

ПРОДУКЦИОННЫЕ ПРАВИЛА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ДОКУМЕНТОВ

Корнеев В.П.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия
korneenko_vp@pfur.ru

Аннотация. В задачах многокритериального оценивания информационных документов, представленных в разнотипных шкалах измерения применение аддитивного механизма агрегирования не возможно в силу неоднородности разнотипных шкал. Одним из путей решения данной проблемы является применение механизма агрегирования, базирующийся на продукционных правилах искусственного интеллекта.

Ключевые слова: продукция, шкала измерения, критерии, механизм агрегирования.

Введение

В задачах многокритериального выбора [1, 2] обычно многие объекты (альтернативы, варианты решений, объекты экспертиз) могут быть измерены в разнотипных шкалах измерения (количественных, порядковых, экспертных) [3], то применение аддитивного механизма агрегирования возможно только в том случае, если исходные шкалы преобразовать в однородные [4, 5]. Применение продукционных правил позволяет агрегировать в исходных оценках объекты, измеренных в разнотипных шкалах.

В основе продукционных моделей лежит понятие продукции, представленной импликацией вида «если ..., то ...» [6, 7].

В условиях посылки при этом содержится набор значений концевых критериев «куста» иерархического дерева, а в условиях следствия – одно из значений корневого критерия на промежуточном или верхнем уровне дерева. Особенностью продукционного метода агрегирования является возможность его реализации в случае неполноты исходных данных, когда известны значения не всех концевых критериев куста, а лишь их части. Другой особенностью является возможность реализации правила агрегирования по отношению не только к непосредственному корню куста, но и по отношению к произвольному корню куста более высокого уровня. Это происходит в тех случаях, когда отдельные значения или сочетания значений критериев подкуста (вершины) дерева однозначно или с заданной степенью достоверности детерминируют значения критерия куста (вершины) более высокого уровня.

В данной работе показано применение продукционных правил при экспертном оценивании объектов (информационных материалов, аналитических записок, документов) в порядковой балльной шкале по многим показателям, а также на конкретном примере продемонстрирована процедура агрегирования балльных оценок информационных документов по трёхуровневому дереву критериев.

1. Формализованная модель продукционного механизма

Введём в рассмотрение следующие обозначения. Пусть

$D = \{d_q: q = \overline{1, n_D}\}$ – множество оцениваемых объектов (информационных документов);

$F = \{f_1, \dots, f_m\}$ – множество критериев;

$x_j^{(q)} = f_j(d_q)$ – оценка объекта $d_q \in D, q = \overline{1, n_D}$, в исходной (количественной, порядковой) шкале измерения, которая в общем виде представима в виде

$$Sh(0) = \langle [\eta_{\min}, \eta_{\max}]; t; \{S_i\}, i \in I \rangle,$$

где η_{\min} (η_{\max}) – минимальное (максимальное) значение признака (критерия);

t – количество интервалов разбиения (дискретных шкальных градаций) критерия;

$\{S_i\}, i \in I$ – отношения, заданные на множестве градаций характеризующие соответствующий тип шкал;

I – множество индексов, перечисляющих множество отношений $\{S_i\}$.

Формализованная модель продукционных механизмов агрегирования состоит из следующих компонент.

1. Многоуровневой структуры критериев, которую представим в виде многоуровневого (иерархического) дерева, заданного описанием «по уровням» $0, 1, 2, \dots, s, \dots, n$ (рис. 1):

$f_{0,1}$ – корневой критерий дерева 0-го (верхнего) уровня;
 $f_{s,1}, \dots, f_{s,m_s}$ – критерии s -го уровня,
 $f_{n,1}, \dots, f_{n,m_n}$ – критерии нижнего n -го уровня,
 $f_{0,1}$ – корневой критерий дерева 0-го (верхнего) уровня,
 n_s – число критериев на s -м уровне;
 $(n + 1)$ – число уровней.

