УДК 004.9:004.75

Ю.М. ЛИСЕЦКИЙ[*], В.Е. СНИТЮК[**]

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ КОРПОРАТИВНОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

[*]Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, Киев, Украина
[**]Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

Анотація. *Розглянуто задачу визначення оптимальної альтернативи – елемента або підсистеми при проектуванні корпоративних інтегрованих інформаційних систем. Визначено її особливості при реалізації двох підходів: формалізації і розв'язанні задачі оптимізації цільової функції та побудові колективного ранжування альтернатив. Визначено їх переваги та недоліки, проведено експериментальну верифікацію.*
Ключові слова: *корпоративна інформаційна система, елемент, оптимізація, ранжування, експеримент.*

Аннотация. *Рассмотрена задача определения оптимальной альтернативы – элемента или подсистемы при проектировании корпоративных интегрированных информационных систем. Определены ее особенности при реализации двух подходов: формализации и решении задачи оптимизации целевой функции и построении коллективного ранжирования альтернатив. Определены их преимущества и недостатки, проведена экспериментальная верификация.*
Ключевые слова: *корпоративная информационная система, элемент, оптимизация, ранжирование, эксперимент.*

Abstract. *The problem of determining the optimal alternative – an element or sub-system in the design of integrated corporate information systems is considered. Its features in the implementation of two approaches: the formalization and solving the problem of optimizing the objective function and the construction of a collective ranking of alternatives are determined. Their advantages and disadvantages are identified, experimental verification is conducted.*
Keywords: *corporate information system, element, optimization, ranking, experiment.*

1. Введение

Стремительная информационная динамика современного мира является причиной и основой перестройки принципов функционирования производственных предприятий и предприятий инфраструктуры. Руководство больших предприятий в своем большинстве стремится к оптимизации множества выполняемых задач, структуры производства и реализует это с использованием различных стратегий управления [1]. Значительную поддержку этому процессу предоставляют корпоративные интегрированные информационные системы (КИИС). Их проектирование и построение связаны с необходимостью решения многочисленных задач идентификации, классификации, прогнозирования, а также выбора [2]. В соответствии с теоремой Геделя о неполноте, одна из трактовок которой гласит, что сколько бы ни было информации, ее недостаточно, процесс принятия решений происходит в условиях неопределенности. Особенно сложно лицу, принимающему решения (ЛПР), и экспертам, осуществляющим формирование элементной базы КИИС, поскольку количество только одного элемента с определенной функцией может достигать десятков, сотен, а иногда и тысяч альтернатив. Разнообразие характеристик, параметров и функций элементов и подсистем усиливает энтропию выбора. Сложность и важность задачи определения оптимальной альтернативы требуют привлечения аналитических технологий выбора, позволяющих объективизировать процессы принятия соответствующих решений.

2. Постановка задачи

Рассмотрим постановку задачи. Пусть S – КИИС, в конечном варианте представляющая множество элементов или подсистем $S = \{s_1, s_2, ..., s_n\}$. Каждый элемент s_j является оптимальным (квазиоптимальным) в своем классе, $j = \overline{1, n}$. Его определение и составляет сущность задачи выбора. Взаимодействие и взаимозависимость между s_i и s_j на этом этапе исследования не учитывается, $i, j = \overline{1, n},\ i \neq j$. Предположим, что необходимо определить элемент s^*. Существует множество альтернативных элементов-претендентов $A(s\ ) = \{s_1, s_2, ..., s_m\}$. Все элементы множества $A(s\ )$ имеют набор однотипных характеристик $B(s\ ) = (b_1, b_2, ..., b_k)$. Значение каждой из характеристик принадлежит определенному множеству, $b_j \in \Xi_j,\ j = \overline{1, k}$ и является количественным показателем выполнения некоторой функции или показателем эффективности. Критерием эффективности элемента является интегральная зависимость от показателей эффективности.

