество объектов (альтернатив); Y – функция выбора (правило, устанавливающее предпочтительность на множестве альтернатив); x^* – выбранные альтернативы (одна или более).

Множество $\{x\}$ может быть дискретным (пример: несколько проектов самолета, из которых надо выбрать лучшие) или непрерывным (диапазон положений регулятора настройки радиоприёмника, из которого выбирается настройка на нужный канал).

Функция Y служит для решения задачи анализа и оценки альтернатив. По результатам оценки следует выбор одной или нескольких лучших альтернатив из заданного множества. В теории принятия решений различают два подхода к оценке объектов (альтернатив), подлежащих выбору. Один из них – оценка объекта в целом и выбор альтернативы по непосредственному сравнению объектов как **гештальтов** (гештальт: целостный образ объекта без детализации свойств). Хрестоматийный пример – оценка игры актёра К. Станиславским: „Верю!”. Понятно, что целостный подход является откровенно субъективным, основан на индивидуальных предпочтениях лица, принимающего решение (ЛПР) и совершенно не поддается формализации.

Имеет место дихотомия при выборе альтернатив: „нравится” – „не нравится”. Если же возникает вопрос – *почему* нравится (или не нравится), то следует воспользоваться вторым подходом к анализу и оценке альтернатив.

Второй подход – детализация и оценка тех или иных **векторов эмерджентных свойств** объектов и принятие решений по результатам сравнения этих свойств [Fyshbern, 1978].

Если целостный подход предусматривает выбор x^* непосредственно по функции выбора Y , то механизм векторного подхода требует осуществить декомпозицию (разложение) функции Y на совокупность (вектор) из функций y . Под *декомпозицией* функции выбора Y понимается ее эквивалентное представление с помощью определенной совокупности других функций выбора y , *композицией* которых является исходная функция выбора Y .

Современная тенденция в теории принятия решений состоит в использовании векторного подхода. Это объясняется его объективностью и всесторонностью, а также принципиальной возможностью применения формализованных методов. Учитывается также конкретность и четкость подхода, так как по узкому вопросу меньше расхождений во мнениях, легче собрать бесспорные факты.

Предполагается, что в отношении отдельного свойства существенно проще сказать, какая из альтернатив предпочтительней для ЛПР. Так, в задаче выбора наилучшего проекта самолета гораздо уверенней можно говорить о том, что проект А лучше проекта В *по свойству* комфортности, или надежности, или грузоподъемности, нежели о том, что проект А лучше проекта В *в целом*. Выделение свойств альтернатив на основе анализа является декомпозицией, приводящей к иерархической структуре свойств. Свойства первого иерархического уровня могут делиться на следующие наборы свойств и т.д. Глубина деления определяется стремлением дойти до тех свойств, которые удобно сравнивать друг с другом.

Действительно, в примере с самолетом судить о комфортности, конечно, легче, чем о самолете в целом, но такое качественное свойство для сравнения также не совсем удобно и требует дальнейшей декомпозиции для удобства и объективности сопоставления свойств. Поэтому свойство комфортности, в свою очередь, подвергается декомпозиции на: а) уровень шумности в салоне, б) уровень вибрации пола, в) расстояние между креслами и др. Эти характеристики выражаются в числах и объективны.

Свойства, для которых существуют объективные численные характеристики, принято называть критериями. Более строго: **критериями** называются количественные показатели свойств объекта, числовые значения которых являются мерой качества объекта оценки по отношению к данному свойству. Получение набора критериев – конечный итог иерархической декомпозиции. Количество уровней зависит от требуемой глубины декомпозиции. Сложность заключается в том,

что для каждого из начальных свойств глубина декомпозиции может быть различной, а на каждом уровне иерархии необходимо нормировать разнородные множества критериев.

Подход сравнения по отдельным свойствам, при всей своей привлекательности, порождает серьезную проблему обратного перехода к требуемому сравнению альтернатив в целом. Эта проблема предполагает решение задачи композиции критериев по уровням иерархии, что достаточно непросто, особенно при значительной глубине декомпозиции свойств. В простейшем и наиболее распространенном случае (двухуровневая иерархия) задача композиции решается традиционным получением однократной скалярной свёртки критериев, численная величина которой является оценкой качества данного объекта (альтернативы) в целом. Но уже при наличии трехуровневой иерархии требуются другие подходы.

Итак, любая многокритериальная задача может быть представлена иерархической системой эмерджентных свойств объекта, на нижнем уровне которой осуществляется оценка объекта по отдельным свойствам при помощи вектора критериев, а на верхнем уровне посредством механизма композиции получается оценка объекта в целом. Центральной здесь является проблема композиции критериев по уровням иерархии.

