

## НЕЧЕТКИЕ МЕТОДЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ КАРТ СТЕЙКХОЛДЕР-ОРГАНИЗАЦИЙ

© 2017

**Лебедева-Карлссон Наталья Федоровна**, кандидат физико-математических наук, доцент школы «Естественные науки, технологии и экологические исследования»

*Университет Седертерн*

*(SE-141 89 Хаддинге, Швеция, e-mail: natalia.karlsson@sh.se)*

**Морозов Виталий Олегович**, младший научный сотрудник лаборатории «Стратегическое планирование»

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса*

*(690012, Россия, Владивосток, улица Гоголя 41, e-mail: oneday888@mail.ru)*

**Солодухин Константин Сергеевич**, доктор экономических наук, профессор кафедры «Математика и моделирование», заведующий лабораторией «Стратегическое планирование»

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса*

*(690012, Россия, Владивосток, улица Гоголя 41, e-mail: k.solodukhin@mail.ru)*

**Аннотация.** В работе рассмотрены нечеткие методы, которые могут использоваться при формализации стратегических карт. При этом под формализацией стратегической карты понимается процесс ранжирования ее элементов, а также определения функциональных (а не только причинно-следственных) связей между ее элементами: стратегическими целями, описывающими их показателями, стратегическими мероприятиями (проектами). Показано, что нечеткий метод анализа иерархий и метод нечеткого логического вывода могут использоваться для ранжирования элементов стратегической карты и упрощать нахождение функциональных зависимостей между элементами стратегической карты с помощью ранее предложенных методов, основанных на построении многокритериальных функций полезности, удовлетворяющих определенным требованиям. В статье предложен метод нахождения функциональных зависимостей между элементами стратегической карты, основанный на использовании базы нечетких логических выводов и алгоритма Мамдани. Приведен соответствующий пример для стратегической цели с двумя описывающими ее показателями. Показана перспективность использования данных методов для стейкхолдер-организаций, имеющих специфические карты стратегических целей, построение и формализация которых осложнены наличием нескольких «центров власти» с конфликтующими целями и сферами интересов, которые не могут быть разделены точными границами.

**Ключевые слова:** формализация стратегии, стратегическая карта, стейкхолдер-организация, нечеткий метод анализа иерархий, нечеткие логические выводы, многокритериальные функции полезности, степень достижения цели, экспертные методы.

## FUZZY METHODS OF FORMALIZING STRATEGY MAPS OF STEAKHOLDER ORGANIZATIONS

© 2017

**Lebedeva Karlsson Natalia**, candidate of physico-mathematical sciences, senior lecturer in mathematics of "School of Natural Sciences, Technology and Environmental Studies"

*Södertörn University*

*(SE-141 89 Huddinge, Sweden, e-mail: natalia.karlsson@sh.se)*

**Morozov Vitaly Olegovich**, junior researcher of the laboratory "Strategic Planning"

*Vladivostok State University of Economics and Service*

*(690012, Russia, Vladivostok, street Gogol 41, e-mail: oneday888@mail.ru)*

**Solodukhin Konstantin Sergeevich**, doctor of economical sciences, professor of "Mathematics and Modeling", head of the laboratory "Strategic Planning"

*Vladivostok State University of Economics and Service*

*(690012, Russia, Vladivostok, street Gogol 41, e-mail: k.solodukhin@mail.ru)*

**Abstract.** The paper discusses fuzzy methods for formalizing strategy map. The strategy map formalization is understood as the process of ranking map elements, as well as determining the functional relationships between map elements: strategic goals, indicators, strategic actions (projects). It is shown that the fuzzy hierarchical analysis and fuzzy inference method can be used to rank the elements of the strategic map. As a result, it is easier to find functional relationships between the elements of the strategic map, if we use the previously proposed methods based on the construction of multi-criteria utility functions. The proposed method of finding the functional relationships between the elements of a strategic map based on using the Mamdani's fuzzy inference method. An appropriate example for a strategic goal with two indicators is given. The prospects of using these methods for stakeholder organizations that have specific strategic maps are shown. The construction and formalization of such strategic maps are complicated by the existence of several "power centers" with conflicting objectives and areas of interest that can not be separated by precise boundaries.

**Keywords:** strategy formalization, strategy map, stakeholder organization, fuzzy hierarchical analysis, fuzzy inference method, multi-criteria utility function, level of goal achievement, expert methods.

Процесс стратегического управления в организации укрупненно можно разделить на три этапа: стратегический анализ, разработка стратегии и реализация стратегии. Переход от второго этапа к третьему

невозможен без формализации стратегии, от качества которой зависит эффективность операционализации стратегии и, в конечном итоге, успешность выполнения стратегии.

