

Информационная модель и мера обоснованности каркасного решения как реализация принципа минимума эвристик

А.А. Кукушкин¹

¹ Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», г. Орёл, Россия

Аннотация. Рассматривается проблема оценки обоснованности решений на примере редуцированной модели организационного плана действий. В качестве математической меры вводится функция нормированной остаточной неопределенности, реализующая принцип минимума эвристик. Используются понятие t -нормы и фрейм-ориентированный подход к описанию предметной области с учетом методов вербального анализа решений. Функция предназначена для оценки систем поддержки принятия решений.

Ключевые слова: *нормированная остаточная неопределенность решения, каркасное (фреймовое) решение, мера обоснованности, информационная модель планирования.*

DOI: 10.14357/20790279190108

Введение

Принадлежность организационных систем управления к классу открытых систем из-за внешних воздействий, источниками которых нельзя управлять, разнообразие субъектов, объектов, форм и целей, неполнота и противоречивость логической (не физической) природы управления объясняют причины существования разнообразных методов и моделей принятия решений, описанных в многочисленных трудах [1-10].

Разнообразие методов и моделей связано не только с многочисленностью практических задач, но и с разнообразием теоретических вопросов принятия решений. В неполный перечень таких взаимозависимых фундаментальных и частных вопросов входят: формализация предметной области (включая парадокс Бертра-на, эргодичность, теоремы Гёделя о неполноте), целеполагание, синтез альтернатив (формирование гипотез), нерациональность поведения ЛПР, взаимодействие экспертов (агентов), многокритериальность (в т. ч. взвешивание, шкалирование и свертка частных количественных и качественных показателей), верификация, интерпретация и объяснение результатов, адаптация, самообучение, вычислительная сложность, разработка систем поддержки принятия решений (далее – СППР), использование больших данных и др.

Так, задача верификации результатов актуальна, поскольку значительное количество методов принятия решений являются эвристиками – алгоритмами, не имеющими математического обоснования. Верификация, как проверка доверия, может осуществляться проверкой на практике, консенсусом мнений экспертов или сравнением с результатами, полученными другими методами на основе мультиалгоритмического подхода [8,11].

Мультиалгоритмический подход также может быть полезен для принятия решений с использованием технологии больших данных, когда существует «... необходимость обработки различных типов структурированных и полуструктурированных данных ...» [12].

Не менее важны для повышения доверия задачи интерпретации (истолкования смысла, понимания) и объяснения результата (описания причин, следствий и внешней среды). Так, основания для решений, полученных нейронными сетями [13], методом комитетов [4] не очевидны. Напротив, методы вербального анализа решений [3], продукционных экспертных систем [14] изначально включают в себя возможности объяснения решений.

В этом неполном перечне пересекающихся проблем, каждой из которых посвящено значительное количество работ, можно выделить проблему

обоснованности решений, являющуюся предметом данной статьи.

В частном случае, во фреймоподобной модели [15–20], учитывающей методы вербального анализа решений [21], принятие решений предлагается рассматривать как двухэтапную процедуру «выращивания» решения. Первый этап состоит в синтезе каркаса (фрейма), определяющего структуру решения как постоянную конструкцию для класса ситуаций. Второй – в вычислении значений слотов, определяющих содержание фрейма. Синтез оптимального каркаса является слабо формализуемой задачей, решаемой на основе накопленного опыта. Значения слотов вычисляются с помощью оптимизационных, рутинных процедур или эвристик.

Примером и областью применения каркасных решений может служить разработка планов действий в условиях временных, ресурсных и других ограничений с использованием СППР.

При таком рассмотрении возникает задача оценки СППР по показателю «обоснованность каркасного (фреймового) решения» (далее – решения), в которой основной теоретической проблемой является проблема счетной аддитивности меры.

Сущность проблемы формулируется как $Q(A \cup B) \neq Q(A) + Q(B)$ – обоснованность решения Q не равна сумме обоснованностей компонентов A, B , что противоречит точке зрения на меру, как вещественную функцию множества $m: P(X) \rightarrow \mathbb{R}$, включая вероятностную меру, удовлетворяющую аксиомам неотрицательности, монотонности и аддитивности [22–23].

Существует несколько подходов, применимых для оценки обоснованности решений.

1. Мультиалгоритмический подход [11]. В его рамках более надежными (обоснованными) считаются результаты, если они получены разными методами (дублированы) и совпадают. Предлагаемый в настоящей статье метод может использоваться для сравнения с иными методами, как независимый способ оценки.
2. Синергетический подход [8]. Концептуальным отличием его от мультиалгоритмического является использование методов вербального анализа решений и описание объектов несколькими системами критериев. Оценка может осуществляться в метрике Хемминга по минимуму взвешенного расстояния city-block до наилучшего объекта путем подсчета кратности использования каждого из методов в каждой из систем критериев для каждого объекта.
3. Энтропийный подход [24–27]. В [26] предлагается мера обоснованности решений, основанная на оценке энтропии трех групп инфор-

мации. К первой и второй группам относится информация, неопределенность которой снимается за счет поисковых, расчетных и логических процедур. К третьей группе относится информация, неопределенность относительно которой сохраняется, так как для ее снятия используются эвристики. Эта неопределенность называется остаточной неопределенностью решения $\mathcal{E}_{\text{ост}}$. Способ разрешения $\mathcal{E}_{\text{ост}}$ основан на субъективном выборе конкретного значения каждого «...параметра из объективно определенного интервала $L \dots$ » [26, с.138]. В работе [27] мера обоснованности решений определяется как $Q = 1 - R_0/R$, где R – область значения всех параметров управления, а R_0 – область параметров для рациональных решений.

В этих работах используется вероятностный подход к определению энтропии решения по объему информации [28], зависящей не от параметров управления, что требуется, а от количества значений и распределения вероятностей их появления. Кроме того, в соответствии с принципом оптимальности Беллмана, глобальный оптимум не всегда есть суперпозиция локально оптимальных стратегий [29,30] и с помощью стандартных сверток проблематично выразить взаимное влияние элементов агрегированного критерия.

Подход на основе нечетких мер и неаддитивных сверток Шоке, Сугено [31,32] ослабляет проблему обоснованности решений. Здесь аксиомы меры видоизменяются: функция $m: P(X) \rightarrow \mathbb{R}$ определяется в виде $g: P(X) \rightarrow [0, 1]$; аксиома неотрицательности представляется в форме $\forall A \subseteq X \Rightarrow g(A) \geq 0$, $g(\emptyset) = 0$, $g(X) = 1$; требование аддитивности может не выполняться: $g(A \cup B) \neq g(A) + g(B)$. Это ведет к образованию классов супераддитивных и субаддитивных нечетких мер. Так, супераддитивная мера обладает свойством $\forall A, B \in \beta, g(A \cup B) \geq g(A) + g(B) - g(A \cap B)$, где β – поле борелевских множеств (σ -алгебра).

В случае использования λ -нечетких мер Сугено аксиома аддитивности заменяется на условие нормировки λ -мер: $g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda \times g_\lambda(A) \times g_\lambda(B)$, $-1 < \lambda < \infty$. При этом сложность задания мер носит экспоненциальный характер.

Такая ситуация показывает целесообразность разработки альтернативных мер и сверток частных показателей при создании СППР – одного из актуальных и ожидаемых результатов фундаментальных исследований академий наук на 2013 – 2020 годы [33].

Практическая ценность задачи определения меры обоснованности решений при использовании

СППР связана с выбором методик работы органов управления, формированием профессиональных стандартов и нормативов управленческого труда в контексте положения об обеспечении ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере, сформулированного в Указе Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204.

