

Модели поддержки принятия стратегических решений на основе системы сбалансированных показателей

© 2009 К.С. Солодухин

кандидат экономических наук, доцент

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса

Статья посвящена разработке ряда взаимосвязанных моделей, обеспечивающих необходимой аналитической информацией лицо, принимающее стратегические решения. Представлены имитационная и оптимизационная многокритериальные модели, основанные на предложенной автором формализации системы сбалансированных показателей. Рассмотрена проблема получения необходимой информации для построения моделей и ее возможное решение с помощью инструментов теории нечетких множеств.

Ключевые слова: система сбалансированных показателей, экономико-математическое моделирование, теория нечетких множеств.

В настоящее время Система сбалансированных показателей (ССП - Balanced ScoreCard, BSC) является одним из наиболее популярных системных методов, связывающих стратегическое управление с оперативной деятельностью организации. СПП позволяет развернуть стратегические приоритеты и цели до конкретных мероприятий, с помощью которых планируется их достижение, а значит, и до ресурсов, необходимых для осуществления мероприятий и, соответственно, для достижения целей.

Концепция СПП тесно связана с теорией заинтересованных сторон (stakeholder theory). Некоторые авторы вообще считают СПП одним из инструментов данной теории¹. Причина этого лежит на поверхности: можно считать, что перспективы СПП представляют интересы важнейших заинтересованных сторон ("Финансы" - учредителей, акционеров, "Клиенты" - клиентов, "Инфраструктура/Сотрудники" - сотрудников организации). Другие исследователи считают эти концепции альтернативными². По нашему мнению, СПП, как и любой другой метод, разработанный с позиций одной (неоклассической) теории фирмы, требует модификации при использовании в рамках другой (стейкхолдерской) теории. Такая модификация была предложена нами в работе³.

Вместе с тем в основе структуры СПП в любом случае лежат причинно-следственные свя-

¹ См., например: Post J.E., Preston L.E., Sachs S. Redefining the Corporation: Stakeholder Management and Organizational Wealth. Stanford, 2002.

² См., например: Искусство разработки и реализации стратегии: новое видение: монография / А.А. Гресько, Г.А. Дзина, М.С. Рахманова и др.; Под общ. ред. С.С. Чернова. Новосибирск, 2008.

³ Солодухин К.С., Дзина Г.А. Применение системы сбалансированных показателей в университете на основе теории заинтересованных сторон // Контроллинг. 2009. □1 (29).

зи между ее элементами: целями, показателями, мероприятиями. При этом без информации о тесноте этих связей и значимости отдельных элементов невозможно ни объективно оценить экономическую эффективность принимаемой стратегии, ни решить задачу оптимального использования имеющихся ресурсов для реализации стратегии (что, вообще говоря, может стать основанием для корректировки или даже пересмотра стратегии), ни оперативно управлять реализацией стратегии.

Решение перечисленных задач невозможно без построения соответствующих экономико-математических моделей - инструментов лица, принимающего решения (ЛПР). Возможность и эффективность практического применения таких моделей ограничивается степенью формализации СПП.

Наиболее формализованным компонентом СПП традиционно являются подсистемы показателей, между которыми (показателями различных уровней) устанавливаются не только причинно-следственные связи, но, по возможности, и функциональные зависимости. Попыткой частичной формализации СПП следует также признать ранжирование (определение весов) элементов СПП разных уровней: стратегических перспектив, целей, показателей, мероприятий с целью концентрации усилий организации на тех или иных направлениях стратегического развития⁴. При этом в основе ранжирования лежат экспертные (субъективные) оценки, а применение к ним формальных методов (например, ме-

⁴ Луговой Р.А. Инновационный подход к процессу стратегического управления вузом на основе системы сбалансированных показателей: Дис. ... канд. экон. наук. Владивосток, 2006; Немков В.А. Формирование ассортиментной политики в системе обеспечения экономической устойчивости промышленного предприятия: Автореф. дис. ... канд. экон. наук. Тюмень, 2003.

