



# СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 519.81

## КРЮЧКОВСКИЙ Виктор Владимирович

к.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры прикладной математики и математического моделирования  
Херсонского национального технического университета.

**Научные интересы:** теория принятия решений.

### ВВЕДЕНИЕ

Процедура принятия решений является обязательным этапом целенаправленной человеческой деятельности в любой сфере: профессиональной, бытовой, социальной, политической, общественной и т.д. Принятие решений в каждой реальной ситуации – проблема многосложная, обусловленная к тому же множеством объективно существующих альтернатив и ограниченная возможностями лица, принимающего решение (ЛПР). В то же время процесс принятия решений обладает общностью и универсальностью, что нашло свое отражение в его определении.

По определению процесс принятия решений состоит в осознанном выборе ЛПР наилучшей альтернативы из некоторого допустимого множества  $X$  решений. Не все варианты возможных  $X^B$  решений являются допустимыми или целесообразными по техническим, технологическим, социальным, экономическим, экологическим, морально-этическим и т.п. соображениям. Учет этих ограничений выделяет из множества  $X^B$  подмножество допустимых решений  $X$ .

Ключевым в приведенном определении является термин «осознанный выбор», который подчеркивает, что выбор решения является интеллектуальной, а, следовательно, субъективной процедурой. Именно это обстоятельство определяет принципиальную трудность формализации процедуры и синтеза формальных математических моделей как теоретической базы разра-

ботки общей нормативной [лат. *normatio* – установление нормы, стандартов; определение правил; упорядочение последовательности действий] теории принятия решений.

Полная формализация нахождения наилучшего (в определенном смысле) решения возможна только для хорошо изученных, относительно простых задач, тогда как на практике чаще встречаются слабо структурированные задачи, для которых полностью формализованных алгоритмов не разработано (если не считать полного перебора и метода проб и ошибок). Для получения решения таких задач начали развиваться новые разделы математики; возникло понятие и направление *принятие решений*, которое постановку задачи признает полноценным этапом процесса её решения.

В тех случаях, когда задача настолько усложнена, что постановка задачи становится проблемой, возникает необходимость определить область проблемной ситуации, выявить факторы, влияющие на принятие решения, подобрать приемы и методы, которые позволяют сформулировать задачу таким образом, чтобы решение было найдено.

Для принятия решения необходимо получить выражение, связывающее цель со средствами её достижения. Такие выражения получили в параллельно возникших прикладных направлениях различные названия: критерий функционирования; критерий или показатель эффективности; целевая или критериальная функция, функция цели и т.п. [1]. Эти выражения могут

представлять собой сложные, составные критерии (показатели), аддитивного или мультипликативного вида. Конечно, в этом случае могут возникнуть вычислительные сложности, при преодолении которых может потребоваться вновь обратиться к постановке задачи. Однако полученное формализованное представление задачи позволяет в дальнейшем применять и формализованные методы анализа проблемной ситуации.

Несмотря на то, что общая теория принятия решений начала формироваться в начале 60-х годов XX столетия, разработка научно-методологического базиса по созданию нормативной теории подготовки и принятия решений далека от завершения, что и объясняет актуальность данных исследований.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Подробный анализ публикаций по проблеме принятия решений, а также исторический обзор применения эвристики в задачах экспертного оценивания можно найти в работах [2, 3]. Здесь только укажем, что проблемами разработки моделей и методов для целостного анализа и проектирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений занимались такие известные ученые как В.М. Глушков, В.И. Скурихин, Г.С. Поспелов, А.И. Кухтенко [4, 5]. Большой вклад в рассматриваемую проблематику внесли ученые Н.З. Згуровский, В.И. Гриценко, Н.Д. Панкратова, Э.Г. Петров и их многочисленные ученики [6, 7].