Традиционно формализация стратегии осуществляется на базе стратегических карт. Элементами стратегической карты являются стратегические цели, обычно распределенные по нескольким перспективам, с заданными иерархическими отношениями между перспективами (и самими целями). Каждой цели, в свою очередь, соответствует набор показателей, которые также могут быть разделены на две или более групп с иерархическими отношениями (например, формирующие и результирующие) [1-3]. Описание цели через набор показателей позволяет устранить неоднозначность, возникающую из-за возможных различных трактований практически любой формулировки цели [4].

Каждому показателю обычно ставятся в соответствие его начальное и целевое значения. Считается, что цель достигнута, если показатели цели (все, либо, по крайней мере, входящие в верхнюю группу иерархии показателей) достигли своих целевых значений. Формализация стратегии требует определения влияния значений групп показателей, характеризующих каждую цель, на степень (уровень) достижения этой цели. Под степенью достижения цели понимается число от 0 до 1. Степень достижения цели равна 0, если текущие значения всех результирующих показателей равны начальным и 1, если цель достигнута. При этом, при превышении показателями своих целевых значений степень достижения цели может стать меньше 1, вплоть до 0 [5]. Область изменения каждого показателя от начального значения до целевого для удобства также может быть переведена в промежуток от 0 до 1.

Показатели изменяют свои значения в результате осуществления определенных стратегических мероприятий (проектов). В этой связи формализация стратегии включает в себя не только установление связей между стратегическими целями, а также целями и показателями, но и определение влияния мероприятий на показатели (а, значит, и на цели). Таким образом, в широком смысле под процессом формализации стратегии можно рассматривать процесс разработки стратегической карты, включающий в себя установление зависимостей между ее элементами [6]. При этом речь идет не только о причинно-следственных связях, но, прежде всего, о функциональных, без которых невозможна ни объективная оценка экономической эффективности принимаемой стратегии, ни решение задачи оптимального использования имеющихся ресурсов для реализации стратегии (что, вообще говоря, может стать основанием для корректировки или пересмотра стратегии), ни оперативное управление реализацией стратегии [4].

Ранее нами были предложены методы нахождения функциональных зависимостей между элементами стратегической карты, основанные на построении многокритериальных функций полезности, к которым предъявляются некоторые специфические требования [6, 7, 8, 9]. Данные методы применимы при любом количестве показателей (критериев) и любом характере отношений между ними (показатели могут быть взаимозависимыми). Обычно для решения различных задач используются либо однокритериальные функции полезности, либо функции полезности, критерии которых независимы по полезности. Некоторые способы построения функций полезности при взаимозависимых критериях были предложены в работе [10], однако, они крайне сложны для практического применения.

В основе предложенных нами методов лежит адаптивный алгоритм экспертного опроса, позволяющий определять значения функций полезности в выбранных специальным образом точках рассматриваемой области. Его отличительной особенностью является формирование вопросов сравнительного характера для облегчения задачи экспертов и получения более точных значений функций полезности. Вместе с тем, при большом количестве переменных (критериев) экспертам очень непросто отвечать даже на вопросы сравнительного характера. При этом осложняется процедура согласования экспертных мнений.

В этой связи представляется перспективным использование инструментов теории нечетких множеств, хорошо зарекомендовавших себя в условиях высокой неопределенности и недостатка релевантной информации, носящей невероятностный характер. Данные методы могут оказаться особенно полезными при формализации стратегических карт организаций, условием существования которых является способность устанавливать и поддерживать отношения с широким кругом заинтересованных сторон (стейкхолдеров). Такие организации (мы назвали их стейкхолдер-организациями [4]) имеют специфические, более сложные карты стратегических целей, поскольку, как правило, имеют нескольких «центров власти» с конфликтующими целями и сферами интересов, которые не могут быть разделены точными границами.

В работах [4, 11, 12] приведены структура карты целей верхнего уровня стейкхолдер-организации и метод ее построения, а также модель иерархии элементов карты и метод ее «балансировки» (ранжирования элементов карты) с применением метода анализа иерархий (МАИ), предложенного Т. Саати [13, 14]. При этом использовалась одна из известных модификаций метода, учитывающая многокритериальный выбор на иерархиях с различным числом и составом альтернатив под критериями [15].

При формализации стратегии предварительная балансировка стратегических карт может решить несколько задач. Во-первых, уменьшить количество функциональных зависимостей, которые необходимо определить. Во-вторых, для каждой такой зависимости снизить размерность решаемой задачи (уменьшить количество критериев).