тогда анализа иерархий и его модификаций) позволяет лишь согласовать позиции разработчиков стратегии и лиц, ответственных за ее реализацию, по вопросам важности элементов стратегии. Для решения задач, перечисленных выше, такой “частичной” формализации явно недостаточно.

Необходима такая формализация всех межуровневых связей, при которой степень достижения каждой стратегической цели будет жестко увязана с затраченными ресурсами. Именно с этих позиций должна оцениваться значимость показателей и мероприятий (как “посредников” между ресурсами и целями). Важность самих целей при этом должна оцениваться с точки зрения влияния (при установленных формальных связях) на степень достижения вышестоящих целей (в конечном итоге, стратегических приоритетов).

Предлагаемая формализация ССП базируется на следующих положениях.

Νόδαδαάε-άπεία όάέυ έ άά άίπδέάί έά

1. Стратегическая цель обычно выражается некоторой формулировкой. Однако практически любая формулировка цели может пониматься неоднозначно. Для того чтобы устранить эту неоднозначность, будем описывать цель через некоторый набор показателей, значениями которых мы, собственно, и измеряем цель. В терминологии ССП эти показатели называются результирующими (их значения позволяют судить о степени достижения цели). Достижение цели есть достижение каждым показателем некоторого желаемого значения (или попадание в некоторый “коридор” желаемых значений). Будем называть эти значения целевыми (ЦЗ). При этом значения показателей в момент формулирования цели назовем начальными (НЗ). Значения показателей в некоторый (текущий) момент времени назовем текущими значениями (ТЗ).

2. Совокупность показателей, соответствующих стратегической цели, может представлять собой иерархическую систему. Показатели верхнего уровня - результирующие, показатели более низких уровней - формирующие (их значения отражают усилия по достижению цели).

3. Под степенью достижения цели будем понимать число от 0 до 1. Степень достижения цели равна 0, если текущие значения всех результирующих показателей равны начальным (или отклонение значения показателя от целевого стало еще больше), и 1, если цель достигнута. Таким образом, между значениями показателей, соответствующих цели, и степенью ее достижения должна быть определена функциональная зависимость.

4. Для удобства можно ввести вспомогательные функции, переводящие область изменения показателей от НЗ до ЦЗ в промежуток от 0 до 1. В простейшем случае эти функции могут быть

линейными: $f_i(TZ_i) = \frac{TZ_i - HZ_i}{ЦЗ_i - HZ_i}$ (для i -го по-

казателя). В общем случае вид данных функций может быть произвольным (в зависимости от показателя и характера изменения его значений). В этом случае степень достижения цели будет равна 1 при равенстве 1 значений всех нормированных результирующих показателей.

5. Будем считать, что чувствительность степени достижения цели к изменениям значений разных показателей различна. В этой связи каждому результирующему показателю поставим в соответствие положительное число (от 0 до 1) - его вес для данной цели. Сумма весов всех показателей, соответствующих некоторой цели, должна быть равна 1.

Νέπδαι ά πδδαδαάε-άπεία όάέάέ, άçάέί ίπάυçύ όάέάέ

6. Совокупность стратегических целей есть многоуровневая иерархическая система, в которой каждой цели соответствуют одна или несколько целей более высокого уровня (кроме цели самого верхнего уровня), а также одна или несколько целей более низкого уровня (кроме целей самого нижнего уровня). Под соответствием между целями понимается следующее: достижение цели более низкого уровня способствует достижению цели более высокого уровня. В этом случае будем также говорить, что первая цель (более низкого уровня) является подцелью второй (более высокого уровня).

7. Причинно-следственная связь между достижением подцелей и цели обусловлена зависимостью между соответствующими их показателями. В то же время некоторые показатели цели могут не зависеть от показателей подцелей. В этой связи достижение любой цели (кроме целей самого нижнего уровня) возможно только при достижении всех ее подцелей. Обратное не верно. Не всегда достижение всех подцелей некоторой цели приводит к ее достижению.