**Целью статьи** является анализ общей проблемы принятия решений, её структуризация, выделение концептуальных задач и формулирование подходов к их решению как необходимого научно-методологического базиса создания нормативной теории принятия решений.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

**Структуризация обобщенной процедуры принятия решений.** Процесс принятия решений можно определить как особый вид интеллектуальной человеческой деятельности, состоящий в выборе одного или нескольких вариантов решений из некоторого имеющегося множества. При этом человек проявляет общие черты своего поведения, мышления, интуиции при принятии экономических, политических, социальных,

технических и даже личных решений, т.е. формальная процедура является инвариантной некоторой конкретной предметной области. В рамках этой концепции проблему принятия решений можно структурировать на следующие основные этапы:

- формирование и анализ цели;
- определение множества возможных  $X^B$  и допустимых  $X$  путей (решений) достижения цели;
- формирование некоторой меры (критериев  $K(x)$  оценки эффективности решений), в которой допустимые решения  $x \in X$  можно сравнивать между собой с целью выбора лучшего;
- определение оптимального  $x^\circ \in X$  решения

$$x^\circ = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} K(x) \quad (1)$$

### Определение необходимых и достаточных условий эффективности принимаемых решений.

Условие оптимальности (1) является, по определению В.М. Глушкова [8], необходимым, но не достаточным условием эффективности принимаемого решения. Для достаточности оно должно быть дополнено условиями своевременности и полноты (комплектности) решения. Требование своевременности означает, что момент  $t_p$  принятия решения должен удовлетворять условию  $t_p \in [t_n, t_k]$ , где  $t_n, t_k$  – границы временного интервала принятия решения. Принимаемое решение должно быть актуальным на рассматриваемый период и в то же время не опережать момент необходимой реализации.

Требование полноты является определяющим и означает, что решение должно приниматься с учетом кортежа частных (локальных) критериев  $K(x) = \langle k_i(x) \rangle$ ,  $i = \overline{1, n}$ , каждый из которых характеризует локальный эффект, а их совокупность достаточно полно характеризует эффективность решения в целом.

Таким образом, модель выбора эффективного решения принимает вид

$$x^\circ = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} \langle k_i(x) \rangle, \quad \forall i = \overline{1, n} \quad (2)$$

где условие своевременности вошло как ограничение в определении допустимого множества решений  $X$ .

Следует также учесть, что условие оптимальности предполагает, что задача принятия решения должна

быть формализована, т.е. синтезирована многофакторная имитационная модель вида

$$k_i(x) = f_i(x), \quad \forall i = \overline{1, n},$$

и оптимизирующий функционал, т.е. экстремальное по выбранным частным критериям решение (2).

При переходе к многокритериальной постановке задачи выбора эффективного решения отмечается рост влияния источников неопределенности (НЕ-факторов [9]), что приводит к снижению адекватности модели. В качестве НЕ-факторов выступают неточность исходной информации, неконтролируемые случайные воздействия, статистическая неоднородность экспериментальной последовательности, неполнота и неоднозначность знаний о проблемной области и решаемой задаче и др.

Несогласованность локальных моделей и необходимость учета слабо формализованных факторов являются дополнительным источником различного рода неопределенности. Проблема связана с тем, что в силу различных причин (вычислительных, узкой специализации аналитиков и т.п.) основным методом анализа сложных систем является декомпозиция на условно независимые подсистемы (задачи), каждая из которых моделируется отдельно и затем производится интеграция результатов. Реализация такого подхода порождает ряд дополнительных НЕ-факторов: неточность и неполнота ограничений, определяющих требования к локальным моделям; несогласованность их входных выходов; разнородность абстрактных языков описания; несогласованность локальных оптимальных решений и т.д. В зависимости от конкретной ситуации изменяется состав и интенсивность проявления НЕ-факторов, но это множество никогда не бывает пустым.

Таким образом, требование оптимальности, своевременности и полноты получаемого решения трансформируется в необходимость учета в модели задачи принятия решений

- многокритериальности и
- неопределенности исходной информации.

В теории принятия решений термин «неопределенность» отражает не столько неопределенность реального материального мира, сколько уровень наших знаний, понимания, изученности различных процессов, их взаимосвязи, возможности и точности измерений различных величин. Это означает, что следует говорить

не о неопределенности реальной ситуации принятия решений, а о неопределенности абстрактной модели, на основе которой принимается решение.

Сказанное выше позволяет сделать вывод о методологической предпочтительности представления исходной информации в интервальном виде при принятии решений в условиях неопределенности [10]. Это означает, что для любой информационной характеристики (переменной или конкретного параметра) известен больший или меньший ограниченный интервал возможных значений. Если он равен нулю, то получаем точечную (детерминированную) числовую информацию.

Следует также учесть, что однозначное решение многокритериальной задачи можно получить только в отдельных частных случаях. В то же время в общем случае решение задачи многокритериальной оптимизации является концептуально важной интеллектуальной процедурой. Таким образом, основные интеллектуальные усилия по формированию нормативной теории подготовки и принятия решений должны быть ориентированы на разработку новых математических моделей, методов решения задач и инструментальных средств принятия решений в условиях многокритериальности и интервальной неопределенности.