1. Модель каркасного (фреймового) решения

Определение 1. Под каркасным (фреймовым) решением в организационных системах будем понимать совокупность структурированных информационных объектов, объединенных рекурсивным механизмом преобразования исходных данных в управляющую информацию.

Структуру каркасного решения $\{f_{dec}\}$ формально можно представить как кортеж процедур (функций, методов) преобразования информации, упорядоченных по их применению во фреймоподобных структурах:

$$\begin{aligned} \{f_{dec}\} : \{I_{in}\} &\xrightarrow{\{f_{dec}^0\}} \{I_{name}^0\} \rightarrow \dots \\ \dots &\rightarrow \{I_{name}^t\} \xrightarrow{\{f_{dec}^T\}} \{I_{out}\}, \\ \{I_{out}\} &\neq \emptyset; \# \bigcup_j I_{in_j} \geq 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $\{I_{in}\}$ – исходные данные, информационный объект, представляющий собой совокупность слотов – объектов нижнего уровня:

$$I_{in} := \langle val(I_{in}), trust(S), rel(I_{in}) \rangle, \quad (2)$$

где $val(I_{in})$ – содержание исходных данных; $trust(S)$ – надежность источника информации; $rel(I_{in})$ – достоверность исходных данных;

$$\begin{aligned} I_{name}^t &:= \langle val(I), Q(I_{name}^t), \{ch_g(I)\}, \\ &\{f_g(ch_g)/\mu_{f_g}(I_{in})/\alpha_{f_g}\} \rangle \end{aligned} \quad (3)$$

– промежуточные информационные объекты, где t – верхний индекс, номер уровня в иерархии объектов, $t = 0, \dots, T$. Этот же индекс при необходимости используется для уточнения принадлежности процедур соответствующим уровням информационных объектов; $name$ – имя (идентификатор) объекта на соответствующем уровне иерархии; $val(I)$ – значение объекта;

$Q(I_{name}^t)$ – степень обоснованности объекта, $0 \leq Q(I_{name}^t) \leq 1$, определяется на основе прин-

ципа минимума эвристик по нормированной остаточной неопределенности $H_{end}(\{I_{out}\})$; $\{ch_g(I)\}$ – множество характеристик (свойств, полей, слотов) объекта, $g = 1, \dots, n$; $\{f_g(ch_g)\}$ – множество процедур вычисления характеристик, $\{f_g(ch_g)\} \subseteq \{f_{dec}\}$; $\mu_{f_g}(I_{in})$ – степень прагматической адекватности исходных данных, $0 \leq \mu_{f_g}(I_{in}) \leq 1$;

α_{f_g} – вес процедуры, $\sum \alpha_{f_g} = 1$; вводится экспертами как внешний параметр в зависимости от наличия соответствующей информации, однородности, противоречивости и других характеристик одним из известных методов [34]. По мнению, изложенному в [35], эффективной с точки зрения корректного определения весовых коэффициентов является процедура построения критериально-целевой структуры [36.];

$\{I_{out}\}$ – итоговое решение, структура, аналогичная промежуточным объектам.

Множество процедур (функций, методов) преобразования информации $\{f_{dec}\}$, образующих кортеж (1), включает в себя непересекающиеся подмножества:

$$\begin{aligned} \{f_{dec}\} &:= \{f_{sem}\} \cup \{f_{rout}\} \cup \{f_{trans}\}; \\ \{f_{sem}\} \cap \{f_{rout}\} \cap \{f_{trans}\} &= \emptyset; \\ \# \{f_{dec}\} &= m; m > 1, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\{f_{sem}\}$ – процедуры семантической обработки информации

$$\begin{aligned} \{f_{sem}\} &:= \{f_{calc}\} \cup \{f_{lo}\} \cup \{f_{heur}\}; \\ \{f_{sem}\} &= n; n > 1; \end{aligned} \quad (5)$$

$\{f_{rout}\}$ – рутинные процедуры формирования решения; $\# \{f_{rout}\} = s; s > 0$;

$\{f_{trans}\}$ – процедуры обмена информацией; $\# \{f_{trans}\} = r; r > 0$;

$\{f_{calc}\}$ – расчетные процедуры; $\# \{f_{calc}\} = u; u \geq 0$;

$\{f_{lo}\}$ – логические процедуры; $\# \{f_{lo}\} = v; v \geq 0$;

$\{f_{heur}\}$ – эвристики, $\# \{f_{heur}\} = w; w \geq 0$.

В модели каркасного (фреймового) решения приняты справедливыми два утверждения.

Утверждение 1. Множество процедур семантической обработки информации $\{f_{sem}\}$ доминирует над объединением множества рутинных процедур формирования структуры и содержания решения $\{f_{rout}\}$ и множества процедур обмена информацией $\{f_{trans}\}$ по отношению «семантическая обработка информации»:

$$\{f_{sem}\} \triangleright \{f_{rout}\} \cup \{f_{trans}\}. \quad (6)$$

Доказательство. Отношение принадлежности свойства «семантическая обработка информации» элементам множества $\{f_{dec}\}$ обозначим символом характеристической функции χ_{sem} , представляющей отображение, для которого f_{dec_i} есть область определения, а $\{0, 1\}$ – область значений:

$$\chi_{sem} : f_{dec_i} \rightarrow \{0, 1\}. \quad (7)$$

Поскольку каждый элемент f_{sem_i} состоит в создании новой информации, а каждый элемент f_{rout_i}, f_{trans_j} – это процедуры, не изменяющие семантику информации, то по свойству χ_{sem} все элементы множества $\{f_{sem}\}$ эквивалентны друг другу

$$\forall f_{sem_i}, \chi_{sem}(f_{sem_i}) = 1, \quad (8)$$

и все элементы множеств $\{f_{rout}\}$ и $\{f_{trans}\}$ так же эквивалентны друг другу:

$$\forall f_{rout_i}, \forall f_{trans_j}, \chi_{sem}(f_{rout_i}) = \chi_{sem}(f_{trans_j}) = 0. \quad (9)$$

С учетом того, что $\{f_{sem}\} \cap \{f_{rout}\} \cap \{f_{trans}\} = \emptyset$, множество $\{f_{dec}\}$ можно представить как универсальное множество

$$U = \{a\} \cup \{b\}, \quad (10)$$

в котором $\{a\} = A = \{f_{sem}\}$ и $\{b\} = B = \overline{\{f_{sem}\}}$ принадлежат одному и тому же множеству $\{f_{dec}\}$.

Для доказательства Утверждения 1 достаточно проверить выполнение условий, определяющих отношение доминирования для упорядоченной по убыванию свойства «семантическая обработка информации» пары $\langle A, B \rangle$.

Условия, определяющие отношение доминирования, представлены в Леммах 1 и 2.

Лемма 1. Каждый элемент прямого декартова произведения $A \times B$ удовлетворяет условию

$$a > b \quad (11)$$

по свойству χ_{sem} .

Доказательство. Истинность выражения (11) следует непосредственно из выражений (8), (9), способа конструирования $\langle A, B \rangle$ и естественного допущения об упорядочении значений истинности двужначной логики ($0 < 1$). Лемма 1 доказана.

Лемма 2. Не существует такого элемента z , что

$$a > z > b \quad (12)$$

по свойству χ_{sem} .