8. Взаимосвязь между показателями цели и показателями подцелей различна. Отсюда различна чувствительность степени достижения цели к изменениям степеней достижения разных ее подцелей. В этой связи каждой подцели поставим в соответствие положительное число от 0 до 1 - ее вес для цели. Сумма весов всех подцелей некоторой цели должна быть меньше (если у цели есть показатели, не зависящие от показателей подцелей) либо равной 1. В последнем случае

достижение цели равносильно достижению всех ее подцелей.

1 άόίí άéú άéú

9. Изменение значений показателей происходит в результате осуществления определенных целенаправленных управленческих воздействий (проведения мероприятий). В этой связи каждому мероприятию может быть поставлен в соответствие вектор функций, определяющих изменение ТЗ каждого показателя в результате осуществления данного мероприятия (если на какой-то показатель мероприятие не оказывает влияния, то соответствующая координата вектора будет нулевой). Аргументом каждой функции будет ТЗ показателя (и, возможно, ТЗ других показателей), значением функции - изменение ТЗ показателя. Очевидно, что для разных ТЗ показателя его изменение будет различным. Например, увеличение ставки оплаты за единицу произведенной продукции (при сдельной оплате труда) на одну и ту же величину будет каждый раз приводить к различному росту выработки (который будет зависеть от текущей ставки, от текущей выработки и, возможно, от других показателей, например, коэффициента загрузки оборудования).

10. Изменение степени достижения цели в результате проведения мероприятия может происходить вследствие изменения значений некоторых показателей цели (как результат мероприятия), а также опосредованно как следствие изменения степени достижения подцелей (от этого же мероприятия).

11. Каждому мероприятию может быть поставлен в соответствие набор ресурсов, необходимых для его осуществления. В то же время необходимо понимать, что проведение мероприятия не только требует единовременных затрат определенных ресурсов, но может привести к изменению структуры и величины текущих затрат. Например, создание нового отдела требует единовременных затрат и дополнительных текущих затрат на его содержание. С другой стороны, после создания отдела текущие затраты могут и снизиться в результате осуществления им своих функций (вырастет производительность труда, уменьшится процент брака, сократятся непроизводственные потери и т.п.) Таким образом, каждому мероприятию может быть также поставлена в соответствие величина (в общем случае функция), отражающая изменение текущих затрат в результате его осуществления (например, изменение удельных затрат - себестоимости 1 руб. товарной продукции).

Формализация ССП позволяет построить ряд взаимосвязанных моделей, обеспечивающих ЛПР

необходимой для решения стоящих перед ним задач аналитической информацией и тем самым повышающих эффективность принимаемых им решений.

Для того чтобы сформулировать требования к такой информации, а значит, и к самим моделям, необходимо, прежде всего, понять, в чем состоит управленческое решение. Единицей принимаемого решения является мероприятие, или, более точно, решение об осуществлении либо не осуществлении каждого мероприятия. Таким образом, ЛПР выбирает из множества возможных мероприятий (за каждым из которых стоят необходимые ресурсы и определенные последствия) некоторую конкретную совокупность мероприятий, направленных на достижение целей. Для этого ЛПР необходимы, с одной стороны, информация о последствиях осуществления каждого возможного комплекса мероприятий и необходимых ресурсах, с другой стороны, критерии выбора того или иного комплекса мероприятий.

Для удобства получения и анализа необходимой информации может быть построена имитационная модель на основе формализованной предложенным образом ССП, позволяющая "проигрывать" различные варианты решений. При этом, что особенно важно, ЛПР должно иметь возможность изменять параметры модели (зависимости между элементами, компоненты векторов и т.д.), поскольку, во-первых, они должны изменяться вслед за изменениями внешней и внутренней среды, а во-вторых, они могут уточняться в процессе использования (адаптивная модель). Кроме того, предполагая возможные изменения параметров модели, ЛПР может оценить устойчивость решений.