Постановка задачи

Качество альтернативы определяется иерархической системой векторов

$$y^{(j-1)} = \{y_i^{(j-1)}\}_{i=1}^{n^{(j-1)}}, j \in [2, m],$$

где $y^{(j-1)}$ – вектор критериев на $(j-1)$ -м уровне иерархии, по компонентам которого оценивается качество свойств альтернативы на j -м уровне; m – количество уровней иерархии; $n^{(j-1)}$ – количество оцениваемых свойств $(j-1)$ -го уровня иерархии. Численные значения n критериев $y^{(1)} = y$ первого уровня иерархии для данной альтернативы заданы.

Один и тот же критерий $(j-1)$ -го уровня может участвовать в оценке нескольких свойств j -го уровня, т.е. в иерархии возможны перекрестные связи. Структурная схема системы критериев качества альтернативы показана на Рисунок 1. Ясно, что $n^{(1)} = n$ и $n^{(m)} = 1$.

Важность (значимость) каждой из компонент критерия $(j-1)$ -го уровня при оценке k -го свойства j -го уровня характеризуется коэффициентом приоритета, их совокупность составляет систему векторов приоритета

$$p_{ik}^{(j-1)} = \{p_{ik}^{(j-1)}\}_{k=1}^{n^{(j)}}, j \in [2, m].$$

Требуется найти аналитическую оценку y^* и качественную оценку эффективности данной альтернативы, а из имеющихся альтернатив выбрать лучшую.

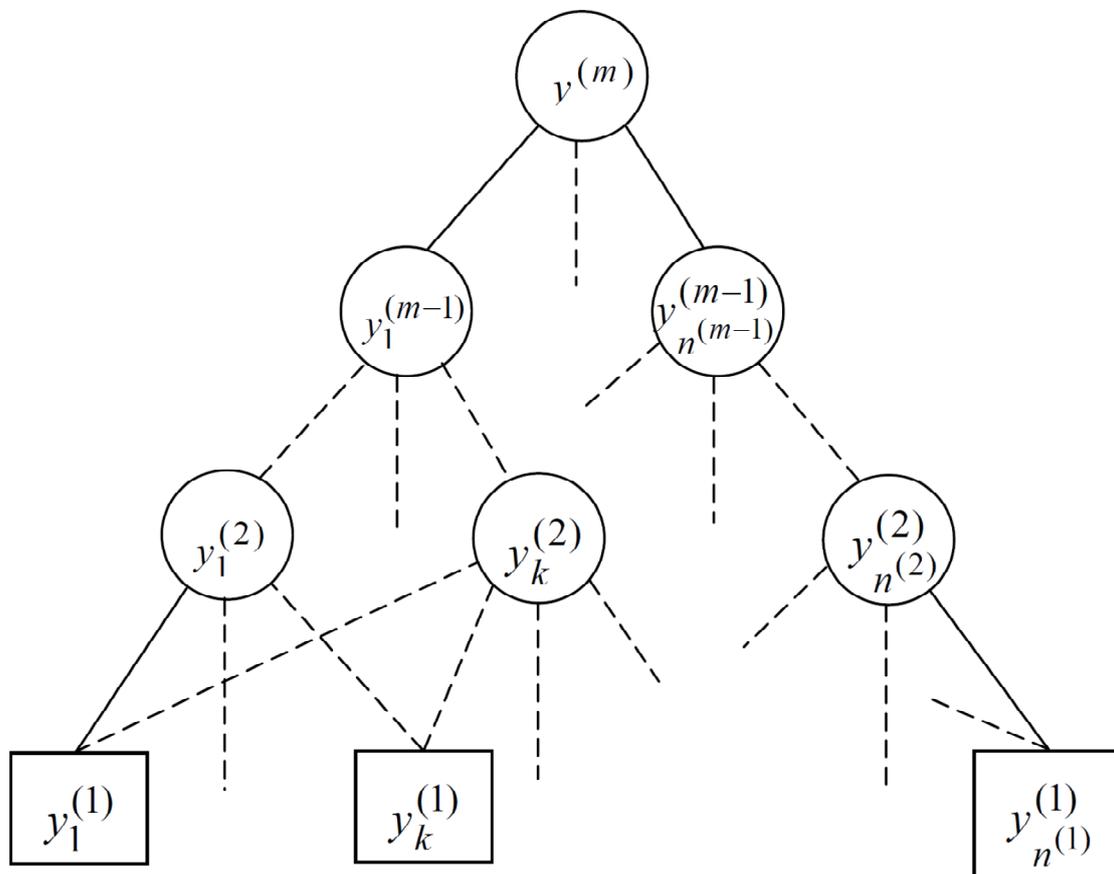


Рисунок 1.