Доказательство. Поскольку объединение множеств $\{a\} \cup \{b\}$ образует универсальное множество U , то истинным является высказывание:

$$a \vee b = a \vee \bar{a} = 1. \quad (13)$$

Пусть существует элемент z , для которого (13) не выполняется:

$$z \vee \bar{z} = 0. \quad (14)$$

Это противоречит закону исключенного третьего, в соответствии с которым

$$a \vee \bar{a} = 1. \quad (15)$$

Значит (14) не верно, и не существует такого z , что $a > z > b$ по свойству χ_{sem} . Лемма 2 доказана.

Так как каждый элемент прямого декартова произведения множеств $A \times B$ в соответствии с леммой 1 удовлетворяет условию $a > b$ по свойству χ_{sem} и в соответствии с леммой 2 не существует такого элемента z , что $a > z > b$ по свойству χ_{sem} , то из определения отношения доминирования непосредственно следует, что

$$\{f_{sem}\} \triangleright \{f_{rout}\} \cup \{f_{trans}\}, \quad (16)$$

что и требовалось доказать.

Следствие из Утверждения 1. Операции $\{f_{rout}\}, \{f_{trans}\}$ не влияют на обоснованность решений. Так как $\{f_{sem}\}$ доминирует над объединением множества $\{f_{rout}\}$ и множества $\{f_{trans}\}$ по χ_{sem} , то обоснованность решений при использовании $\{f_{rout}\}, \{f_{trans}\}$ зависит только от $trust(S)$ и $rel(I_{in})$. Данное следствие не противоречит закону сохранения информации из седьмой теоремы Шеннона, в соответствии с которой в замкнутой системе информационная энтропия при оптимальном кодировании не увеличивается, $H(Y) = H(X)$ [37].

Утверждение 2. Процедуры $\{f_{sem}\}$ при $\mu_{f_g}(I_{in}) < 1$ эквивалентны эвристикам в смысле (в контексте) остаточной неопределенности решения:

$$\{f_{sem}\} \Big|_{\mu_{I_{in}} < 1} \sim \{f_{heur}\}. \quad (17)$$

Иными словами,

$$\because \mu_{f_g}(I_{in}) < 1 \therefore f_g \mapsto f_{heur}. \quad (18)$$

Доказательство. Поскольку отсутствие или неопределенность исходных данных приводит к невозможности использования детерминированных оптимальных расчетных и логических методов принятия решений, то истинным является выражение:

$$\left(\forall f_{sem} \Big|_{\mu_{I_{in}} < 1} \right) : (\{f_{calk}\} = \emptyset) \vee (\{f_b\} = \emptyset). \quad (19)$$

Подставив в условие (5) значения из (19) получаем $\{f_{sem}\} = \emptyset \cup \emptyset \cup \{f_{heur}\} = \{f_{heur}\}$. Так как эквивалентность $\top$ это обобщение равенства, следовательно, $\{f_{sem}\} \Big|_{\mu_{I_{in}} < 1} = \{f_{heur}\} \Rightarrow \{f_{sem}\} \sim \{f_{heur}\}$ и процедура отображается в эвристику. Утверждение 2 доказано.

Следствие из утверждения 2. Степень прагматической адекватности исходных данных для любой семантической процедуры $\mu_{f_{sem}}(I_{in})_g$ рав-

на степени прагматической адекватности исходных данных для эвристики μ_{heur_i} .

Степень прагматической адекватности исходных данных, зависящая от надежности источника информации и достоверности исходных данных, может определяться в соответствии с аксиомами согласованных функций доверия [18] как пересечение (произведение, t -норма) аргументов – обобщенная оценка не может быть лучше наихудшей из оценок частных показателей при их одинаковой важности:

$$\mu_{f_{sem}}(I_{in}) = \mu_{heur} = \min(trust(S), rel(I_{in})). \quad (20)$$

Это согласуется с известными положениями экономической статистики [38] и теории измерений о том, что точность результата не может быть выше точности исходных данных и определяется наименее точным слагаемым или сомножителем.

Значения $trust(S)$ и $rel(I_{in})$ определяются по шкале Харрингтона [39] на основе правил [40], представленных в табл. 1.

Редуцированная информационная модель каркасного решения на примере плана действий в условиях временных, ресурсных и других ограничений показана на рис. 1. На нем с использованием элементов нотации UML показаны структурные части решения – информационные объекты:

1. Исходные данные $\{I_{in}\}$: <ресурсы, другие ограничения, место действий, время действий, объекты действий>.
2. Уясненная задача $\{I_{clar}^1\}$: <перечень задач, целевые показатели, соисполнители, этапы, период работ>.
3. Оценка обстановки $\{I_{as_sit}^2\}$: <срок на сборы, состояние объектов, угрозы, риски, издержки, возможности, внешняя среда>.

4. Прогноз $\{I_{predict}^3\}$: <оцененная обстановка, доходы, ожидаемые результаты, степень достижения целей, последствия, убытки>.
5. Решение $\{I_{out}\}$: <исполнители, распределение ресурсов, стоимость, используемые технологии, уясненная задача, прогноз>.

2. Постановка задачи

Дано: каркасное (фреймовое) решение вида:

$$\langle f_{dec} \rangle : \{I_{in}\} \xrightarrow{\{f_{dec}^0\}} \{I_{clar}^1\} \xrightarrow{\{f_{dec}^1\}} \{I_{as_sit}^2\} \xrightarrow{\{f_{dec}^2\}} \{I_{predict}^3\} \xrightarrow{\{f_{dec}^3\}} \{I_{out}\}. \quad (21)$$

Требуется: определить меру обоснованности решения $Q\{I_{out}\}$, удовлетворяющую условиям полезности и объективности, учитывающую разную значимость и гетерогенность функций преобразования информации, надежность источников информации $trust(S)$ и достоверность исходных данных $rel(I_{in})$. Формально,

$$Q : \{I_{out}\} \rightarrow \mathfrak{R} \quad (22)$$

при выполнении условий:

$$Q : f(\{f_{dec}\}, \{\alpha_{heur}\}, trust(S), rel(I_{in})) \rightarrow [0, 1] \mathbb{R} \quad (23.1)$$

$$\forall \{I_{out}\} \Rightarrow Dice(n-w, w) \geq 0 \quad (23.2)$$

$$\forall \{I_{out}\} \Rightarrow 0 \leq Q\{I_{out}\} \leq 1; Q(\emptyset) = 0 \quad (23.3) \quad (23)$$

$$A, B \in \{\{\alpha_{heur}\} \cup \{(1 - \mu_{heur})\}\} \wedge (A \leq B) \Rightarrow Q(I_A) \geq Q(I_B) \quad (23.4)$$

$$Q(I_A \cup I_B) \neq Q(I_A) + Q(I_B) \quad (23.5)$$

Выражение (23.1) описывает полезность меры для свертки факторов, α_{heur} – веса эвристик, $\alpha_{heur} \subseteq \alpha_{sem}$, $0 \leq \alpha_{sem_j} \leq 1$, $\sum \alpha_{sem} = 1$; α_{sem_j} – веса семантических процедур.