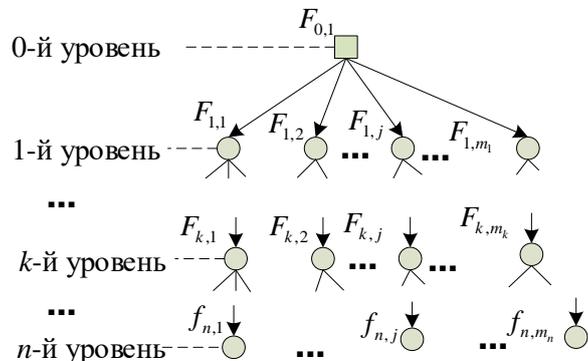


Рис. 1. Иерархическое дерево критериев

2. Множества градаций критериев на различных уровнях дерева:

$$R_j^s = \{r_{s,j} \in \overline{1, n_{s,j}}\} \forall s = 0, 1, \dots, n; j = 1, \dots, m_s,$$

где $r_{s,j}$ – r -я градация j -го критерия на s -м уровне дерева, а $n_{s,j}$ – число градаций.

В продукционных механизмах агрегирования множество градаций предполагается конечным (дискретным ограниченным множеством). Оценки информационных документов $d_q \in D$ по критерию $f_{s,j}$ в результирующей порядковой b -балльной (вторичной) шкале $Sh(I) = \langle r = \overline{1, b}; < \rangle$ представим в виде:

$$x_j^{(q)} \xrightarrow{\varphi} r_{s,j}^{(q)} = \varphi(x_j^{(q)}).$$

3. Продукционного механизма (правил) агрегирования, представленного ниже.

2. Продукционный механизм агрегирования

Для формализации данного механизма воспользуемся следующими обозначениями:

f_1, \dots, f_m – конечные критерии не одноуровневого, а сложного многоуровневого узла (куста) дерева, представленного на рис. 2 [5].

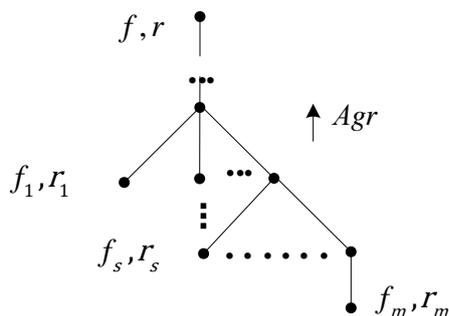


Рис. 2. Пример сложного многоуровневого узла критериев

Соответственно r_1, \dots, r_m будут обозначать результаты измерения данных критериев в единой результирующей шкале $Sh(I)$, f – корневая вершина.

Оператор агрегирования Agr как продукция может определяться на значениях r_s критериев f_s в шкале $Sh(I)$, $s \leq m$, или сразу на значениях критериев в исходных шкалах измерения.

В первом случае будем иметь продукции вида

$$r_{j_1} \wedge r_{j_2} \wedge \dots \wedge r_{j_r} \rightarrow r_{\Sigma},$$

во втором

$$f_{j_1} \wedge f_{j_2} \wedge \dots \wedge f_{j_r} \rightarrow f_{\Sigma},$$

где r_{j_p}, f_{j_p} – соответственно значения критериев в шкале $Sh(I)$ или шкале $Sh(0)$, $p = \overline{1, l}$, $l \leq m$.

После этого к значениям критерия применяется преобразование, реализующее переход от шкалы $Sh(0)$ к шкале $Sh(I)$. Во втором случае такого преобразования и перехода от $Sh(0)$ к $Sh(I)$ делать не надо.

Таким образом, можно констатировать, что продукционный метод допускает реализацию как в единой шкале – с использованием для всех критериев переходов вида $Sh(0) \rightarrow Sh(I)$, так и в разных исходных шкалах – без использования таких переходов.