Балансировку карт предлагается осуществлять на основе нечеткого метода анализа иерархий (НМАИ), преимуществом которого является возможность использовать лингвистические вербальные высказывания, являющиеся более предпочтительными для эксперта, чем балльные оценки.

Первая работа, посвященная НМАИ [16], была опубликована всего через три года, после выхода в свет пионерной работы Т. Саати [13]. Однако и в настоящее время НМАИ продолжает оставаться очень популярным методом, свидетельством чему служит огромное количество публикаций, посвященных его применению в самых различных областях (подробный обзор областей применения метода и конкретных решаемых задач можно найти в работе [17]).

В то же время, НМАИ не свободен от недостатков. Так, в работе [18] показано, что если элементы нечеткой матрицы попарных сравнений являются треугольными симметричными нечеткими числами, степень размытости (нечеткости) которых задается параметрически, то наилучшие результаты (значимо различные результаты весов) НМАИ дает при средних значениях параметра (степени нечеткости). Для относительно небольших степеней размытости НМАИ имеет слабую чувствительность к приоритетам экспертов и устанавливает вес одного из сравниваемых элементов иерархии, близкий к единице. При больших степенях размытости веса критериев выравниваются. Приведены графики соответствующих зависимостей (между степенями нечеткости и весами ранжируемых объектов).

По нашему мнению, наибольший интерес представляет использование НМАИ, когда элементы нечеткой матрицы попарных сравнений не являются симметричными (левый и правый коэффициенты нечеткости не только не совпадают, но и могут быть существенно различны). Такая ситуация может возникнуть, например, если эксперт практически уверен, что степень доминирования (преимущества) одного объекта над другим не меньше заданной, но допускает, что она может быть значительно больше.

Наряду с НМАИ при ранжировании элементов стратегической карты может использоваться метод нечеткого логического вывода (НЛВ), позволяющий на основе относительно небольшого количества нечетких правил вывода адекватно описать многомерные зависимости «вход-выход». В работе [18] показан процесс определения весовых коэффициентов иерархии с использованием НЛВ. При этом в рамках НЛВ эксперты оперируют с такими лингвистическими переменными, как, «низкий», «средний», «высокий» и их производными: «невысокий», «ниже среднего», «выше среднего» и т.п., что особенно удобно при оценке элементов стратегической карты (значений показателей, степеней достижения целей) и степеней влияния разноуровневых элементов друг на друга.

Метод НЛВ может применяться не только для ранжирования элементов стратегической карты, но и для определения функциональных зависимостей между ними.

Продемонстрируем использование метода при построении функциональной зависимости уровня достижения стратегической цели от значений описывающих её показателей. Для простоты и наглядности количество показателей примем равным двум.

Рассмотрим университетскую научную лабораторию и ее стратегическую цель «Повышение результативности работы лаборатории», которая описывается двумя показателями: «Публикационная активность (количество публикаций в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях, индексируемых в ведущих мировых базах данных научного цитирования, в год на одну ставку)» и «Доходы от НИОКР (млн. руб., в год на одну ставку)». Пусть начальные значения показателей равны 1,5 и 1, целевые значения – 3 и 3 соответственно.

В таблице 1 представлена лингвистическая шкала и соответствующие функции принадлежности нечетких множеств для первого показателя.

Таблица 1 – Преобразование вербальных оценок показателя «Публикационная активность» в нечеткие множества

Вербальная оценка	Значения $x$						
	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0
	Значения $\mu(x)$						
Высокая (H)	1	0,8	0,2	0	0	0	0
Выше среднего (MH)	0,6	1	0,8	0,2	0	0	0
Средняя (M)	0	0,6	1	0,8	0,2	0	0
Невысокая (ML)	0	0	0,6	1	0,8	0,2	0
Низкая (L)	0	0	0	0,6	1	0,8	0,2
Очень низкая (LL)	0	0	0	0	0,6	1	1

Пусть для простоты лингвистическая шкала и соответствующие функции принадлежности нечетких множеств для второго показателя идентичны первому показателю, т.е. доходы от НИОКР оцениваются теми же шестью вербальными оценками от «Очень низкие» до «Высокие», значения  $x$  и  $\mu(x)$  точно такие же. Различие состоит лишь в размерности  $x$ : количество публикаций и млн. руб. соответственно.

В таблице 2 представлена лингвистическая шкала и соответствующие функции принадлежности нечетких множеств для степени достижения цели.