3. Метод формирования элементной базы КИИС

Без ограничения общности будем считать, что идеальный элемент s' имеет наилучшие характеристики, то есть

$$\forall i \in \{1, 2, ..., n\}\ B(s') = (\max_i b_1^i, \max_i b_2^i, ..., \max_i b_k^i). \tag{1}$$

Если в некоторых случаях оптимальными являются минимальные или средние значения характеристик, то можно применить соответствующее преобразование и свести их к виду (1). Считаем также, что наихудший элемент s^0 имеет наименьшие значения всех характеристик, то есть

$$\forall i \in \{1, 2, ..., n\}\ B(s^0) = (\min_i b_1^i, \min_i b_2^i, ..., \min_i b_k^i). \tag{2}$$

Очевидно также, что $\forall i \in \{1, 2, ..., k\} \forall j \in \{1, 2, ..., m\}\ b_j^i \in [\min_i b_j^i, \max_i b_j^i]$. В идеальном случае искомый элемент s^* совпадает с s'. В практических задачах такое совпадение, чаще всего, невозможно.

Сведем данные о значениях характеристик элементов-альтернатив в матрицу $B = \{b_j^i\}_{i,j=1}^{m\ k}$. Выполним нормирование элементов матрицы B, получив новую матрицу C, по формуле $c_{ij} = \dfrac{b_j^i - \min\limits_j b_j^i}{\max\limits_j b_j^i - \min\limits_j b_j^i}$, тогда $c_{ij} \in [0,1]$. Рассчитаем элементы матрицы D, $d_{ij} = \dfrac{c_{ij}}{\sum\limits_j c_{ij}}$, тогда $d_{ij} \in [0,1]$ и $\sum\limits_j d_{ij} = 1,\ \forall i \in \{1, 2, ..., m\}\ \forall j \in \{1, 2, ..., k\}$.

Выбор оптимального элемента $s^* \in A(s)$ связан с необходимостью решения задачи многокритериальной оптимизации

$$b_1 \to \max_{s \in A(s)},\ b_2 \to \max_{s \in A(s)}, ..., b_k \to \max_{s \in A(s)} \tag{3}$$

при ограничениях $b_i \in [\min\limits_{s \in A(s)} b_i, \max\limits_{s \in A(s)} b_i],\ i = \overline{1, k}$. Задача (3) в нашем случае может быть сведена к поиску

$$Arg\min_{s} d(s, s^{'}),\qquad (4)$$

где d – функция расстояния в пространстве нормированных характеристик. Поскольку в идеальном случае $B(s^{'}) = (1,1,...,1)$, то задача (4) может быть сведена к такой:

$$F = \sum_{j=1}^{k}(1 - d_{ij}) \to \min_{i} \text{ или } F = \sum_{j=1}^{k} d_{ij} \to \max_{i}.\qquad (5)$$

Такая постановка задачи имеет смысл в предположении о равнозначности характеристики и прочих равных условий. Решая задачи (3)–(5), мы воспользовались методом аддитивной сверки задачи многокритериальной оптимизации к однокритериальной.

Другим методом является метод идеальной точки. Предположим, что такой точкой является почти всегда несуществующий элемент s_{im}, значение каждой характеристики которого равно наилучшему значению характеристики среди всех соответствующих элементов, то есть $d_j = \max_{i} d_{ij}\ \forall j = \overline{1,k}.$ Получим новую задачу поиска

$$H = \sum_{j=1}^{k}(\max_{i} d_{ij} - d_{ij}) \to \min_{i}\qquad (6)$$

при тех же ограничениях. Заметим, что решение задачи (6) более объективизированно, чем предыдущее, поскольку при решении задачи (6) учитываются реальные значения характеристик, а не идеализированные, как в (5), хотя очевидно, что при использовании и (5), и (6) идеального объекта не существует.