Прежде чем сформулировать дальнейшие требования к модели, рассмотрим критерии принятия решения, с точки зрения которых на основе полученной информации решается задача оптимального использования ресурсов для реализации стратегии.

Мы будем рассматривать только формализуемые критерии, хотя очевидно, что окончательный выбор решения зависит и от неформальных критериев, а также от опыта, интуиции, склонности к риску ЛПР. Именно поэтому модели позволяют формировать только варианты решений, удовлетворяющие определенным требованиям. Принятие решения о выборе одного из вариантов и его корректировке всегда остается за человеком.

Формальные критерии можно разделить на две группы, условно назовем их "стратегические" критерии и "экономические" критерии.

Критериями первой группы являются степени достижения стратегических целей. Критериями второй группы являются показатели, отражающие необходимость несения затрат ресурсов и их экономическую эффективность. Это, прежде всего, количество каждого из ресурсов, потребное для осуществления того или иного комплекса мероприятий. Кроме того, это показатели изменения удельных затрат, отражающие изменения величины и структуры текущих затрат организации и ее экономической эффективности вследствие проведения различных комплексов мероприятий. Таким образом, вторая группа критериев в свою очередь разбивается на две подгруппы.

Мы не вводим в систему критериев показатели экономической эффективности одновременных затрат (которые можно было бы рассматривать как инвестиции с использованием соответствующих показателей оценки их эффективности). Во-первых, потому что рассматриваются единовременные затраты не только финансовых ресурсов, при этом не все остальные необходимые ресурсы можно адекватно выразить стоимостными показателями, например, потребное количество уникальных ресурсов. Во-вторых, даже если это удалось, нельзя выразить в стоимостных показателях эффект от стратегических мероприятий. Причем речь идет не о технической невозможности, а о принципиальной. Эффект от таких мероприятий должен выражаться изменением степени достижения стратегических целей, т.е. “стратегическими” критериями. А изменение экономической эффективности организации - это важный, но побочный эффект, который принимается во внимание наличием в системе критериев показателей удельных затрат. Конечно, рост экономической эффективности организации может быть одной из стратегических целей. Однако даже в этом случае может осуществляться стратегия, при которой обеспечивается значительный рост эффективности в будущем за счет ее осознанного снижения в ближайшее время (захват рынка, переход на менее развитые, но более перспективные рынки и т.п.).

Таким образом, задача оптимального использования ресурсов для реализации стратегии - это многокритериальная задача, решение которой требует построения соответствующей модели. Использование имитационной модели, в отличие от аналитических моделей, позволяет не ограничивать формы представления целевых функций и допускает регулирование степени взаимосвязей между составляющими целевой функции. Имитационный подход не ограничивает методы составления многокритериальных целе-

вых функций, которые перестают зависеть от математической постановки задачи и формулируются самостоятельно на основе задач, стоящих перед объектом моделирования. Если при аналитическом моделировании объект подстраивается под целевую функцию, то при имитационном подходе целевая функция выбирается под цели объекта⁵.

Разработанная нами имитационная модель была реализованная в среде C++ Builder 5.0, что позволяет автоматизировать получение информации и упорядочить ее представление в различных удобных формах (программная реализация осуществлена А.Я. Чен).

Данная модель позволяет:

1. “Проигрывать” различные варианты решений, т.е. для любой совокупности мероприятий оценить количество необходимых ресурсов (по каждому ресурсу), изменение удельных затрат, ТЗ каждого показателя, степени достижения целей в результате осуществления этих мероприятий.

2. Задавать произвольные ограничения на любую совокупность “стратегических” и “экономических” показателей и отбирать все возможные комбинации мероприятий, удовлетворяющие заданным ограничениям (определение допустимого множества решений).