В обоих случаях оператор агрегирования Agr можно задать в виде набора правил:

$$1 \Leftrightarrow \Pi_1 = (\Pi_1^1, \Pi_2^1, \dots, \Pi_{\eta_1}^1);$$

$$2 \Leftrightarrow \Pi_2 = (\Pi_1^2, \Pi_2^2, \dots, \Pi_{\eta_2}^2);$$

...

$$s \Leftrightarrow \Pi_s = (\Pi_1^s, \Pi_2^s, \dots, \Pi_{\eta_s}^s);$$

...

$$m \Leftrightarrow \Pi_m = (\Pi_1^m, \Pi_2^m, \dots, \Pi_{\eta_m}^m),$$

где Π_k^l есть продукция (импликация) вида

$$f_{(i_1 \dots i_{j-1} 1)}^{(k,q)} \wedge \dots \wedge f_{(i_1 \dots i_{j-1} i_j)}^{(k,q)} \wedge \dots \wedge f_{(i_1 \dots i_{j-1} q)}^{(k,q)} \rightarrow f_{(i_1 \dots i_{j-1})}^{(q)}.$$

Здесь $f_{(i_1 i_2 \dots i_{j-1} i_j)}^{(k,q)} = f_{i_{jt}}$ – значение $f_{(i_1 i_2 \dots i_{j-1} i_j)}$ подкритерия куста, входящее в k -ю продукцию Π_k^s s -й градации критерия в шкале $Sh(0)$ или шкале $Sh(I)$.

В случае задания критериев в единой шкале $Sh(I)$ необходимо скорректировать множества продукций Π_r как результаты применения оператора агрегирования Agr :

$$a) \{i\} \Leftrightarrow \bigcup_{j=1}^{s_i} \Pi_{s_{i-1}+j}, i = \overline{1, \eta}. \quad б) \left\{ \bigcup_{j=1}^{u_i} (u_{i-1} + j) \right\} \Leftrightarrow \Pi_i, i = \overline{1, m}.$$

Если среди перечисленных продукций не существует ни одной, составленной из компонент вектора значений j -го критерия

$$(f_{j_1}(d), f_{j_2}(d), \dots, f_{j_m}(d)),$$

принимаемых на объекте (альтернативе) d в шкале $Sh(0)$ или шкале $Sh(I)$, то происходит отказ от агрегирования.

Данный механизм агрегирования в основном реализуется в экспертных системах, продукции которых имеют в этом случае вид:

$$f_1 \wedge \dots \wedge f_s \wedge \dots \wedge f_m \rightarrow f, s \leq m.$$

3. Применение механизма продукционного агрегирования

3.1. Задача оценки по продукционным правилам информационных материалов

Рассмотрим механизм агрегирования по продукционным правилам при оценивании ценности информационных материалов (документов). Задача оценки информационных материалов (информационных документов) стоит не только перед разведывательными подразделениями и государственными структурами различных стран [8], но и является одной из важнейших задач коммерческих компаний при ведении конкурентной разведки [9].

В качестве **основных показателей**, используемых в качестве **критериев** при оценке информационно-аналитических материалов (документов), рассмотрим: достоверность, актуальность, новизну, структурность и полноту (содержательность) информационных материалов.

В свою очередь «достоверность», «актуальность» и «новизна» информационных материалов характеризуют «полезность» – «важнейший критерий ценности разведывательной информации» [8],

а «структурность» и «полнота», т.е. информационных материалов, характеризуют «аналитичность» материалов (содержательность, выводы, рекомендации).

В качестве обобщённого критерия качества оцениваемых информационных материалов является «ценность», которую отождествим с корневой вершиной иерархического дерева критериев, заданного описанием «по ветвям» [10] и представленного на рис. 3.