На следующем этапе предположим, что не все характеристики являются одинаково предпочтительными. Припишем им весовые коэффициенты $W(s) = (w_1, w_2, ..., w_k).$ Тогда задачи (5) и (6) будут такими:

$$F^{w} = \sum_{j=1}^{k} w_j(1 - d_{ij}) \to \min_{i} \text{ или } H^{w} = \sum_{j=1}^{k} w_j(\max_{i} d_{ij} - d_{ij}) \to \min_{i}\qquad (7)$$

и в их решении будут отражены соотношения между важностью характеристик, $\sum_{j=1}^{k} w_j = 1.$

Для того, чтобы найти коэффициенты $W(s)$, достаточно получить результаты сравнения важности характеристик. По методу анализа иерархий Саати [3] свести их в матрицы $T_i, i = \overline{1,l},$ где l – количество экспертов. Для каждой матрицы найти максимальное собственное число $\lambda_i^{\max}$ и соответствующий ему собственный вектор $(w_i^1, w_i^2, ..., w_i^k),\ i = \overline{1,l}.$ Каждый элемент w_i^j будет указывать на важность j-ой характеристики, указанной i-м экспертом. В предположении о равнокомпетентности экспертов, итоговые весовые коэффициенты будут такими:

$$w^j = \frac{\sum_{i=1}^{l} w_i^j}{\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{l} w_i^j},\ j = \overline{1,k},\ \sum_{j=1}^{k} w^j = 1.\qquad (8)$$

Если эксперты не равнокомпетентны, то их компетентность может быть как известна, так и неизвестна. В таких случаях значения весовых коэффициентов можно определить, как показано в [4, 5].

Рассмотренные выше методы определения оптимального элемента КИИС носят «линейный» характер, то есть такой, при котором значения характеристик важны сами по себе, без учета взаимосвязей. Безусловно, можно сформулировать задачи, предложить модели, в которых будут априори заданы такие взаимозависимости. Однако в таких моделях нельзя учесть в полной мере все связи и силу связей характеристик, кроме того, определение структуры и параметров таких моделей происходит в условиях неопределенности, практически носит волюнтаристский характер. Чтобы избежать этого, вместо необходимости решения задач оптимизации типа (4)–(6) используем экспертные заключения. Известно, что количество характеристик, которые эксперт может анализировать адекватно, составляет 7 ± 2 (число Ингве-Миллера). Будем использовать этот факт в дальнейшем.

Предположим, что в решении задачи принимают участие q экспертов с одинаковой компетентностью. Характеристики элемента для каждого из экспертов имеют одинаковые приоритеты. Объективизированный подход тогда состоит в следующем. Для каждой характеристики строим систему индивидуальных предпочтений, то есть упорядочиваем элементы по значению каждой характеристики. Получим систему:

$$\begin{aligned} &s_{i1}^{1} \le s_{i2}^{1} \le \ldots \le s_{im}^{1}, \\ &s_{i1}^{2} \le s_{i2}^{2} \le \ldots \le s_{im}^{2}, \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ &s_{i1}^{k} \le s_{i2}^{k} \le \ldots \le s_{im}^{k}. \end{aligned} \tag{9}$$

Нижние индексы в (9) определяют один из элементов из множества перестановок элементов $\{1,2,\ldots,m\}$. В системе (9) отсутствуют абсолютные значения характеристик, поэтому, определяя интегральное упорядочение, можно получить как вырожденный случай в качестве наилучшего любой из m элементов. В общем же случае, определение наилучшего элемента – альтернативы можно осуществить с использованием различных методов: правила относительного большинства, правила относительного большинства с выбыванием, методов Борда, Кондорсе, Копленда, Симпсона, альтернативных голосов, правил последовательного или параллельного исключения [6].

Чаще всего имеет место другой случай, когда эксперты упорядочивают альтернативы, исходя из субъективизированных предпочтений: по значениям одной характеристики, по комбинации значений двух характеристик, по принципу доминирования двух определенных характеристик над двумя другими, по среднеквадратическому отклонению значений характеристик и т.п. В таком случае система (9) превращается в такую:

$$\begin{aligned} &s_{i1}^{1} \prec s_{i2}^{1} \prec \ldots \prec s_{im}^{1}, \\ &s_{i1}^{2} \prec s_{i2}^{2} \prec \ldots \prec s_{im}^{2}, \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ &s_{i1}^{k} \prec s_{i2}^{k} \prec \ldots \prec s_{im}^{k}. \end{aligned} \tag{10}$$