Табл. 1

Правила оценки надежности источника информации $trust(S)$ и достоверности входной информации $rel(I_{in})$

Вербальная оценка достоверности информации	$rel(I_{in})$	Вербальная оценка надежности источника	$trust(S)$
Подтверждена независимыми источниками, согласуется с другой информацией	1	Надежный, компетентный	1
Возможно истинная, не подтверждена, логична сама по себе	0,80	Обычно надежный, слабые сомнения по достоверности	0,80
Вероятная (возможная), не согласуется с другими данными, не подтверждена, логична	0,63	Достаточно надежный, есть сомнения в достоверности	0,63
Маловероятная, не подтверждена, сомнительная, возможна, но не логична, другой информации нет	0,37	Как правило, не надежный, существенные сомнения в достоверности	0,37
Неправдоподобная, не логична, противоречит другой информации	0,20	Не заслуживающий доверия, нет аутентичности и компетентности	0,20
Дезинформация. Не логична, противоречива	0	Основа для оценки отсутствует	0

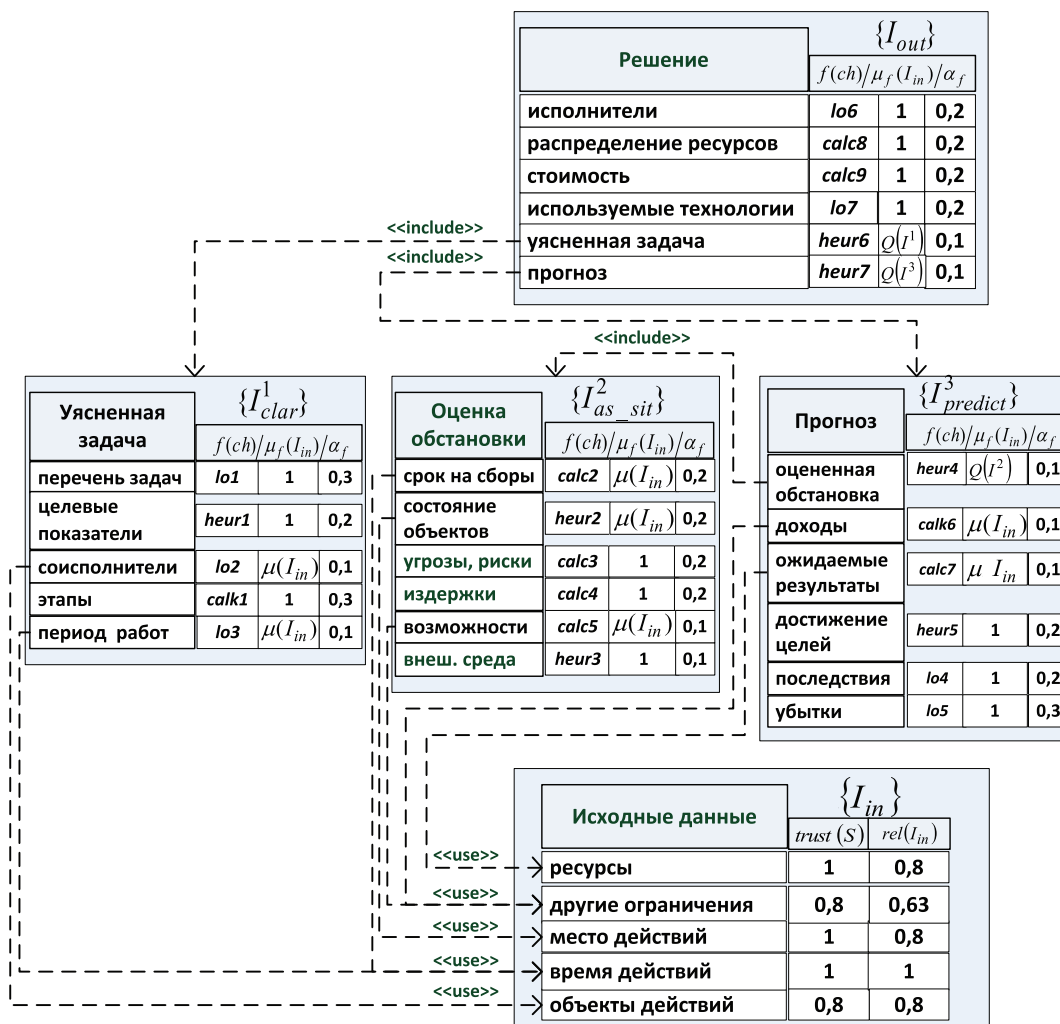


Рис. 1. Редуцированная информационная модель каркасного решения

Выражение (23.2) представляет условия по учету гетерогенности функций (пригодности для связывания неоднородных качественных и количественных элементов решения в оценку по одному комплексному показателю) в форме коэффициента Дайса, $Dice(i, j) = 2 \times |i \times j| / |i + j|$.

Выражение (23.3) накладывает ограничения на диапазон значений вводимой меры.

Выражение (23.4) отражает условие объективности (монотонности) – улучшение значений невозможно при ухудшении реальности.

Выражение (23.5) отражает возможность неаддитивности вводимой меры.

3. Мера обоснованности решений

В качестве меры обоснованности решений предлагается использовать нормированное качество (обоснованность) решений Q , основанное на

принципе минимума эвристик и понятии нормированной остаточной неопределенности решения $H_{end}(\{I_{out}\})$.

Определение 2. Принцип минимума эвристик – обоснованность решения тем выше, чем их меньше в процедурах принятия решений [20], поэтому обоснованность допустимо оценивать по доле эвристик в общей «площади обоснованности» решения.

Определение 3. Нормированное качество (обоснованность) каркасного решения на операцию $Q\{I_{out}\}$ – это основанный на принципе минимума эвристик комплексный показатель СППР, удовлетворяющий условиям (23).

Утверждение 3. Нормированное качество (обоснованность) решений Q допустимо оценивать на отрезке $0 \leq Q \leq 1$ по нормированной остаточной неопределенности решения $H_{end}(\{I_{out}\})$ в соответствии с принципом минимума

эвристик. Критерием оценки нормированного качества (обоснованности) решений служит правило:

$$\hat{Q} = \max(Q), \quad (24)$$

где

$$Q = 1 - H_{end}(\{I_{out}\}). \quad (25)$$

В свою очередь, $H_{end}(\{I_{out}\})$ определяется как функция:

$$H_{end}(\{I_{out}\}) = \frac{\sum_{l=1}^w \alpha_{heur_l} + \sum_{l=1}^w (T_{H_{0_l}}(\alpha, \mu))}{1 + \sum_{l=1}^w \alpha_{heur_l}}, \exists \alpha_{sem_j} : \alpha_{sem_j} \neq 0. \quad (26)$$

Здесь $T_{H_{0_l}}(\alpha, \mu)$ – неопределенность, вносимая исходными данными для l -й эвристики. Вычисляется как произведение Гамахера [1,43]: $T_{H_{0_l}}(\alpha, \mu) = 0$ при $\alpha_{heur_l} = (1 - \mu_{heur_l}) = 0$ и

$$T_{H_{0_l}}(\alpha, \mu) = \frac{\alpha_{heur_l} \times (1 - \mu_{heur_l})}{(\alpha_{heur_l} + (1 - \mu_{heur_l})) - (\alpha_{heur_l} \times (1 - \mu_{heur_l}))} \quad (27)$$

в противном случае.

Доказательство Утверждения 3 включает:

- доказательство соответствия функции (26) условию оценивания на отрезке $0 \leq Q \leq 1 \mathfrak{R}$;
- доказательство допустимости оценки обоснованности решений по функции $H_{end}(\{I_{out}\})$.

Доказательство соответствия функции (26) условию оценивания решений на отрезке $0 \leq Q \leq 1 \mathfrak{R}$ сводится к выяснению области значений функции $H_{end}(\{I_{out}\})$ на основе Леммы 3.