Метод решения

Для решения поставленной задачи используем системный подход, при котором каждая из альтернатив (объектов) рассматривается как иерархическая совокупность элементов с различными (в том числе противоречивыми) эмерджентными свойствами, отличными от свойств всей системы в целом.

Сопоставим сказанное с **принципом дополнительности**, введенным в науку Нильсом Бором: "...Для воспроизведения целостности явления следует применять взаимоисключающие "дополнительные" классы понятий, каждый из которых может быть использован в своих, особых условиях, но только взятые вместе, исчерпывают всю поддающуюся определению информацию". Для полного описания объекта они равно необходимы и поэтому не противоречат, а *дополняют* друг друга.

Взаимоисключающие "дополнительные" классы понятий, в роли которых выступают отдельные теоретические модели, характеризуются противоречивыми частными критериями, каждый из которых наиболее применим в своих, особых условиях. Именно принцип дополненности позволяет выделить и затем связать эти критерии при многокритериальной оценке. Только полная совокупность частных критериев (векторный критерий) дает возможность адекватной оценки функционирования сложной системы как проявления противоречивого единства всех ее эмерджентных свойств.

Однако эта возможность представляет собой только *необходимое*, но не достаточное условие векторной оценки всей альтернативы в целом. Действительно, пусть на нижнем уровне иерархии критериев определены численные значения таких частных критериев свойства комфортности самолета, как расстояние между креслами, уровень шума в салоне, амплитуда вибрации пола и пр. Значит ли это, что мы, зная эти величины, можем оценить свойство комфортности в целом? Нет, не можем.

Здесь уместно вспомнить старую индийскую притчу о слепых, которые знакомились со слоном. Один прикоснулся к хоботу и решил, что слон похож на змею. Второй взял в руки ухо и сказал, что слон напоминает ему простыню. Третий оцупал ногу и заявил, что слон – это столб. Эти отдельные „модели” слона отражают различные свойства объекта, но не дают целостной картины.

Для целостной оценки необходимо выйти из нижнего уровня иерархии и подняться на следующий ярус, т.е. осуществить акт композиции критериев. Сопоставим это с теоремой о неполноте Курта Гёделя „...В любой достаточно сложной непротиворечивой теории первого порядка существует утверждение, которое средствами самой теории невозможно ни доказать, ни опровергнуть. Но непротиворечивость одной конкретной теории может быть установлена средствами другой, более мощной формальной теории второго порядка. Однако тогда встаёт вопрос о непротиворечивости этой второй теории, и т. д.”. Можно сказать, что теорема Гёделя является методологической основой для исследования иерархических структур.

Применительно к нашей задаче это значит, что для адекватной оценки альтернативы в целом мы должны решить задачу композиции критериев по уровням иерархии, последовательно переходя от нижнего уровня до верхнего.

Инструментом акта композиции может служить *скалярная свёртка* критериев. Скалярная свёртка – это математический приём сжатия информации и количественной оценки её интегральных свойств одним числом. В работе [Voronin et al, 2011] предложена скалярная свёртка по **нелинейной схеме компромиссов** для минимизируемых критериев

$$Y[y(x)] = \sum_{k=1}^s p_k A_k [A_k - y_k(x)]^{-1},$$

применяемая в тех случаях, когда ЛПР рассматривает как предпочтительные те решения, при которых значения частных критериев $y_k(x)$ наиболее удалены от своих предельно допустимых значений A_k . Эта свёртка обладает рядом существенных преимуществ, к числу которых относятся универсальность и аналитичность. Выбор схемы компромиссов осуществляется лицом, принимающим решение и носит концептуальный характер.

В задаче выбора решений количество вариантов (альтернатив) составляет $n_a \geq 1$. Каждый вариант характеризуется своей иерархической структурой. При $n_a = 1$ поставленная задача трансформируется в задачу оценки данной иерархической структуры. Если $n_a > 1$, то каждая структура оценивается как данная и выбирается тот вариант, иерархическая структура которого получила наилучшую оценку. Поэтому при дискретной многокритериальной оптимизации в качестве базовой здесь рассматривается задача оценки *данной* иерархической структуры. Однако так поступать можно только в случае относительно небольшого числа альтернатив n_a , когда метод простого перебора не вызывает значительных вычислительных трудностей. При больших объемах множеств альтернатив следует применять другие методы оптимизации, например изложенные в [Voronin et al, 2011].