Таблица 2 – Преобразование вербальных оценок степени достижения цели в нечеткие множества

Вербальная оценка	Значения $x$
-------------------	--------------

	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
	Значения $\mu(x)$										
Высокая (H)	1	0,9	0,7	0,2	0	0	0	0	0	0	0
Выше среднего (MH)	0	0,3	0,9	1	0,9	0,3	0	0	0	0	0
Средняя (M)	0	0	0,2	0,6	0,9	1	0,9	0,6	0,2	0	0
Невысокая (ML)	0	0	0	0	0	0,4	0,9	1	0,9	0,2	0
Низкая (L)	0	0	0	0	0	0	0,2	0,7	1	0,7	0,1
Очень низкая (LL)	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,6	0,9	1

В таблице 3 представлен фрагмент базы данных лингвистических правил оценивания степени достижения цели на шестиуровневом классификаторе по двум входным факторам. Общее число правил равно  $6^2=36$ , однако совпадение функций принадлежности для двух переменных делает достаточным приведение 21 правила вывода ( $C_6^2 + 6$ ).

Таблица 3 – Фрагмент базы логистических правил оценивания степени достижения цели на основе лингвистических значений показателей

№ нечеткого правила		Лингвистические значения показателей (&)			Степень достижения цели
		$\Pi_1$	$\Pi_2$		
1	<i>If</i>	H	H	<i>Then</i>	H
2	<i>If</i>	H	MH	<i>Then</i>	H
3	<i>If</i>	H	M	<i>Then</i>	MH
4	<i>If</i>	H	ML	<i>Then</i>	M
5	<i>If</i>	H	L	<i>Then</i>	ML
6	<i>If</i>	H	LL	<i>Then</i>	ML
7	<i>If</i>	MH	MH	<i>Then</i>	MH
8	<i>If</i>	MH	M	<i>Then</i>	MH
9	<i>If</i>	MH	ML	<i>Then</i>	M
10	<i>If</i>	MH	L	<i>Then</i>	ML
11	<i>If</i>	MH	LL	<i>Then</i>	L
12	<i>If</i>	M	M	<i>Then</i>	M
13	<i>If</i>	M	ML	<i>Then</i>	M
14	<i>If</i>	M	L	<i>Then</i>	ML
15	<i>If</i>	M	LL	<i>Then</i>	L
16	<i>If</i>	ML	ML	<i>Then</i>	ML
17	<i>If</i>	ML	L	<i>Then</i>	ML
18	<i>If</i>	ML	LL	<i>Then</i>	L
19	<i>If</i>	L	L	<i>Then</i>	L
20	<i>If</i>	L	LL	<i>Then</i>	LL
21	<i>If</i>	LL	LL	<i>Then</i>	LL

Для нахождения четкого значения степени достижения цели при заданных четких значениях показателей может быть использован алгоритм Мамдани [19].

Пусть, для примера, значения показателей равны 2,25 и 1,75 соответственно. Нетрудно видеть, что максимальное значение функции принадлежности, описывающей нечеткое множество, соответствующее выходной переменной «Степень достижения цели» равно 0,9 (нечеткое логическое правило №8). При этом  $\mu(x) = 0,9$ , если  $x$  изменяется в промежутке от 0,6 до 0,8 (усеченное на альфа-уровне 0,9 нечеткое множество, соответствующее вербальной оценке выходной переменной «Выше среднего» (MH). Таким образом, при дефазификации методом среднего максимума (Middle-of-Maxima) четкое значение выходной переменной равно 0,7.

Заметим, что дефазификация может осуществляться и другими методами: чаще всего, центроидным методом. В ряде случаев следует применять высотную дефазификацию (Heightdefuzzification). Выбор метода

среднего максимума для нашего примера связан с высокой степенью симметричности выбранных функций принадлежности.

Рассчитанное значение выходной переменной еще не является значением степени достижения цели (если считать, что степень достижения цели равна 0, при начальных значениях показателей). Дело в том, что начальные значения показателей в нашем примере не совпадают с минимальными значениями  $x$ , в силу чего требуется нормировка.

Для этого, прежде всего, необходимо найти значение выходной переменной при начальных значениях показателей (1,5 и 1). При данных значениях входных переменных максимальное значение итоговой функции принадлежности, полученной по алгоритму Мамдани, будет равно 1 (нечеткое логическое правило №17). Функция принадлежности, соответствующая вербальной оценке выходной переменной «Невысокая» (ML), принимает значение, равное 1, при  $x=0,3$ . Таким образом, нормировка значений выходной переменной может осуществляться монотонной функцией, переводящей промежутки  $[0,3; 1]$  в промежуток  $[0; 1]$ . Если в качестве такой функции использовать уравнение отрезка с концами  $(0,3; 0)$  и  $(1; 1)$ , то полученное нами значение выходной переменной 0,7 перейдет в примерно 0,57. Данное число можно считать степенью достижения цели при заданных значениях показателей.