Далее, используя уже перечисленные выше методы голосования (Борда и др.), альтернативы можно упорядочить. Кроме того, каждый из этих методов позволяет найти оценку той или иной альтернативы – целое неотрицательное число. По индивидуальным предпочтениям можно построить коллективное ранжирование по известным критериям: среднего значения, компромисса и медианы Кемени-Снелла [7] и точно так же получить числовые оценки каждой альтернативы. Обозначим такие оценки

$v_1 = v(s_1), v_2 = v(s_2), ..., v_m = v(s_m)$. Выполним их нормирование: $v_1^{'} = \frac{v_1}{\sum_{i=1}^{m} v_i}$, тогда $v_1^{'} \in [0,1]$ и $\sum_{i=1}^{m} v_i^{'} = 1$.

Предложим интегральный критерий оценки элементов-альтернатив КИИС:

$$G_1 = \alpha \cdot v_i^{'} + (1-\alpha) \cdot \sum_{j=1}^{k} d_{ij} \to \max_i, \tag{11}$$

где $\alpha \in (0,1)$ – коэффициент, указывающий на важность составляющих целевой функции (отражающий субъективные предпочтения ЛПР) как усовершенствование задачи (5) и

$$G_2 = \alpha \cdot v_i^{'} + (1-\alpha) \cdot \sum_{j=1}^{k} (d_{ij} - \max_i d_{ij}) \to \max_i, \tag{12}$$

как модификацию (6), а также

$$G_3 = \alpha \cdot v_i^{'} + (1-\alpha) \cdot \sum_{j=1}^{k} w_j (d_{ij} - 1) \to \max_i \text{ или } G_4 = \alpha \cdot v_i^{'} + (1-\alpha) \cdot \sum_{j=1}^{k} w_j (d_{ij} - \max_i d_{ij}) \to \max_i, \tag{13}$$

как модификацию задачи (7). Заметим, что в этом случае оценки v_i, $i = \overline{1,m}$ рассчитывают-ся с учетом весовых коэффициентов характеристик.

4. Экспериментальная верификация результатов

Предположим, что для одного из подразделений КИИС необходимо осуществить выбор маршрутизатора. Общее количество маршрутизаторов, доступных для выбора, составляет около 500. Выберем из них шесть близких по своим характеристикам и укажем наиболее важные характеристики (табл. 1).

Таблица 1. Маршрутизаторы

№	Тип	Кол-во прото-колов	Скорость Wi-Fi (Мбит/с)	Поддержка VPN-туннелей	Безопас-ность (оценка)	Другие функции	Цена
1	Zyxel Keenetic	3	150	0	3	6	502
2	Edimax BR-6428NS	4	300	1	4	11	510
3	D-Link Dir-615A	6	300	1	7	12	517
4	Tenda FM-300	2	300	0	4	2	518
5	D-Link Dir-615S	6	300	1	3	9	522
6	Asus RT-N11P	4	300	1	7	5	559

После нормирования получим табл. 2.

Таблица 2. Нормированные значения характеристик

№	Тип	Кол-во прото-колов	Скорость Wi-Fi (Мбит/с)	Поддержка VPN-туннелей	Безопас-ность (оценка)	Другие функции	Цена
1	Zyxel Keenetic	0,07692	0	0	0	0,1212	0
2	Edimax BR-6428NS	0,15384	0,2	0,25	0,1	0,2727	0,0689
3	D-Link Dir-615A	0,30769	0,2	0,25	0,4	0,3030	0,1293

Продолж. табл. 2

4	Tenda FM-300	0	0,2	0	0,1	0	0,1379
5	D-Link Dir-615S	0,30769	0,2	0,25	0	0,2121	0,1724
6	Asus RT-N11P	0,15384	0,2	0,25	0,4	0,0909	0,4913

По методу аддитивной свертки получены такие результаты:

$$F(s_1)=0{,}198;\ F(s_2)=0{,}908; F(s_3)=1{,}331; F(s_4)=0{,}182; F(s_5)=0{,}797; F(s_6)=0{,}603.$$

Наилучшим является маршрутизатор D-Link 615-A.