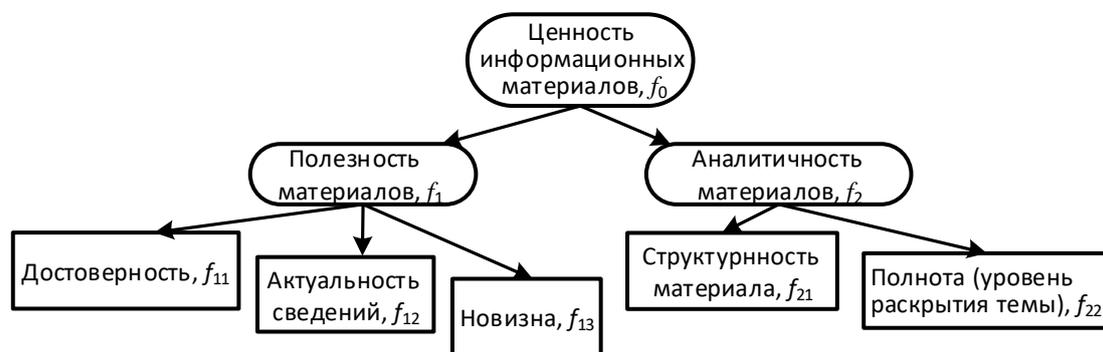


Рис. 3. Иерархическое дерево критериев

При экспертном оценивании информационных материалов (документов) обычно используют порядковую b -балльную шкалу $Sh(I) = \langle r = \overline{1, b}; < \rangle$, где b – число градаций. Рассмотрим продукционные правила при шкалировании аналитиками информационных материалов в порядковой пятибалльной шкале $R = \{r | r = 1, 2, 3, 4, 5\}$.

Для критерия «достоверность» можно привести следующие продукционные правила.

1. Если сведения информационного материала *достоверны* с (субъективной) вероятностью из отрезка $[80 \div 100]$, то информационный материал оценим в пятибалльной шкале в 5 баллов.

2. Если сведения информационного материала *наверняка достоверны* с вероятностью в шансах из отрезка $[60 \div 79]$, то информационный материал оценим в 4 балла.

3. Если сведения информационного материала *почти, наверное, достоверны* с вероятностью из отрезка $[40 \div 59]$, то информационный материал оценим в 3 балла.

4. Если сведения информационного материала *мало достоверны* с вероятностью из отрезка $[20 \div 39]$, то информационный материал оценим в 2 балла.

5. Если сведения информационного материала *не достоверны* с вероятностью в шансах из отрезка $[1 \div 19]$, то информационный материал оценим в 1 балл.

Аналогичные продукционные правила при шкалировании информационных материалов можно построить и для остальных концевых критериев иерархического дерева.

Соответствие между вербальной интерпретацией степени критерия, экспертной интервальной вероятностью и оценками критериев в градациях порядковой 5-балльной шкалы представлены в таблице 1.

Автоматизация процесса выведения итоговой оценки базируется на вычислении значений обобщённого (интегрального) критерия, который производится на основе **продукционных решающих правил**, учитывающих сочетания значений частных концевых и групповых критериев, на основе которых формируется соответствующее значение интегрального критерия.

Таблица 1. Соответствия между градациями шкал критериев

№	Вербальная интерпретация значения критерия	Экспертная интервальная вероятность в 100-балльной шкале	Степень оценивания документов по критериям в 5-ти балльной шкале, $r_j^{(q)} = f_j(d_q), f_j \in F$
1	Высокая	80 ÷ 100	5
2	Хорошая	60 ÷ 79	4
3	Средняя	40 ÷ 59	3
4	Низкая	20 ÷ 39	2
5	Малозначимая	1 ÷ 19	1

3.2. Решающие правила оператора агрегирования оценок информационных материалов

Оператор агрегирования оценок информационных документов по критериям, структурированных в виде иерархического дерева ценности материалов, представим в виде четырёх решающих правил.

1. Если для конечных критериев иерархического дерева документ $d_q \in D$ получил оценку «низкая» или «малозначимая», что соответствует балльным оценкам

$$r_j^{(q)} = 1 \vee r_j^{(q)} = 2, j = 1, 2, 3, 4, 5,$$

где $f_1 \equiv f_{11}; f_2 \equiv f_{12}; f_3 \equiv f_{13}; f_4 \equiv f_{21}; f_5 \equiv f_{22}$,

то оценке $r_0^{(q)} = f_0(d_q)$ «ценности» данного документа присваивается балл 1 или балл 2, т.е.

$$r_0^{(q)} = 1 \vee r_0^{(q)} = 2.$$

Такие документы исключаются из дальнейшего рассмотрения.