Заметим, что при нормировке следует также принимать во внимание конкретный вид функций принадлежности для выходной переменной и метод дефазификации. Например, при дефазификации центроидным методом практически всегда центр тяжести итогового (полученного с помощью алгоритма Мамдани) нечеткого множества будет строго меньше 1. Такая же ситуация может возникнуть и при дефазификации методами среднего максимума или первого максимума (First-of-Maxima), если функции принадлежности вербальных оценок выходной переменной не унимодальны (как в нашем примере). В подобном случае, для нормировки мы должны были построить функцию, переводящую в промежуток  $[0; 1]$  не отрезок  $[0,3; 1]$ , но промежуток  $[0,3; b]$ , где  $b < 1$  – максимальное возможное (при заданных функциях принадлежности и выбранном методе дефазификации) четкое значение выходной переменной.

Таким образом, в данном исследовании показано, как нечеткие методы могут быть использованы при формализации стратегических карт. Методы НМАИ и НЛВ могут быть использованы при балансировке карт (ранжировании их элементов), что в дальнейшем позволит упростить нахождение функциональных зависимостей между элементами стратегической карты с помощью методов, основанных на построении многокритериальных функций полезности. С другой стороны, метод НЛВ может напрямую использоваться для определения функциональных зависимостей между элементами карты. Приведен соответствующий пример. В дальнейшем предполагается разработка методов формализации стратегических карт на основе построения нечетких функций полезности.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Kaplan R.S., Norton D.P. The strategy-focused organization: how balanced scorecard companies thrive in the new business environment. – Boston, MA: Harvard Business School Press, 2001. – 400 p.
2. Kaplan R.S., Norton D.P. Strategy maps: converting intangible assets into tangible outcomes. Boston: Harvard Business School Press, 2004. – 454 p.
3. Lawrie G., Cobbold I. Third-generation Balanced Scorecard: evolution of an effective strategic control tool // International Journal of Productivity and Performance Management. – 2004. – Vol. 53. – No. 7. – P. 611–623.
4. Солодухин К.С. Стратегическое управление вузом как стейкхолдер–компанией. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 290 с.
5. Морозов В.О. Формализация зависимости между уровнем достижения стратегической цели и ее показателями на основе знакопеременной функции полезности // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 457.
6. Чен А.Я. Методы и инструменты формализации стратегической карты целей университета: дис.. кан. экон. наук: 08.00.13. – Владивосток, 2013. – 124 с.
7. Чен А.Я., Солодухин К.С., Луговой Р.А. Методы определения влияния показателей на стратегическую цель при разработке карты целей в вузе // Научное обозрение. Серия 1. Экономика и право. – 2011. – № 4. – С. 63-73.
8. Луговой Р.А., Солодухин К.С., Чен А.Я. Метод формализации зависимости между уровнем достижения стратегической цели и ее показателями // Университетское управление: практика и анализ. – 2012. – № 1. – С. 19-25.
9. Луговой Р.А., Солодухин К.С., Чен А.Я. Модели поддержки процессов принятия стратегических решений в вузе // Университетское управление: практика и анализ. – 2012. – № 4. – С. 26-34.
10. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь, 1981. – 242 с.
11. Солодухин К.С. Постановка системы сбалансированных показателей в стейкхолдер-компаниях // Контроллинг. – 2009. – №2 (30). – С. 64-69.
12. Дзина Г.Я. Методические основы управления инновационной деятельностью вуза с позиций теории заинтересованных сторон: дис.. кан. экон. наук: 08.00.05. – Владивосток, 2010. – 132 с.
13. Saaty T.L. The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. – N.Y.: McGraw Hill Publ., 1980. – 287 p.

14. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
15. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.
16. Van Laarhoven P.J.M., Pedrycz W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory // Fuzzy Sets and Systems. – 1983. – Vol. 11. – No. 1-3. – P. 229-241.
17. Emrouznejad A., Ho W. (eds.). Fuzzy analytic hierarchy process. – N.Y.: Chapman and Hall/CRC, 2017. – 430 p.
18. Мухаметзянов И.З. Нечеткий логический вывод и нечеткий метод анализа иерархий в системах поддержки принятия решений: приложение к оценке надежности технических систем // Кибернетика и программирование. – 2017. – №2. – С. 59-77.
19. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. – P. 1-13.

***Статья публикуется при поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта № 15-32-01027.***