3. Выбирать решения, оптимальные по Парето (выделение области допустимых компромиссов).

4. На допустимом множестве решений (а точнее, на области допустимых компромиссов) находить решение, оптимальное по совокупности заданных критериев с установленными для них весами (или несколько локально оптимальных решений).

5. Находить решение, оптимальное по принципу справедливого компромисса (для выбранных критериев и установленных условий уступки).

6. Выбирать решения, обеспечивающие компромисс между выполнением принципа пропорционального развития для выбранной группы критериев (с заданными весами критериев и установленными нормативами) и любым другим обобщающим критерием по этой группе (“стратегической”).

7. Генерировать многокритериальные целевые функции, варьируя степень предпочтения между различными группами критериев, и выбирать решения, оптимальные в соответствии с каждой функцией.

⁵ Кобелев Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем: Учеб. пособие. М., 2003.

Рассмотрим более подробно пункты 3-7. Для этого необходимо формальное описание модели (частично будем использовать определения и обозначения, используемые в работе⁶).

Пусть X - решение, $X \in D_x$, D_x - допустимое множество решений. Критерии оценки решений задаются n скалярными функциями, образующими вектор

$X \rightarrow Y = F(x)$. Функционал $F(x)$ может быть задан не только аналитически, но и статистически или даже эвристически. Необходимо найти оптимальное решение $X^0 \in D_x$.

Модель оптимизации, соответствующая такой постановке, выглядит так:

$$X^0 = F^{-1}[optY(X)],$$

где opt - оператор оптимизации вектора Y .

Областью допустимых компромиссов Γ_x называется подмножество множества допустимых решений D_x , обладающее тем свойством, что все принадлежащие ему решения не могут быть одновременно улучшены по всем локальным критериям. Оптимальное решение всегда принадлежит области компромиссов ($X^0 \in \Gamma_x$), иначе оно может быть улучшено. Таким образом, поиск оптимального решения можно ограничить областью компромиссов, которая обычно значительно меньше всей области допустимых решений. В этой связи выделение области допустимых компромиссов является одним из главных моментов выбора решения в многокритериальных задачах.

Модель выбора решений, соответствующую данному определению Γ_x , можно записать так:

$$\Gamma_x = \{X | X \in D_x, \{X' | Y(X') \geq Y(X)\} \cap D_x = \emptyset\}$$

или

$$\Gamma_x = \bigcup_{A \in D_A} \left[F^{-1} \left[\max_{A \in D_A} \sum_j a_j Y_j(X) \right] \right],$$

где $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ - векторный параметр, заданный на множестве

$$D_A = \left\{ A \left| \sum_j a_j = 1, a_j > 0 \right. \right\}.$$

Компоненты вектора $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ можно рассматривать как веса критериев. Таким

⁶ См: Солодухин К.С., Дзина Г.А. Указ. соч.

образом, область допустимых компромиссов состоит из глобальных (а также из локальных в случае невыпуклой задачи - невыпуклого множества D_y) оптимумов:

$$X^0 = F^{-1} \left[\max_{X \in \Gamma_x} \sum_j a_j Y_j(X) \right].$$

Заметим, при определении оптимумов может находиться не только максимум линейной формы $\sum_j a_j Y_j(X)$, но и ее минимум в случае

принятия решения исключительно по "экономическим" критериям. Поскольку в общем случае используются как "экономические", так и "стратегические" критерии (которые требуют максимизации), можно переформулировать критерии ("экономические") так, чтобы находить именно максимум.

В частном случае данная модель позволяет решать однокритериальные задачи, а именно на допустимом множестве решений находить решение, оптимальное по любому заданному критерию.

Эффективность управленческих решений может быть повышена на основе использования некоторых моделей компромиссов.