По методу идеальной точки получены такие значения:

$$H(s_1)=1{,}08;\ H(s_2)=0{,}52; H(s_3)=0{,}129; H(s_4)=0{,}995; H(s_5)=0{,}572; H(s_6)=0{,}645.$$

Наилучшим является тот же маршрутизатор D-Link 615-A.

Предположим, что $W(s)=(0{,}05;0{,}4;0{,}1;0{,}2;0{,}1;0{,}15)$. Тогда

$$F^w(s_1)=0{,}016;\ F^w(s_2)=0{,}15; F^w(s_3)=0{,}211; F^w(s_4)=0{,}079; F^w(s_5)=0{,}116; F^w(s_6)=0{,}128.$$

Наилучший маршрутизатор тот же.

При том же векторе $W(s)$ по методу идеальной точки получены значения

$$H^w(s_1)=0{,}214;\ H^w(s_2)=0{,}06; H^w(s_3)=-0{,}019;$$
$$H^w(s_4)=0{,}11; H^w(s_5)=0{,}063; H^w(s_6)=-0{,}044.$$

В этот раз наилучшим является маршрутизатор Asus RT-N11P.

По системе объективизированных предпочтений получим матрицу

$$\begin{pmatrix} s_3 & s_2 & s_2 & s_3 & s_3 & s_1 \\ s_5 & s_3 & s_3 & s_6 & s_2 & s_2 \\ s_2 & s_4 & s_5 & s_2 & s_5 & s_3 \\ s_6 & s_5 & s_6 & s_4 & s_1 & s_4 \\ s_1 & s_6 & s_1 & s_1 & s_6 & s_5 \\ s_4 & s_1 & s_4 & s_5 & s_4 & s_6 \end{pmatrix}.$$

Наилучшим по системе предпочтений является маршрутизатор D-Link 615-A.

Определение наилучшего маршрутизатора по интегральному критерию осуществляется аналогично.

5. Выводы

Рассмотренная задача является не новой, необходимость ее решения возникает при существовании множества альтернатив достаточно большой мощности. В большинстве случаев принятие решения и выбор оптимального элемента или подсистемы являются субъективизированными. В статье предложены методы и модели, которые позволят автоматизировать процесс выбора и таким образом объективизировать его. Заметим, что здесь объединены два подхода определения наилучшей альтернативы: решение задачи оптимизации целевой функции и сведение индивидуальных предпочтений к коллективному ранжированию.

В перспективе необходимо разработать модели и методы определения наилучшей альтернативы с использованием предложенного подхода и представления экспертных предпочтений как нечетких множеств с соответствующими функциями принадлежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеевский С.Ф. Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов / Матвеевский С.Ф. − М.: Машиностроение, 1987. − 240 с.
2. Лисецкий Ю.М. Формирование интегрального критерия эффективности в задачах выбора оптимального проектного варианта / Ю.М. Лисецкий, В.Е. Снитюк // Математичні машини і системи. – 2015. – № 1. – С. 157 – 163.
3. Саати Т. Метод анализа иерархий / Саати Т. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
4. Гнатієнко Г.М. Експертні технології прийняття рішень / Г.М. Гнатієнко, В.Є. Снитюк. – К.: Mclaut, 2008. – 444 с.
5. Снитюк В.Е. Модели и методы определения компетентности экспертов на базе аксиомы несмещенности / В.Е. Снитюк, Рифат Мохаммед Али // Вісник ЧІТІ. − 2000. − № 4. – С. 121 − 126.
6. Волошин О.Ф. Моделі та методи прийняття рішень / О.Ф. Волошин, С.О. Мащенко. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2010. – 336 с.
7. Кемени Дж. Кибернетическое моделирование / Дж. Кемени, Дж. Снелл; пер. с англ. – М.: Советское радио, 1972. – 428 с.

Стаття надійшла до редакції 01.03.2016