**Концепция комплексного решения проблемы принятия решений в условиях многокритериальности и интервальной неопределенности.** Обзор литературы по исследуемой проблеме показал, что в большинстве случаев задачи многокритериального выбора решений и задачи учета неопределенностей (рисков) решаются независимо и излагаются в рамках специальных научных направлений – соответственно «Системного анализа и теории принятия решений» и «Исследования операций». При этом задача многокритериальной оптимизации решается в предположении детерминированности исходной информации, в результате чего непосредственно определяется точечное решение, которое не учитывает риски за счет неопределенности исходных данных. Такие решения можно рассматривать как идеализированные оценки.

С другой стороны, методы принятия решений с учетом неопределенности (риска) в основном ориентированы на задачи со скалярной функцией цели, т.е. по

сути однокритеріальні. Такий підхід, як і в першому випадку, має малу практичну цінність.

В останнє десятиліття в зв'язі з прогресом в області автоматизації інтелектуальної діяльності людини на основі вичислювальної техніки пред'являються більш високі вимоги до адекватності моделей, описуваних різними процесами реального світу, і вироботці таких рішень, реалізація яких привела б до ощутимим результатам в фінансовій, економічній, соціальній і інших сферах діяльності. Виникає необхідність в постановці принципово нових завдань з великими початковими невизначеностями і багатокритеріальністю, а рішення таких завдань вимагає урахування їх взаємодії. Таким чином, вимагаються дослідження узагальнюючого характеру, розробка методології комплексного рішення проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріальності цільової функції і інтервальної невизначеності як взаємопов'язаних завдань. Отже, в наше час дуже актуальною задачею є створення нормативної теорії прийняття рішень, орієнтованої на інтеграцію методологій багатокритеріального оцінювання і аналізу інтервальних невизначеностей.

**Задача багатокритеріального оцінювання.** В загальному випадку множина допустимих рішень  $X$  є об'єднанням двох підмножин [11]: узгоджених  $X^s$  і компромісних (Парето-оптимальних)  $X^c$  рішень  $X = X^s \cup X^c$ ;  $X^s \cap X^c = \emptyset$ . При цьому на підмножині узгоджених рішень один або декілька окремих критеріїв можна покращити без погіршення якості інших критеріїв. Це означає, що  $X^s$  в принципі не може містити екстремальних рішень, так як кожне  $X \in X^s$  можна покращити хоча б по одному критерію. В той же час на підмножині компромісних рішень ні один окремих критерій  $k_i(x)$  неможливо покращити без погіршення якості одного або групи інших окремих критеріїв, або ні один окремих критерій не можна покращити взагалі.

Таким чином, множина допустимих екстремальних рішень задачі (2) збігається з областю компромісів  $X^c$  і якщо вона не порожня ( $X^c \neq \emptyset$ ), то всі  $X \in X^c$  є рішеннями задачі. Але в такому випадку

багатокритеріальної оптимізації не має єдиного рішення і, отже, є некоректною за Адамаром [12].

Для визначення єдиного рішення задачі багатокритеріальної оптимізації її необхідно регуляризувати, т.е. привести до умовно коректної [13] шляхом залучення додаткової, зовнішньої по відношенню до початкової задачі, інформації.

З огляду на різноманітні підходи до регуляризації моделі (2) як основного і найбільш конструктивного можна виділити напрям досліджень, пов'язаний з трансформацією початкової багатокритеріальної оптимізації в задачу однокритеріальної скалярної оптимізації. Найбільш відомі з них: принцип головного критерію, схема послідовної оптимізації, функціонально-ціннісний аналіз, метод багатокритеріального оцінювання ефективності (корисності) рішень і ін. З наведених методів найбільш конструктивним і перспективним є останній. Він оснований на гіпотезі, висунутої Дж. Найманом і О. Моргенштерном [14], згідно з якою для будь-якого рішення  $x \in X$  існує скалярна оцінка корисності (ефективності)  $P(x)$ , що задовольняє наступним умовам: якщо  $x_1, x_2 \in X$ , то  $x_1 \succ x_2 \Leftrightarrow P(x_1) > P(x_2)$ .