Модель справедливого компромисса предполагает введение дополнительных критериев, так называемых цен уступки. Пусть в области допустимых компромиссов имеется два решения X' , X'' и их критерии оценки Y_1 и Y_2 , причем решение X' превышает X'' по одному из критериев, но уступает по другому критерию. Для сравнения этих решений вводится мера относительного снижения качества решения по каждому из критериев (цена уступки) x :

где ΔY_1 и ΔY_2 - абсолютные уровни снижения критериев при переходе от решения X' к X'' (для Y_1) и при обратном переходе (для Y_2), λ_1, λ_2 - веса критериев Y_1, Y_2 . При $x_1 > x_2$ более предпочтительным считается решение X' , и наоборот.

В общем случае принципу справедливого компромисса соответствует следующая скалярная модель оптимизации:

$$X^0 = F^{-1} \left[\max_{X \in \Gamma_x} \prod_j Y_j^{\lambda_j}(X) \right].$$

Строго говоря, такая мультипликативная модель оптимизации является равноправной альтернативой аддитивной модели оптимизации, приведенной выше. Соответственно, область допустимых компромиссов в этом случае может быть определена как

$$\Gamma_x = \bigcup_{\lambda \in D_\lambda} \left[F^{-1} \left[\max_{\lambda \in D_\lambda} \prod_j Y_j^{\lambda_j}(X) \right] \right],$$

где $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ - векторный параметр, заданный на множестве

$$D_\lambda = \left\{ \lambda \mid \sum_j \lambda_j = 1, \lambda_j > 0 \right\}$$

или

$$D'_\lambda = \left\{ \lambda \mid \prod_j \lambda_j = 1, \lambda_j > 0 \right\}.$$

Может быть построена и любая другая модель оптимизации, более подходящая, по мнению исследователя, стоящим перед ним задачам и выбранным критериям.

Существуют многокритериальные задачи, в которых одна группа критериев выражается в экстремальной форме (max, min), а на остальные критерии установлены нормативы, причем достижение всех нормативов заведомо невозможно. При решении таких задач может в числе других применяться принцип пропорционального развития.

В нашем случае в экстремальной форме (min) могут выражаться “экономические” критерии, а для “стратегических” критериев (степеней достижения целей) могут быть определены нормативы. Обозначим их через H_1, H_2, \dots, H_m . В частном случае все H_i могут быть равны 1 ($i = \overline{1, m}$). В общем случае $0 \leq H_i \leq 1$ (на каком-то этапе изменились внутренние и внешние условия и, понимая невозможность или даже нецелесообразность достижения всех изначально поставленных целей, по некоторым целям “планка была опущена”). При этом текущие степени достижения целей (изначально равные 0, но на данном этапе уже ненулевые) обозначим через b_1, b_2, \dots, b_m .

Тогда степень относительного невыполнения i -й цели может быть представлена как

$$\overline{W}_i = \frac{H_i - b_i}{H_i}.$$

Условие равенства степени относительного невыполнения по всем целям является целевой функцией, которая может быть названа целевой функцией пропорционального развития. В более общем случае целевая функция пропорционального развития может быть представлена в виде

$$\frac{H_i - b_i}{H_i} k_i = \frac{H_j - b_j}{H_j} k_j \quad (i, j = \overline{1, m}),$$

где k_i, k_j - коэффициенты, корректирующие степень относительного невыполнения исходя из дополнительных условий. В качестве коэффициентов могут выступать веса целей.

Важно отметить, что меньший норматив для цели не обязательно означает ее меньшую значимость (а следовательно, то, что ее вес будет меньше). Как уже отмечалось, норматив может быть снижен из-за нецелесообразности достижения изначального уровня цели вследствие изменения внутренних и внешних условий, однако важность самой цели при этом может остаться по-прежнему высокой, т.е. достижение нового норматива по данной цели может быть важнее, чем достижение нормативов других целей (которые ближе к 1).