Лемма 3. Область значений функции $H_{end}(\{I_{out}\})$ всегда принадлежит отрезку $[0, 1] \mathfrak{R}$: $D(H_{end}(\{I_{out}\})) = [0, 1] \Rightarrow E(H_{end}(\{I_{out}\})) = [0, 1]$ при $0 \leq \alpha_{sem_j} \leq 1, j = 1, n, 0 \leq \mu_{heur_l} \leq 1, l = 1, w$.

Поскольку функция определена на отрезке $[0, 1] \mathfrak{R}$, доказательство включает две части:

- доказательство для условий $\mu_{heur_l} = 1, l = 1, w$;
- доказательство для условий $\mu_{heur_l} \neq 1, l = 1, w$.

Для условий $\mu_{heur_l} = 1, l = 1, w$, с учетом (23.1): $(\sum \alpha_{sem} = 1) \wedge (\alpha_{heur} \subseteq \alpha_{sem})$, выражение (26) может быть равно нулю или представляет собой правильную дробь:

$$H_{end}(\{I_{out}\}) = \frac{\sum_{l=1}^w \alpha_{heur_l} + \sum_{l=1}^w \frac{\alpha_{heur_l} \times (1-1)}{\alpha_{heur_l} + (1-1) - (\alpha_{heur_l} \times (1-1))}}{1 + \sum_{l=1}^w \alpha_{heur_l}} = \frac{\sum_{l=1}^w \alpha_{heur_l} + \sum_{l=1}^w 0}{1 + \sum_{l=1}^w \alpha_{heur_l}} = \frac{\sum_{l=1}^w \alpha_{heur_l}}{1 + \sum_{l=1}^w \alpha_{heur_l}},$$

следовательно, $E(H_{end}(\{I_{out}\})) = [0, 1]$. Лемма 3 для

условий $\mu_{heur_l} = 1, l = 1, w$ доказана.

Для условий $\mu_{heur_l} \neq 1, l = 1, w$ представим выражение (26) как функцию вида:

$$z = \left(\sum_{l=1}^w x_l + \sum_{l=1}^w \frac{x_l \times y_l}{x_l + y_l - x_l \times y_l} \right) / \left(\sum \alpha_{sem} + \sum_{l=1}^w x_l \right), \quad (28)$$

в которой область определения $D(z) = [0, 1]$ и рассмотрим область значений $E(z)$.

Для того, чтобы выполнялось условие $z \in [0, 1]$ необходимо и достаточно, чтобы выражение (28) представляло собой или обыкновенную правильную дробь, или $z = 1$, т.е. должно выполняться неравенство:

$$\sum_{l=1}^w x_l + \sum_{l=1}^w \frac{x_l \times y_l}{x_l + y_l - x_l \times y_l} \leq \sum \alpha_{sem} + \sum_{l=1}^w x_l. \quad (29)$$

Учитывая, что $\sum_{l=1}^w x_l \leq \sum \alpha_{sem}$, преобразуем

неравенство к виду

$$\sum_{l=1}^w \frac{x_l \times y_l}{x_l + y_l - x_l \times y_l} \leq \sum_{l=1}^w x_l$$

и рассмотрим неравенства слагаемых в неравенстве сумм поэлементно.

Для $l = 1$ неравенство имеет вид:

$$\frac{x_1 \times y_1}{x_1 + y_1 - x_1 \times y_1} \leq x_1.$$

Проведем преобразования: умножим на $x_1 + y_1 - x_1 \times y_1$ и разделим на x_1 обе части, сократим y_1 , перенесем $(x_1 \times y_1)$ в левую часть:

$$x_1 \times y_1 \leq x_1. \quad (30)$$

Так как $y_l = (1 - \mu_{heur_l})$ и $0 \leq (1 - \mu_{heur_l}) \leq 1$ по определению, то неравенство (30) выполняется.

Очевидно, что при повторении проведенных преобразований для $l = 2, w$ слагаемых, неравенство (30) будет выполняться. Следовательно, неравенство (29) верно и $E(H_{end}(\{I_{out}\})) = [0, 1]$. Лемма 3

для условий $\mu_{heur_l} \neq 1, l = 1, w$ доказана. Так как Лемма 3 доказана для условий $\mu_{heur_l} = 1, l = 1, w$ и $\mu_{heur_l} \neq 1, l = 1, w$, то Лемма 3 в целом доказана. Следовательно, выражение (26) соответствует условию оценивания решений на отрезке $0 \leq Q \leq 1 \mathfrak{R}$.

Доказательство допустимости оценки обоснованности решений по функции $H_{end}(\{I_{out}\})$ основывается на анализе свойств этой функции, ее соответствии условиям (23) и демонстрации примера расчета. График $H_{end}(\{I_{out}\})$ показан на рис. 2.

Анализ функции $H_{end}(\{I_{out}\})$ позволяет сделать следующие выводы:

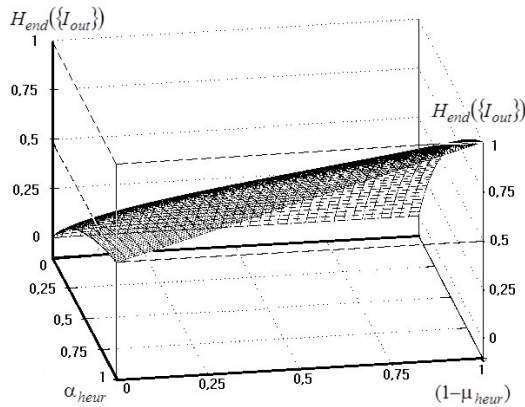


Рис. 2. График функции $H_{end}(\{I_{out}\})$

1. Вычисление выражения (26) интерпретируется как вычисление нормированной суммарной «площади» неопределенности, занимаемой эвристиками и неопределенными исходными данными в общей «нормированной площади» обоснованности решения. При этом, с учетом следствия из Утверждения 1, нормировка осуществляется «на максимум» по сумме весов потенциально оптимизируемых процедур и весов эвристик, $\alpha_{sem} \cup \alpha_{heur}$.
2. Функция соответствует условиям (23.1–23.3), так как состав свертки факторов проверяется непосредственным сравнением с требуемым составом, учет гетерогенности функций проверяется вычислением коэффициента Дайса, соответствие области значений доказано в Лемме 3.
3. Функция соответствует условиям (23.4) поскольку определена, непрерывна и монотонно возрастает на интервале $(0, 1) \mathfrak{R}$, $\alpha_{heur} + 1 \neq 0$ и $\alpha_{heur} \times (1 - \mu_{heur}) \neq \alpha_{heur} + (1 - \mu_{heur})$:

$$\lim_{\alpha_{heur} \rightarrow 0} (H_{end}(\{I_{out}\})) = H_{end}(\{I_{out}\}) = 0;$$

$$\lim_{\alpha_{heur} \rightarrow 1} (H_{end}(\{I_{out}\})) = H_{end}(\{I_{out}\}) = \frac{\sum (1 - \mu_{heur})}{2} + \frac{1}{2}; \quad (31)$$

$$\lim_{\mu \rightarrow 0} (H_{end}(\{I_{out}\})) = H_{end}(\{I_{out}\}) = \frac{2 \sum \alpha_{heur}}{\sum \alpha_{heur} + 1};$$

$$\lim_{\mu \rightarrow 1} (H_{end}(\{I_{out}\})) = H_{end}(\{I_{out}\}) = \frac{\sum \alpha_{heur}}{\sum \alpha_{heur} + 1}; \quad (32)$$

при представлении функции (26) в виде (28), с учетом $\sum \alpha_{sem} = 1$ [41; 42],

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{x + \frac{xy}{x+y-xy}}{1+x} \right) = \frac{x^2(2y^2-3y+1)-2xy(y-1)+2y^2}{(x+1)^2(x+y-xy)^2} > 0; \quad (33)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{x + \frac{xy}{x+y-xy}}{1+x} \right) = \frac{x^2}{(x+1)(x+y-xy)^2} > 0. \quad (34)$$

4. Функция соответствует условиям (23.5), так как обладает свойством супераддитивности в смысле $\forall(\alpha), \forall(\mu) \in (0, 1) \mathfrak{R} : T_E(\alpha, \mu) \leq T_{prod}(\alpha, \mu) \leq T_{H_0}(\alpha, \mu)$, где $T_E(\alpha, \mu)$ – произведение Эйнштейна, $T_{prod}(\alpha, \mu)$ – алгебраическое произведение, $T_{H_0}(\alpha, \mu)$ – произведение Гамахера (строгая непрерывная архимедова треугольная норма, t -норма, оператор пересечения в теории нечетких множеств) [1, 43].