Узагальнена багатокритеріальна скалярна оцінка, відома як функція корисності

$$P(x) = F[A, k_i(x)], \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

повинна враховувати всі окремі критерії  $k_i(x)$  і набір коефіцієнтів  $A = \langle a_i \rangle, \quad i = \overline{1, n}$ , що зв'язують різноманітні окремі критерії з ізоморфним виглядом.

З урахуванням (3) задача багатокритеріальної оптимізації трансформовується в задачу скалярної оптимізації виду

$$x^o = \arg \max_{x \in X} P(x) \quad (4)$$

Основна складність реалізації моделі (3) полягає в її структурно-параметричній ідентифікації. Це обумовлено тим, що процес прийняття рішень є суб'єктивною інтелектуальною процедурою, а, отже, носієм необхідної інформації є особа, що приймає рішення, а методом її

получения – интроспективный анализ, известный как методология экспертного оценивания [15].

Однако, при решении сложных многоэтапных задач оценивания, особенно количественного, процедуры экспертного оценивания дают субъективные, неустойчивые, т.е. плохо воспринимаемые результаты. Как показывают многочисленные теоретические исследования и опыт практической реализации, единственной хорошо воспринимаемой устойчивой экспертной процедурой является парное качественное сравнение альтернатив. Результатом является установление отношения порядка на множестве альтернатив. Однако на основе только этой информации невозможно непосредственно решить задачу структурно-параметрической идентификации модели (3). Необходимы дополнительные методы анализа (известные как «Data Mining»), ориентированные на выявление «скрытой», неявной информации.

Одним из таких методов является метод компараторной идентификации [16], хорошо зарекомендовавший себя при решении задач структурно-параметрической идентификации моделей многофакторного скалярного оценивания (3). Наличие корректной, формальной модели многофакторного оценивания (4) является необходимым условием для решения многокритериальной задачи в условиях детерминированной исходной информации на объективной, нормативной основе.

**Методология принятия многокритериальных решений в условиях интервальной неопределенности исходной информации.** Как показано выше, принятие эффективных, ориентированных на практику решений, требует учета качества (степени) неопределенности исходной информации. Эта неопределенность может иметь различные количественные (величина интервала возможных значений, точность значений внутри интервала, количество этих значений и т.д.) и качественные (стохастическая, нечеткая, интервальная) характеристики. С учетом факторов неопределенности обобщенная многофакторная скалярная оценка эффективности решения (3) принимает вид

$$\bar{P}(x) = F[\bar{A}, \bar{k}_i(x)]. \quad (5)$$

где знак « $\bar{\phantom{x}}$ » означает, что она содержит интервальную неопределенность за счет неточности модели оценивания. Таким образом, в модели (5) учтено, что все её параметры и переменные заданы в виде интервала, кото-

рый определяет количественно границы (левую и правую) изменения значений переменных и параметров, а также содержит информацию о характере распределения возможных значений внутри интервала. По этому признаку интервальную неопределенность можно подразделить на три вида: вероятностную (заданную функцией плотности вероятности), нечеткую (заданную функцией принадлежности нечеткому множеству) и равновозможную (информация о распределении отсутствует).

Фундаментальным утверждением математической теории интервальных вычислений является то, что значение любой функции, содержащей интервальные неопределенности, является интервальной величиной. При этом в связи с тем, что все три перечисленные интервальные неопределенности имеют различную семантику, для каждой из них существует специализированная арифметика [17]. Это позволяет вычислить для каждого конкретного вида неопределенности интервальное значение функции полезности  $\bar{P}(x)$ , и на этой основе определить с учетом рисков конкретное точечное значение.

Вместе с этим следует подчеркнуть, что на практике любая постановка задачи принятия многокритериальных решений содержит «смесь» неопределенностей различного вида. Это приводит к необходимости трансформации различных типов неопределенности к некоторому «базовому» виду. Теоретическое обоснование принципов такой трансформации в настоящее время отсутствует, но тестовые вычислительные исследования, проведенные автором, показывают, что наиболее корректным является выбор в качестве базовой интервальной равновозможной неопределенности [18].

Определение точечного решения из интервала возможных значений связан с необходимостью решения задачи ранжирования интервальных величин. Эта задача не вызывает затруднений, если интервалы не пересекаются. В противном случае наиболее перспективным представляется использование интервала проверки гипотез.

В заключение отметим, что выбор конкретного значения точечного решения из возможного интервала хорошо исследован в рамках теории исследования операций и базируется на методологии принятия решений в условиях риска.