В случае если модель учитывает саморазвитие экономической системы, т.е. допускает изменение степеней достижения целей без затрат учитываемых ресурсов, целевая функция пропорционального развития может выглядеть так:

$$\frac{H_i - (b_i + \Delta b_i)}{H_i} k_i = \frac{H_j - (b_j + \Delta b_j)}{H_j} k_j \quad (i, j = \overline{1, m}),$$

где $\Delta b_i, \Delta b_j$ - приросты степеней достижения i -й и j -й целей без затрат принимаемых во внимание ресурсов.

В качестве примера такой цели, поставленной в процессе стратегического планирования в вузе, может быть “рост острепенности профессорско-преподавательского состава на 20%” (такая цель может быть самостоятельной стратегической целью или подцелью более глобальной цели, например, “повышение качества образовательных услуг”). Очевидно, что даже без целенаправленных усилий руководства (разработка системы стимулов для своих преподавателей, выполняющих диссертационные работы, или приглашение острепенных преподавателей со стороны), которые требуют существенных финансовых затрат, острепенность может расти потому, что отдельные преподаватели будут в любом случае защищать диссертации, преследуя свои личные цели.

В дальнейшем в данной работе под степенью относительного недовыполнения i -й цели

будем понимать $W_i = \frac{H_i - b_i}{H_i} k_i$.

Каждой совокупности мероприятий может быть поставлен в соответствие вектор $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$ как результат осуществления этих мероприятий. С одной стороны, тот или иной комплекс мероприятий тем “лучше”, чем ближе будут степени достижения целей к нормативным значениям, т.е. чем ближе компоненты вектора W к нулю (или чем меньше норма вектора W , например, его длина

$$|W| = \sqrt{W_1^2 + W_2^2 + \dots + W_m^2}.$$

С другой стороны, пропорциональность развития требует минимальности “разброса” значений компонентов вектора W . То есть предпочтительность комплекса мероприятий может определяться величиной $d(W) = \max_i W_i - \min_i W_i$ (чем меньше, тем “лучше”).

Таким образом, возникает двухкритериальная задача выбора оптимального комплекса мероприятий из возможных. Для данной задачи также находится область допустимого компромисса (множество Парето-оптимальных решений), на которой окончательный выбор осуществляется в соответствии с принципом допустимого компромисса.

В последней предложенной схеме выбора комплекса мероприятий (нахождения оптимального решения) не учитываются “экономические” критерии. Тем не менее, очевидно, что решение, которое незначительно “лучше” других по обобщенным “стратегическим” критериям ($\|W\|, d(W)$), может значительно уступать им по “экономическим” критериям (требовать существенно больше ресурсов).

В данной связи может быть предложена еще одна, более сложная схема выбора, в которой “экономические” критерии учитываются наряду с обобщенными “стратегическими”. Прежде всего, выстраивается последовательность (линейно упорядоченное множество) решений (комплексов мероприятий) в порядке их приоритетности (по убыванию) по обобщенным “стратегическим” критериям (по одному из них, либо по обоим сразу с учетом принципа справедливого компромисса). Каждому члену последовательности (решению) ставится в соответствие число (в процентах), отражающее его отклонение от 0 (от

идеального решения, при котором $\|W\|$ и/или $d(W)$ равны 0). За 100% может быть взято наибольшее возможное отклонение (например, \sqrt{m} для $\|W\|$ или 1 для $d(W)$).

Затем задается радиус безразличия - такая величина отклонения, при которой все решения с меньшим отклонением можно считать равноприоритетными (со стратегической точки зрения). Выбор между такими решениями осуществляется уже по “экономическим” критериям. Изменяя радиус безразличия, мы, по сути, управляем соотношением (степенью предпочтения) между “стратегическими” и “экономическими” критериями. При достаточно большом радиусе безразличия (большем, чем отклонение последнего члена последовательности), “экономические” критерии не действуют вообще. При малом радиусе безразличия (меньшем, чем отклонение первого члена последовательности), наоборот, принимаются во внимание только “экономические” критерии (не действуют “стратегические” критерии).