Выбор $T_{H_0}(\alpha, \mu)$ для описания неопределенности исходных данных обоснуется тем, что t -норма в качестве произведения может использоваться для вычисления площади, а свойство супераддитивности в большей степени соответствует аксиомам согласованных функций доверия, чем аддитивность или субаддитивность.

5. $H_{end}(\{I_{out}\}) = 1$, тогда и только тогда, когда $(\sum \alpha_{heur} = 1) \wedge (1 - \mu_{heur_l} = 1)$, $l = \overline{1, w}$.

Другими словами, если решения принимают только на основе эвристик и исходные данные недостоверны, то обоснований нет и нормированное качество решений $Q = 0$.

6. $H_{end}(\{I_{out}\}) = 0$ только тогда, когда $\sum \alpha_{heur} = 0$. Иначе говоря, если в решении нет эвристик, то нормированное качество решений $Q = 1$. Это свойство отражает интуитивное представление об идеальной системе принятия решений на базе оптимальных процедур.
7. $0 < H_{end}(\{I_{out}\}) < 1$, если эвристики составляют часть всех процедур получения решения. Это соответствует представлению об изменении обоснованности решений в реальных системах в зависимости от количества эвристик и достоверности данных. Учитывается, что наличие неопределенных исходных данных в оптимальных процедурах приравнивает их к эвристикам.
8. $H_{end}(\{I_{out}\}) = 0,5$, если совместная неопределенность эвристик и исходных данных составляет $1/2$ «общей нормированной площади» обоснованности решения.

Пример. Пусть существует решение $\{I_{out}\}$, со структурой и исходными данными, представленными на рис. 1. Тогда, применяя выражения (20), (25)–(27) и правила оценки надежности источника информации и достоверности входной информации (табл. 1), можно рассчитать значения обоснованности компонентов и решения в целом. Результат расчета:

$$Q\{I_{clar}^1\} = 0,7143; \quad Q\{I_{a_sit}^2\} = 0,5739;$$

$$\{I_{predict}^3\} = 0,5033; \quad Q\{I_{out}\} = 0,691.$$

Вычисления осуществляются с учетом Утверждения 2 об эквивалентности процедур $\{f_{sem}\} \sim \{f_{heur}\}$, т. е.

$$f_{b_2}, f_{b_3}, f_{calc_5}, f_{calc_6}, f_{calc_7} \mapsto f_{heur}.$$

Иллюстрация структуры и результат расчета $H_{end}(\{I_{as_sit}^2\})$ представлены на рис. 3.

Соответствие свойств функции (26) условию оценивания на отрезке $0 \leq Q \leq 1$ $\mathfrak{R}$ и условиям (23), а также пример расчета служат доказательством Утверждения 3.

Оценка обстановки	$f(ch)$	$1 - \mu_f(I_{in})$	α_f	$T_{H_{a_i}}$	$\alpha_{heur_i} + T_{H_{a_i}}$
срок на сборы	calc 2	0	0,2	-	-
состояние объектов	heur 2	0,2	0,2	0,1111	0,3111
угрозы, риски	calc 3	0	0,2	-	-
издержки	calc 4	0	0,2	-	-
возможности	calc 5	0,37	0,1	0,0855	0,1855
внешняя среда	heur 3	0	0,1	-	0,1000
				$\sum (a_{heur_i} + T_{H_{a_i}})$	0,5966
				$1 + \sum \alpha_{heur}$	1,4
				H_{end}	0,4261
				$Q(I_{as_sit}^2)$	0,5739

Рис. 3. Иллюстрация структуры и результат расчета $H_{end}(\{I_{as_sit}^2\})$

Заключение

В статье доказано существование функции количественной оценки обоснованности решений $H_{end}(\{I_{out}\})$ при заданных ограничениях. Функция формализует принцип минимума эвристик – инвариант аналитической деятельности, пригодный для совершенствования СППР.

Литература

1. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике : пер. с франц. / Д. Дюбуа, А. Прад. – М. : Радио и связь, 1990. – 288 с. (D. Dubois, H. Prade. Théorie des possibilités. Applications à la représentation des connaissances en informatique. – 2e éd. rev. et augm. – Paris.: MASSON, 1988. 292 p.).
2. Zadeh Lotfi A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Vol. : SMC-3, Issue : 1, Jan.1973). P 28-44.
3. Ларичев О.И. Вербальный анализ решений / Под ред. А.Б. Петровского. – М.: Наука, 2006. – 181 с.
4. Мазуров В.Д. Метод комитетов в задачах оптимизации и классификации. – М.: Наука, 1990. – 248 с.
5. John Von Neumann, Oskar Morgenstern. Theory of Games and Economic Behavior. Science Editions, J. Wiley, 1944 – 641 p.
6. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: Теория и практика. – М.: Наука. 1986. – 288 с.
7. Hubert K. Rampersad. 2005. Universal System Performance: How to achieve results while maintaining integrity, Wiley Publisher. 332 p.
8. Ройзензон Г.В. Синергетический эффект в принятии решений // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник / Под ред. Ю. С. Попкова, В. Н. Садовского, В. И. Тищенко. — № 36. 2011-2012. М.: УРСС, 2012. — С. 248–272.
9. Jay Wright Forrester. 2013. Industrial Dynamics. Martino Fine Books. 482 p.
10. Черешкин Д.С. Модель процесса принятия решений в организационной системе // Проблемы современной науки и образования. 2017. № 32 (114). С. 16-25.
11. Нейман Дж. фон. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент // Автоматы / Под ред. А. А. Ляпунова. – М.: Иностранная литература, 1956. – С. 68–139. (John von Neumann. 1952. Probabilistic Logics and the Synthesis of Reliable Organisms from Unreliable Components. 98 p).
12. Бритков В.Б., Ройзензон Г.В. Анализ больших данных в патентных исследованиях // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2016). Труды конференции. – Т. 1. – Смоленск: Универсум, 2016. – С. 291–299.
13. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей. Кн. 1: Учеб. пособие для вузов / Общая ред. А.И. Галушкина. – М.: ИПЖР. 2000. – 416 с.
14. Попов Э.В. Экспертные системы : Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ / Э.В. Попов. – М. : Наука, 1987. – 288 с
15. Кукушкин А.А. Сетецентрическая парадигма развития ситуационных центров : монография / А.А. Кукушкин. – Орел : Академия ФСО России, 2014. - 163 с.
16. Marvin Minsky. 1974. A Framework for Representing Knowledge. MIT-AI Laboratory Memo 306, June. 1974. 76 p.
17. Представление и использование знаний: пер. с япон. / под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. – М. : Мир, 1989. – 220 с. (The representation and use of knowledge : translated from the Japanese. / ed. by H. Ueno, M. Ishizuka. – М.: Mir, 1989. – 220 p.).
18. Нечеткие множества в моделях управления и искусственном интеллекте / под ред. Д. А. Поспелова. – М. : Наука, 1986. – 311 с.
19. Object Oriented Systems Analysis: Modeling the World in Data. Sally Shlaer, Stephen J. Mellor. Prentice Hall. 1988. 144 p.