## ВЫВОДЫ

Проведенный анализ показал, что одной из актуальнейших задач общей теории системного анализа и принятия решений является создание и развитие нормативной методологии принятия многокритериальных решений в условиях интервальной неопределенности как альтернативы субъективным методам, основанным на слабо аргументированных предпочтениях экспертов и лиц, принимающих решения.

Центральным этапом создания нормативной теории принятия решений является решение задачи регуляризации модели формирования обобщенной скалярной оценки эффективности решений на основе теории полезности, разработка процедур структурно-параметрической идентификации функции полезности, синтез специализированных моделей вычисления интервальных полезностей для

различных типов интервальных неопределенностей, разработка методов взаимных преобразований интервальных неопределенностей и приведение их к базовому виду. Решение перечисленных задач в сочетании с классическими методами исследования операций выбора точечных решений в условиях риска обеспечивают перспективы создания и совершенствования нормативной формализованной общей теории принятия эффективных решений.

Проблема принятия решений является синтетической, а её общая теория как самостоятельное научное направление находится в стадии становления. Поэтому вопросы системного, целостного рассмотрения проблемы принятия решений, создания научно обоснованной нормативной её теории является актуальными и требующими своего разрешения.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Волкова В.Н. Теория систем. Учебное пособие /В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М.: Высш.шк., 2006. – 511 с.
2. Крючковський В.В. Проблема прийняття рішень: історичні аспекти та сучасні підходи /В.В. Крючковський //Проблеми інформаційних технологій. – 2008. – №2 (004). – С.76-85.
3. Гнатієнко Г.М. Експертні технології прийняття рішень: Монографія /Г.М. Гнатієнко, В.Є. Снитюк. – К.: ТОВ «Маклаут», 2008. – 444 с.
4. Глушков В.М. Введение в кибернетику /В.М. Глушков. – К.: Техніка, 1964. – 336 с.
5. Поспелов Г.С. Программно-целевое планирование и управление /Г.С. Поспелов, В.А. Ириков. – М.: Сов.радио, 1976. – 440 с.
6. Згуровський М.З. Системна методологія передбачення /М.З. Згуровський. – К.: Політехніка, 2001. – 50 с.
7. Петров Э.Г. Методы и средства принятия решений в социально-экономических и технических системах. Учебное пособие /Э.Г. Петров, М.В. Новожилова, И.В. Гребенник, Н.А. Соколова. – Херсон: ОЛДИ-плюс, 2003. – 380 с.
8. Глушков В.М. Введение в АСУ /В.М. Глушков – К.: Техника, 1971. – 212 с.
9. Нариньяни А.С. НЕ-факторы: неоднозначность (доформальное исследование) /А.С. Нариньяни //Новости искусственного интеллекта. – 2003. – №5. – С.58-59.
10. Бардачев Ю.Н. Методологическая предпочтительность интервальных экспертных оценок при принятии решений в условиях неопределенности /Ю.Н. Бардачев, В.В. Крючковский, Т.В. Маломуж //Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. – 2010. – №890. – С.18-28.
11. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач /В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 254 с.
12. Математический энциклопедический словарь /Под ред. Ю.В. Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 848 с.
13. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач /А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
14. Нейман Дж. Теория игр и экономическое поведение /Дж. Нейман, О. Моргенштерн. – М.: Наука, 1970. – 124 с.
15. Крючковський В.В. Інтроекспертний аналіз. Методи і засоби експертного оцінювання: Монографія /В.В. Крючковський, Э.Г. Петров, Н.А. Соколова, В.Е. Ходаков. – Херсон: «Грінь Д.С.», 2011. – 166 с.
16. Петров К.Э. Компаративная структурно-параметрическая идентификация моделей скалярного многофакторного оценивания: Монография /К.Э. Петров, В.В. Крючковский. – Херсон: ОЛДИ-плюс, 2009. – 294 с.
17. Алефельд Г. Введение в интервальные вычисления /Г. Алефельд, Ю. Херцбергер. – М.: Мир, 1987. – 356 с.
18. Крючковський В.В. Інформаційна перевага статистическої форми представлення вихідних даних в умовах інтервальної неопределенності /В.В. Крючковський, Э.Г. Петров, Н.А. Брынза //Науко-технічні повідомлення Санкт-Петербурзького державного політехнічного університету. Серія: Інформатика. Телекомунікації. Управління. – 2010. – №4 (103). – С.11-18.