2. Если по критериям f_{11} – достоверность или f_{12} – актуальность или f_{13} – новизна» для информационного документа $d_q \in D$ найдётся оценка $r_{f_{1j}}^{(q)} = f_{1j}(d_q)$, $j = 1, 2, 3$, с минимальным значениям балла из множества $\{3, 4, 5\}$, то *при любом наборе значений других частных критериев полезность* документа определяется по этой минимальной оценки, т.е.

$$r_1^{(q)} = f_1(a_q) = \min_{a_q \in A} \{f_{11}(a_q), f_{12}(a_q), f_{13}(a_q)\},$$

3. Если по критериям f_{21} – структурность или f_{22} – актуальность для документа $a_q \in A$ найдётся оценка $x_{f_{2j}}^{(q)} = f_{2j}(a_q)$, $j = 1, 2$, с минимальным значениям, то *при любом наборе значений другого частного критерия аналитичность* документа определяется по этой минимальной оценки, т.е.

$$r_2^{(q)} = f_2(a_q) = \min_{a_q \in A} \{f_{21}(a_q), f_{22}(a_q)\},$$

4. Поскольку оценки информационных документов по критериям f_1 и f_2 с учётом первого решающего правила могут принимать баллы из множества $R = \{3, 4, 5\}$, то значение оценки объекта $a_q \in A$ по критерию f_0 – ценность определим из условия

$$r_0^{(q)} = F_0(a_q) = \max_{a_q \in A} \{f_1(a_q), f_2(a_q)\}.$$

4. Пример продукционного агрегирования оценок информационных материалов

4.1. Агрегирование оценок информационных материалов по продукционным правилам

Рассмотрим пример решения задачи продукционного агрегирования информационных материалов из множества $D = \{d_q | q = \overline{1, n_D}\}$, $n_D = 7$, оценки которых по продукционным правилам для конечных критериев иерархического трёхуровневого дерева представлены в таблице 2.

Таблица 2. Исходные оценки документов по продукционным правилам в порядковой шкале

D	Оценки документов в 5-балльной шкале измерения				
	$r_{11}^{(q)}$	$r_{12}^{(q)}$	$r_{13}^{(q)}$	$r_{21}^{(q)}$	$r_{22}^{(q)}$
d_1	2	1	5	4	2
d_2	4	3	3	4	5
d_3	5	4	4	3	5
d_4	5	4	4	5	5
d_5	4	3	5	3	5
d_6	4	5	4	3	4
d_7	3	4	2	2	2

В соответствии с принципом 1 документы d_1 и d_1 по критерию «ценность» оцениваются в 1 балл:

$$r_0^{(1)} = f_0(d_1) = 1; r_0^{(7)} = f_0(d_7) = 2.$$

Результаты продукционного агрегирования для критериев полезность f_1 , аналитичность f_2 и ценность f_0 представлены в таблице 3. В столбце 5 таблицы объекты представлены в ранговой шкале с учётом связанных рангов [11].

Исходя из результатов продукционного агрегирования, документы можно ранжировать по степени убывания ценности

$$d_4 > \{d_2 \approx d_3\} > \{d_5 \approx d_6\} > d_7 > d_1 \quad (1)$$

и разбить на пять классов, а именно:

$$K_1 = \{d_4\}; K_2 = \{d_2 \approx d_3\}; K_3 = \{d_5 \approx d_6\}; K_4 = \{d_7\}; K_5 = \{d_1\}. \quad (2)$$

Таблица 3. Исходные оценки документов по производственным правилам в порядковой шкале

D	Результаты производственного агрегирования				
	$r_1^{(q)}$	$r_2^{(q)}$	$r_0^{(q)}$	Ранг	Место
d_1	1	2	1	1	7
d_2	3	4	4	5,5	2-3
d_3	4	3	4	5,5	2-3
d_4	4	5	5	7	1
d_5	3	3	3	3,5	4-5
d_6	3	3	3	3,5	4-5
d_7	2	2	2	2	6

4.2. Агрегирование оценок информационных материалов по аддитивной свёртке

Для информационных материалов применим локальный метод агрегирования по сумме баллов по кустам (групповым вершинам) иерархического дерева, представленного на рис. 3. При этом критерии будем считать равноважными на каждом уровне иерархии.