Оценка *данной* альтернативы есть не что иное, как решение задачи *анализа* качества альтернативы при *заданном аргументе* $x^{(0)}$ из множества $\{x\}$. Это позволяет нам в дальнейшем не включать в выражения для критериев значение аргумента x .

Для аналитической оценки эффективности иерархических структур предлагается применить **метод вложенных скалярных свертков** [Voronin et al, 2011]. Композиция осуществляется по „принципу матрешки”: *скалярные свертки взвешенных компонент векторных критериев низшего уровня служат компонентами векторных критериев высшего уровня*. Скалярная свертка критериев, полученная на самом верхнем уровне, автоматически становится выражением для оценки эффективности всей иерархической системы в целом.

Алгоритм решения задачи методом вложенных скалярных свертков представляется итерационной последовательностью операций взвешенной скалярной свертки векторных критериев каждого уровня иерархии снизу доверху с учетом векторов приоритета на основе выбранной схемы компромиссов

$$\{(y^{(j-1)}, p^{(j-1)}) \rightarrow y^{(j)}\}_{j \in [2, m]} \quad (1)$$

а поиск оценки эффективности всей иерархической системы (альтернативы) в целом выражается задачей определения скалярной свертки критериев на верхнем уровне иерархии:

$$y^* = y^{(m)}.$$

При использовании рекуррентной формулы (1) важным представляется рациональный выбор схемы компромиссов. Для метода вложенных скалярных свертки адекватной является *нелинейная схема компромиссов*, описанная в [Voronin et al, 2011]. Установлено, что без потери общности предпосылкой для ее применения является то, что все частные критерии неотрицательны, подлежат минимизации и являются ограниченными:

$$0 \leq y_i \leq A_i, A = \{A_i\}_{i=1}^n,$$

где A – вектор ограничений критериев на текущем уровне иерархии; n – их количество.

Исходя из (1), выражение для оценки k -го свойства альтернативы на j -м уровне иерархии с применением нелинейной схемы компромиссов имеет вид

$$y_k^{(j)} = \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1}, k \in [1, n^{(j)}], \quad (2)$$

где критерии $(j-1)$ -го уровня нормированы (приведены к единице). Таким образом, $y_{0ik}^{(j-1)}$ – компоненты нормированного вектора $y_0^{(j-1)}$, участвующие в оценке k -го свойства альтернативы на j -м уровне иерархии; $n_k^{(j-1)}$ – их количество; $n^{(j)}$ – число оцениваемых свойств на j -м уровне.

Коэффициенты приоритета p – это формальные параметры, имеющие двоякий физический смысл. С одной стороны, это коэффициенты приоритета, выражающие предпочтения ЛПР по отдельным критериям. С другой – это коэффициенты содержательной регрессионной модели, построенной на основе концепции нелинейной схемы компромиссов. Определение коэффициентов p на каждом уровне иерархии может быть выполнено путем оптимизации на симплексе с использованием дуального подхода, описанного в [Voronin et al, 2011], или методом экспертных оценок по ординальной (порядковой) или кардинальной (интервальной) шкале.

В наиболее простом и достаточно распространенном случае формулируется и решается многокритериальная задача без приоритетов, когда ЛПР полагает, что все параметры значимости для всех свойств альтернативы *одинаковы*. В этом случае используется простейшая скалярная свертка по нелинейной схеме компромиссов в унифицированной форме [Voronin et al, 2011].

Для того, чтобы формула (2) отражала идею метода вложенных скалярных сверток в соответствии с рекуррентной формулой (1), необходимо полученное выражение *нормировать*, т.е. получить относительный критерий $y_{0k}^{(j)} \in [0;1]$ такой, чтобы он был минимизируемым, а его предельная величина была единицей.