В более общем случае вся последовательность ранжированных решений может быть разбита на некоторое количество интервалов с заданным шагом от 0 до 100%. В этом случае равноприоритетными (со стратегической точки зрения) будут считаться решения, попавшие в один интервал. Ранжирование решений внутри каждого интервала осуществляется по “экономическим” критериям. В этом случае управление степенью предпочтения между “стратегическими” и “экономическими” критериями осуществляется через варьирование шага разбиения. При шаге 100% не действуют “стратегические” критерии, при шаге 0% - “экономические”.

Характерной особенностью данного подхода является то, что в этом случае генерирование двухкритериальной целевой функции осуществляется имитационной процедурой. В более общем случае может быть рассмотрено несколько (более двух) групп критериев и, соответственно, многокритериальная целевая функция.

Одной из основных проблем практического использования предложенных моделей является получение информации о том, как изменятся ТЗ показателей в результате осуществления каждого мероприятия. Такая информация может быть получена путем опроса экспертов, которым, однако, очень тяжело (если вообще возможно) количественно оценить влияние мероприятия на значение показателя. В то же время, если предложить им использовать нечисловые вербальные оценки, то ответы могут быть получены с доста-

Преобразование вербально описываемых изменений в нечеткие множества

| Вербальное изменение | Значения x дискретной шкалы на множестве X | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| | Значения функции принадлежности μ | | | | | | | | | | |
| 1. Не изменится | 1 | 0,9 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2. Незначительно изменится | 0,8 | 1 | 0,8 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3. Значительно изменится | 0 | 0 | 0,2 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 0,5 | 0,2 | 0 | 0 |
| 4. Очень сильно изменится | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,9 | 1 | 1 |

точной степенью уверенности. В дальнейшем, с помощью инструментов теории нечетких множеств могут быть получены требуемые количественные оценки.

В таблице приведены возможные лингвистические переменные и их функции принадлежности. Под изменением понимается “улучшение” значения показателя (увеличение для одних показателей или уменьшение для других).

При необходимости могут быть также использованы неуверенные вербальные оценки, как “изменится скорее незначительно, чем значительно”.

Таким образом, ответу каждого эксперта ставится в соответствие нечеткое множество, после чего с помощью максиминного правила композиции нечетких множеств⁷ может быть найдено “средневзвешенное” нечеткое множество, с учетом компетентности каждого эксперта:

$$Q = Q_1 \circ Q_2 \circ \dots \circ Q_n =$$

$$= \left\{ \left\{ x, \mu(x) = \max_{x = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i} \left\{ \min(\mu_{Q_1}(x_1), \dots, \mu_{Q_n}(x_n)) \right\} \right\} \right\} :$$

$$: x \in X \left. \vphantom{x} \right\}, \forall x_1, \dots, x_n,$$

где n - количество экспертов;

Q_i ($i = \overline{1, m}$) - нечеткое множество, соответствующее ответу i -го эксперта;

w_i - “вес” i -го эксперта (может быть присвоен каждому эксперту извне и/или с учетом мнения самого эксперта о его компетентности по данному вопросу).

Полученному “средневзвешенному” нечеткому множеству Q может быть поставлено в соответствие число q , представляющее собой его “центр тяжести”, и определяемое по формуле

$$q = \frac{\sum_{j=1}^M x_j \cdot \mu_j}{\sum_{j=1}^M \mu_j},$$

где M - число дискретных значений на множестве X (в данном случае $M=11$).

Данный “центр тяжести” может быть принят за количественную величину - относительное изменение ТЗ показателя в результате осуществления мероприятия.

Поступила в редакцию 10.03.2009 г.

⁷ Грубов Е.О. Разработка системы поддержки принятия решений в вузе на основе теории нечетких множеств: Дис. ... канд. экон. наук. Иваново, 2001.