При локальном механизме агрегирования без учёта весов важности критериев для каждого куста на первом уровне иерархии трёхуровневого дерева на первом шаге производится последовательное суммирование «локальных» баллов информационных документов (информационных документов) по конечным критериям по формуле:

$$y_i^{(q)} = f_i(d_q) = \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij}^{(q)}, \quad (3)$$

где $r_{ij}^{(q)} = f_{ij}(d_q)$ – оценка объекта $d_q \in D = \{d_q | q = \overline{1, 7}\}$ в порядковой балльной шкале по критерию $f_{ij}, j = \overline{1, n_i}$, входящего в вершину f_i ;

$y_i^{(q)}$ – агрегированная оценка информационных документов на первом уровне групповых критериев;

n_i – число конечных критериев, входящих в вершину f_i .

В результате получаем промежуточную область значений для каждого группового критерия в виде

$$Y_i = [\min_{a_q \in A} f_i(d_q), \max_{a_q \in A} f_i(d_q)]. \quad (4)$$

Далее находится размах для каждого группового критерия f_i по формуле:

$$\Delta f_i = \max_{d_q \in D} f_i(d_q) - \min_{d_q \in D} f_i(d_q).$$

На втором шаге выполняется преобразование агрегированных оценок информационных документов в оценки результирующей пятибалльной шкалы. При равномерном разбиении промежуточной области значений Y_i (4) агрегированных оценок $y_i^{(q)}$ (3) с шагом

$$h_i = \frac{\Delta f_i}{b},$$

соответствие между балльными градациями $r \in \{1, 2, \dots, b\}$ и интервальными $Y_r = [y_{r-1}, y_r], r = \overline{1, b}$, шкальными значениями задаётся отображением $y_i^{(q)} \xrightarrow{\mathcal{R}} r_i^{(q)}$:

$$\mathcal{R}: [y_0 + (r-1)h_i, y_0 + rh_i] \rightarrow, \forall r = \overline{1, b}$$

где $y_0 = \min_{a_q \in A} f_i(d_q); y_b = \max_{a_q \in A} f_i(d_q)$.

На нулевом (верхнем) уровне иерархии трёхуровневого дерева итерация шагов повторяется. Аналогично на первом шаге производится суммирование баллов информационных документов в результирующей шкале по групповым критериям по формуле:

$$y_0^{(q)} = f_0(d_q) = \sum_{j=1}^{n_i} r_i^{(q)},$$

где $r_i^{(q)} = \mathcal{R}(y_i^{(q)})$ – оценки документов в результирующей b -балльной шкале.

В результате получаем промежуточную область значений для корневого (группового) f_0 критерия дерева в виде

$$Y_0 = [\min_{d_q \in A} f_0(d_q), \max_{d_q \in A} f_0(d_q)].$$

и находится размах для корневого критерия f_0 по формуле:

$$\Delta f_0 = \max_{d_q \in D} f_0(d_q) - \min_{d_q \in D} f_0(d_q).$$

Далее с шагом $h_0 = \frac{\Delta f_0}{b}$ и преобразованием

$$\mathcal{R}: [y_0 + (r - 1)h_0, y_0 + rh_0] \rightarrow, \forall r = \overline{1, b}.$$

Для корневой вершины дерева находятся оценки документов в результирующей балльной шкале

$$r_0^{(q)} = \mathcal{R}(y_0^{(q)}), \quad q = \overline{1, n_D}.$$

На основе данных таблицы 2 на первой итерации получим результаты агрегирования и преобразования в результирующую шкалу, которые представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4. Результаты агрегирования на уровне группового критерия f_1

D	Оценки документов в 5-балльной шкале измерения с учётом средних баллов				
	$r_{11}^{(q)}$	$r_{12}^{(q)}$	$r_{13}^{(q)}$	$y_1^{(q)}$	$r_1^{(q)}$
d_1	2	1	5	8	2,5
d_2	4	3	3	10	5
d_3	5	4	4	13	5
d_4	5	4	4	13	4,5
d_5	4	3	5	12	5
d_6	4	5	4	13	1,5
d_7	3	4	2	9	2,5

Таблица 5. Результаты агрегирования на уровне группового критерия f_2

D	Оценки документов в 5-балльной шкале измерения			
	$r_{21}^{(q)}$	$r_{22}^{(q)}$	$y_2^{(q)}$	$r_2^{(q)}$
d_1	4	2	6	2
d_2	4	5	9	5
d_3	3	5	8	4
d_4	5	5	10	5
d_5	3	5	8	4
d_6	3	4	7	3
d_7	2	2	4	1

На второй итерации получим результаты агрегирования на верхнем уровне дерева в корневой вершине F_0 и преобразования в результирующую шкалу, которые представлены в таблице 6.