20. *Анфилатов В.С. и др.* Системный анализ в управлении: Учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 368 с.
21. *Ларичев О.И., Мошкович Е.М.* Качественные методы принятия решений. — М.: Физматлит, 1996. — 208 с.
22. *Макаров Б.М.* Лекции по вещественному анализу: учебник/ Б.М. Макаров, А.Н. Подкорытов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 688 с.
23. *Павлов А.Н., Соколов Б.В.* Принятие решений в условиях нечеткой информации: учеб. пособие / А. Н. Павлов, Б. В. Соколов; ГУАП – СПб., 2006 – 72 с.
24. *Попков Ю.С.* Математическая демоэкономика. Макросистемный подход. – М.: ЛЕНАНД, 2013. 560 с.
25. *Вильсон А.Дж.* Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 248 с. (А. Wilson. 1970. Entropy in Urban and Regional Modelling. Pion Limited. London. 166 p.).
26. *Цыгичко В.Н.* Руководителю – о принятии решений / В. Н. Цыгичко. – М.: Финансы и статистика. 1991. – 240 с.
27. *Гвардейцев М.И., Морозов В.П., Розенберг В.Я.* Специальное математическое обеспечение управления. 2-е изд., доп. – М.: Советское радио. 1980. – 536 с.
28. *Колмогоров А.Н.* Три подхода к определению понятия «количество информации». Проблемы передачи информации. 1965, том 1, выпуск 1, С 3-11.
29. *Черноруцкий И.Г.* Методы принятия решений : – СПб.: БХВ-Петербург, 2005, 416 с.
30. *Васильев Ф.П.* Методы оптимизации: В 2-х кн. – Нов. изд., пер. и доп. – М.: МЦНМО, 2011. Кн. 1. – 620 с.
31. *Павлов А.Н., Соколов Б.В.* Принятие решений в условиях нечеткой информации: учеб. пособие / А. Н. Павлов, Б. В. Соколов; ГУАП – СПб., 2006 – 72 с.
32. *Торра В.* Математика и выборы. Принятие решений. Мир математики: в 45 т. Т 45: / Пер. с англ. – М.: Де Агостини. 2014 – 160 с. (When Mathematics goes to the Pools: Decision processes. RBA Coleccionables S.A. 2014. 160 p.).
33. *Направление фундаментальных исследований № 32 – Интеллектуальные системы управления;* управление знаниями и системами междисциплинарной природы, человек в контуре управления // Приложение № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 – 2020 годы (в ред. от 31.10.15 г. № 2217-р). С. 70.
34. *Подinovский В.В.* Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. – М.: Физматлит, 2007. – 64 с.
35. *Методы определения коэффициентов важности критериев /* А.М. Анохин, В.А. Глотов, В.В. Павельев, А. М. Черкашин // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 8. – С. 3–35.
36. *Глотов В.А., Павельев В.В.* Векторная стратификация. – М.: Наука, 1984. 94 с.
37. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике. Перевод с английского. Под ред. Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – С.268. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.novsu.ru/file/1086154>, свободный. (Shannon, C.E. 1948. A Mathematical Theory of Communication, Bell System Technical Journal, 27, pp. 379–423 & 623–656, July & October.).
38. *Oskar Morgenstern.* On the accuracy of economic observations. Second edition, completely revised. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1965.
39. *Пуряев А.С.* Научные основы экономических исследований. Учебное пособие. – Набережные Челны: КамПИ, 2006, 182 с.
40. *Morrow J.E.* Open-Source Intelligence. Army Techniques Publication. No. 2-22.9 (FMI 2-22.9). Washington, DC, 10 July 2012. P.22. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://publicintelligence.net/fmi-2-22-9-open-source-intelligence>, свободный.
41. *Империя чисел.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.numberempire.com/derivativecalculator.php>, свободный.
42. *WolframAlpha* computational knowledge engine. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.wolframalpha.com/examples/math/, свободный.
43. *Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьев Г.В. и др.* Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.

Кукушкин Александр Антонович. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации» (Академия ФСО России), г. Орёл. Сотрудник, кандидат технических наук, доцент. Количество печатных работ: более 50 (в том числе 2 монографии и 5 учебных пособий). Область научных интересов: системы поддержки принятия решений, искусственный интеллект, системный анализ в управлении, автоматическая обработка текста. E-mail: kaa2niii@academ.msk.rsnet.ru

Information model and measure of validity of the wireframe solution as an implementation of the minimum heuristic principle

A.A. Kukushkin¹

¹ The Federal state government military educational institution of higher education «The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation», Orel, Russia.

Abstract. The problem of estimated the validity of decisions on the example of a reduced model of the organizational action plan is considered. As a mathematical measure, we introduce the function of normalized residual uncertainty, which implements the minimum heuristic principle. The concept of *t*-norm and frame-oriented approach to the description of the subject area is used. The function is designed to assess decision support systems, planning methods and the formation of modern standards of managerial work.

Keywords: *normalized residual uncertainty of the solution, frame-oriented solution, measure of validity of the wireframe solution, information planning model.*

DOI: 10.14357/20790279190108

References

1. *D. Dubois and H. Prade.* 1988. Théorie des possibilités: applications à la représentation des connaissances en informatique. 2e éd. rev. et augm. Masson, Paris, 292 p.
2. *Zadeh Lotfi A.* Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Volume: SMC-3, Issue:1, Jan. 1973) P 28-44.
3. *Larichev O.I.* 2006. Verbalny analys reshenij / pod red. A. B. Petrovsky. [Verbal decision analysis / ed. by A. B. Petrovsky]. Moscow: Nauka. 181 p.
4. *Mazurov V.D.* 1990. Metod komitetov v zadatchach optimizacii i klassifikacii. [Method of committees in optimization and classification problems]. Moscow: Nauka. 248 p.
5. *John Von Neumann, Oskar Morgenstern.* 1944. Theory of Games and Economic Behavior. Science Editions, J. Wiley. 641 p.
6. *Pospelov D.A.* 1986. Situacionnoe upravlenie: Teorija i praktika. [Situational management: Theory and Practice]. Moscow: Nauka. 288 p.
7. *Hubert K. Rampersad.* 2005. Universal System Performance: How to achieve results while maintaining integrity, Wiley Publisher. 332 p.
8. *Roizenzon, G.V.* Sinergeticheskij effect v prinyatii reshenij [Synergistic effect in decision making] // System research. Methodological problem. Yearbook / edited by V. Popkov, V. N. Sadovsky, V. I. Tishchenko. - №36. 2011-2012. M.: URSS, 2012. - P. 248-272.
9. *Jay Wright Forrester.* Industrial Dynamics. 2013. Martino Fine Books. 482 p.
10. *Chereshkin D.S.* Model processa prinyatiya reshenij v organizacionnoj sisteme [Model of decision-making in the organizational sysem] // Problemy sovremennoj nauki i obrazovaniya [Problems of modern science and education]. 2017. № 32 (114). S. 16-25.
11. *John von Neumann.* 1952. Probabilistic Logics and the Synthesis of Reliable Organisms from Unreliable Components. 98 p.
12. *Britkov V.B., Roizenzon G.V.* 2016. Analiz bolshich dannych v patentnyh issledovaniyach. [Analysis of big data in the patent research]. The 15-th national conference on AI with international participation (KII-2016). Conference proceedings. – Vol. 1. – Smolensk: Universum. P. 291.
13. *Galushkin A.I.* 2000. Teorija neuronnyh setej. [Theory of neural networks]. : Textbook for