Конструкция нелинейной схемы компромиссов дает возможность нормировать свертку (2) не к максимальному (что в данном случае затруднительно), а к *минимальному* значению свертки критериев. Действительно, идеальными для минимизируемых критериев являются их нулевые значения. Положив в формуле (2)

$$y_{0ik}^{(j-1)} = 0, \forall i \in [1, n_k^{(j-1)}]$$

и учитывая нормировку $\sum_{i=1}^n p_i = 1$, получим $y_{k \min}^{(j)} = 1$. После выкладок [Voronin et al, 2011;

Voronin, 2007], окончательное выражение для рекуррентной формулы расчета аналитических оценок свойств альтернатив на всех уровнях иерархии приобретает вид

$$y_{0k}^{(j)} = 1 - \left\{ \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1} \right\}^{-1}, k \in [1, n^{(j)}], j \in [2, m] \quad (3)$$

Качественная оценка альтернатив

Качественная (лингвистическая) оценка альтернативы получается сопоставлением аналитической оценки с обращенной нормированной фундаментальной шкалой. Общее понятие о порядковой фундаментальной шкале описано в [Saaty, 1990]. Интервальная нормированная обращенная шкала представлена Таблицей 1. Здесь показана связь между качественными градациями свойств объектов и соответствующими нормированными количественными оценками y_0 . Можно сказать, что в терминах теории нечетких множеств [Saaty, 1990] фундаментальная шкала выступает как универсальная функция принадлежности для перехода от числа к соответствующей качественной градации и обратно. Осуществляется переход от лингвистической переменной (удовлетворительное качество, высокое качество и пр.) к соответствующим количественным оценкам по шкале баллов, т.е. переход от нечетких качественных градаций к числам и обратно.

Таблица 1

Категория качества	Интервалы обращенной нормированной фундаментальной шкалы оценок y_0
Неприемлемое	1,0 – 0,7
Низкое	0,7 – 0,5
Удовлетворительное	0,5 – 0,4
Хорошее	0,4 – 0,2
Высокое	0,2 – 0,0
Неприемлемое	1,0 – 0,7

Оценка вариантов по единой нормированной фундаментальной шкале дает возможность решать многокритериальные задачи, кроме традиционных постановок, и в том случае, когда требуется выбрать альтернативу из множества неоднородных альтернатив, для которых нельзя сформулировать единое множество количественных критериев оценки, а также для оценки единственной (уникальной) альтернативы.

Иллюстрационный пример расчёта эмерджентных свойств иерархической системы конкретной альтернативы (проект самолёта) приведен в [Voronin et al, 2011].

Заключение

Изложенное позволяет сделать вывод, что любая задача векторной оценки альтернативы может быть представлена иерархической системой критериев, полученной в результате декомпозиции эмерджентных свойств альтернативы. На нижнем уровне иерархии осуществляется оценка объекта (альтернативы) по отдельным свойствам при помощи исходного вектора критериев, а на верхнем уровне посредством механизма композиции получается оценка объекта в целом. Центральной здесь является проблема композиции критериев по уровням иерархии, решаемая методом вложенных скалярных свёрток.

Методологической основой декомпозиции свойств альтернативы до получения исходного вектора критериев (многокритериальность) является принцип дополнительности Н. Бора. Это *необходимое* условие векторной оценки альтернативы.

Методология композиции критериев по уровням иерархии основана на теореме о неполноте К. Гёделя. Это *достаточное* условие векторной оценки альтернативы.

Acknowledgements

The paper is published with partial support by the project ITHEA XXI of the ITHEA ISS (www.ithea.org) and the ADUIS (www.aduis.com.ua).

Литература

- [Fyshbern, 1978] Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
- [Gubanov et al, 1988] Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. – 232 с.
- [Saaty, 1990] Saaty T.L. Multicriteria Decision Making: The Analytical Hierarchy Process. – N.Y.: McGraw-Hill, 1990. – 380 p.
- [Voronin et al, 2011] Воронин А.Н., Зиатдинов Ю.К., Куклинский М.В. Многокритериальные решения: Модели и методы. – К.: НАУ, 2011. – 348 с.
- [Voronin, 2007] Воронин А.Н. Метод многокритериальной оценки и оптимизации иерархических систем // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – № 3. – С. 84-92.
-

Сведения об авторе



Воронин Альберт Николаевич – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры компьютерных информационных технологий Национального авиационного университета, проспект Комарова, 1, Киев-58, 03058 Украина; e-mail: alnv@voliacable.com

Hierarchy of Emergent Properties of Alternatives in Systems Analysis

Albert Voronin

Abstract: *It is shown, that under vector approach a decision-making problem by means of decomposition of alternative's emergent properties can be presented by a hierarchical system of criteria. At the bottom level estimation of the alternative on separate properties is carried out through a vector of criteria, and at the top level by means of mechanism of composition the estimation of the alternative as a whole turns out. The problem is solved by method of nested scalar convolutions of vector-valued criteria. The methodology of the problem solving is based on complementarity principle by N. Bohr and theorem of imperfection by K. Gödel.*

Keywords: *hierarchy, emergence, embedded scalar convolutions, multicriteriality*