Таблица 6. Результаты агрегирования на уровне группового критерия f_0

D	Оценки документов в 5-балльной шкале измерения			
	$r_1^{(q)}$	$r_2^{(q)}$	$r_0^{(q)}$	$y_0^{(q)}$
d_1	2,5	2	4,5	1
d_2	5	5	10	5
d_3	5	4	9	5
d_4	4,5	5	9,5	5
d_5	5	4	9	5
d_6	1,5	3	4,5	1
d_7	2,5	1	3,5	1

Результаты аддитивного агрегирования представим в виде ранжирования и по степени убывания ценности

$$\{d_2 \approx d_3 \approx d_4 \approx d_5\} > \{d_1 \approx d_6 \approx d_7\} \quad (5)$$

и разбить на два класса, а именно:

$$K_1 = \{d_2 \approx d_3 \approx d_4 \approx d_5\}; K_2 = \{d_1 \approx d_6 \approx d_7\}. \quad (6)$$

Сравнивая результаты продукционного (1), (2) и аддитивного агрегирования (5), (6) можно сделать следующие выводы.

1. В обоих случаях документ d_4 предпочтительней по критерию ценности, чем $d_1 \approx d_6 \approx d_7$.
2. При аддитивном агрегировании документы d_2, d_3, d_4 и d_5 , входящих в класс K_1 (6), по ценности предпочтительнее документов d_1, d_6 и d_7 , входящих в класс K_2 (6).
3. По продукционным правилам документ a_4 предпочтительней всех остальных.

Таким образом, можно констатировать, что, в отличие от аддитивного механизма агрегирования, продукционный механизм допускает реализацию как в единой шкале, так и в разных исходных шкалах признаков.

5. Заключение

Продукционный метод позволяет решать задачи многокритериального выбора документов, представленными неоднородными порядковыми (балльными, экспертными) шкалами. Продукционные правила необходимо разрабатывать с учётом предметной области решаемой задачи.

При наличии большого числа оцениваемых информационных документов продукционные правила искусственного интеллекта должны реализовываться машинными алгоритмами в экспертных системах многокритериального оценивания информационных документов

Литература

1. *Steuer R.E.* Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application. John Wiley & Sons, New York, 1986. – 546 p.
2. *Корнеев В.П.* Методы многокритериального оценивания объектов с многоуровневой структурой показателей эффективности. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 296 с.
3. *Пфанцгль И.* Теория измерений. – М.: Мир, 1976. – 247 с.
4. *Васин А.А., Краснощеков П.С., Морозов В.В.* Исследование операций. – М.: Академия, 2008. – С. 170.
5. *Рамеев О.А.* Оценка качества и агрегирование в многоуровневых системах организационного управления. – М.: ИКСИ, 1998. – 228 с.
6. *Пенькова Т.Г., Вайнштейн Ю.В.* Модели и методы искусственного интеллекта. – Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2019. – 116 с.
7. *Осипов Г.С.* Методы искусственного интеллекта. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 296 с.
8. *Platt W.* Strategic Intelligence Production. Basic Principles. – New York: Frederic A. Praeger, 1957. 302 p.
9. *Ющук Е.Л., Петряшов Д.В., Кузин А.В.* и др. Конкурентная разведка. – Екатеринбург: Урал. гос. экон. ун-т., 2015. – 210 с.
10. *Корнеев В.П.* Метод локального агрегирования данных информационных документов с многоуровневой структурой в порядковых шкалах // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021): труды 14-й Междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2021. С. 485–493.
11. *Kendall M.G.* Rank correlation methods. New York: Oxford University, 1990. 260 p.