- high schools / General editor A. I. Galushkin. – M.: IPGR. 416 p.
14. *Popov E.V.* 1987. *Ekspertnye sistemy: Reshenie neformalizovannykh zadach v dialoge z EVM* [Expert systems: solving non-formalized problems in dialogue with computers]. M: Nauka. 288 p.
 15. *Kukushkin A.A. eds.* 2014. *Setecentricheskaya paradigma razvitiya situacionnykh centrov* [Network-centric paradigm of development of situational centers]. Orel: Academy of the FGS of the Russian Federation. 163 p.
 16. *Marvin Minsky.* 1974. *A Framework for Representing Knowledge*. MIT-AI Laboratory Memo 306, June, 1974. 76 p.
 17. *The representation and use of knowledge*: translated from the Japanese. / ed. by H. Ueno, M. Ishizuka. 1989. Moscow: Mir. 220 p.
 18. *Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennom intellekte* / pod red. D. A. Pospelova. 1986. [Fuzzy sets in management models and artificial intelligence / ed. by D. A. Pospelov]. Moscow: Nauka. 311 p.
 19. *Object Oriented Systems Analysis: Modeling the World in Data*. 1988. Sally Shlaer, Stephen J. Mellor. Prentice Hall. 144 p.
 20. *Anfilatov V.S. et al.* 2008. *Sistemnyj analiz v upravlenii* [System analysis in management] Studies Handbook / V. S. Anfilatov, A. A. Emelyanov, A. A. Kukushkin, ed. by A. A. Emelyanov. Moscow: Finance and statistics. 368 p.
 21. *Larichev O.I., Moshkovich E.M.* 1996. *Kachestvennye metody prinjatija reshenij*. [Qualitative methods of decision-making]. Moscow: Fizmatlit. 208 p.
 22. *Makarov B.M.* 2011. *Lekcii po veshchestvennomu analizu* [Lectures on real analysis]: textbook. B. M. Makarov, A. N. Podkorytov. SPb.: BHV-Petersburg. 688 p.
 23. *Pavlov A.N., Sokolov B.V.* 2006. *Prinyatie reshenij v usloviyah nechetkoj informacii* [Decision-Making in conditions of fuzzy information]. SPb: GUAP. 72 p.
 24. *Popkov Yu.S.* 2013. *Matematicheskaya demoekonomika. Makrosistemnyj podchod*. [Mathematical demoeconomic. Macrosystem approach]. Moscow: LENAND. 560 p.
 25. *Alan Wilson.* *Entropy in Urban and Regional Modelling*. Pion Limited. London. 1970. 166 p.
 26. *Tsygichko V.N.* 1991. *Rukovoditelju – o prinyatii reshenij* [To the head – about decision-making]. V. N. Tsygichko. Moscow: Finance and statistics. 240 p.
 27. *Gvardejcev M.I. et al.* 1980. *Specialnoe matematicheskoe obespechenie upravleniya* [Special mathematical management software]. 2 ed. Moscow: Soviet radio. 536 p.
 28. *Kolmogorov A.N.* 1965. *Tri podhoda k opredeleniyu ponyatiya «kolichestvo informacii»* [Three approaches to the definition of «quantity of information»]. //Problems of information transmission, 1965, volume 1, issue 1, From 3–11.
 29. *Chernoruckij I.G.* 2005. *Metody prinyatiya reshenij* [Decision-making Methods]. SPb.: BHV-Petersburg. 416 p.
 30. *Vasilev F.P.* 2011. *Metody optimizacii*. [Optimization Methods]. Moscow: MCNMO. 620 p.
 31. *Pavlov A.N., Sokolov B.V.* 2006. *Prinjatie reshenij v uslovijach nechetkoj informacii*. [Decision making under fuzzy information]. GUAP. St.Petersburg. 72 p.
 32. *Vicenc Torra.* 2014. *When Mathematics goes to the Pools: Decision processes*. RBA Coleccionables S.A. 160 p.
 33. *Napравlenie fundamentalnyh issledovanij № 32 – Intellektualnye sistemy upravleniya; upravlenie znaniyami i sistemami mezhdisciplinarnoj prirody, chelovek v konture upravleniya*. [Direction of fundamental research № 32 – Intellectual management systems; knowledge management and systems of interdisciplinary nature, man in the control loop]. Appendix № 2 To the program of fundamental research of the state academies of Sciences for 2013–2020 (as amended by the order of the Government of the Russian Federation of October 31, 2015 № 2217-p). P. 70.
 34. *Podinovskiy V.V.* 2007. *Vvedeniye v teoriyu vazhnosti kriteriyev v mnogokriterialnykh zadachakh prinyatiya resheniy*. [Introduction to the theory of the importance of criteria in multi-criteria decision-making tasks]. Moscow: Fizmatlit. 64 p.
 35. *Metody opredeleniya koefitsiyentov vazhnosti kriteriyev*. [Methods for determining coefficients of importance of criteria] / A. M. Anokhin, V. A. Glotov, V. V. Pavelyev, A. M. Cherkashin // *Avtomatika i telemekhanika*. – 1997. – № 8. P. 3–35.
 36. *Glotov V.A. Pavelyev V. V.* 1984. *Vektornaya stratifikatsiya*. [Vector stratification]. M.: Nauka. 94 p.
 37. *Shannon C.E.* 1948. *A Mathematical Theory of Communication*, Bell System Technical Journal, 27, pp. 379–423 & 623–656, July & October.
 38. *Oskar Morgenstern.* 1965. *On the accuracy of economic observations*. Second edition,

- completely revised. Princeton, New Jersey, Princeton University Press.
39. *Puryaev A.S.* 2006. Nauchnye osnovy ehkonomicheskikh issledovanij [Scientific basis of economic research]. Textbook. Naberezhnye Chelny: KamPI. 182 p.
40. *Morrow J.E.* Open-Source Intelligence. Army Techniques Publication, No. 2-22.9 (FMI 2-22.9). Washington, DC, 10 July 2012. P.22. Available at: <https://publicintelligence.net/fmi-2-22-9-open-source-intelligence> (accessed 05.17.2018).
41. *Imperiya chisel* [Empire of numbers]. Available at: <https://ru.numberempire.com/derivativecalculator.php> (accessed March 12, 2018).
42. *WolframAlpha* computational knowledge engine. Available at: www.wolframalpha.com/examples/math/ (accessed February 27, 2018).
43. *Borisov A.N. et al.* 1989. Obrabotka nechetkoj informacii v sistemah prinyatiya reshenij [Processing of fuzzy information in decision-making systems]. Moscow: Radio i svyaz. 304 p.

Kukushkin A.A. PhD, Associate Professor, The Federal state government military educational institution of higher education «The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation», 35 Priborostroitel'naya str., Orel, 302034, Russia, e-mail: kaa2niii@academ.msk.rsnet.ru