

А.Ю. Подчуфаров, д.т.н., ГП ВО "Автопромимпорт", первый заместитель генерального директора

Р.В. Сеньков, к.физ.-мат.н., АО "Системы комплексной безопасности", руководитель департамента программного обеспечения

Оценка кросс-влияния факторов конкурентоспособности на основе МКК-подхода

Сложность современных социально-экономических процессов обуславливает запрос со стороны практиков на повышение эффективности методов построения систем стратегического менеджмента, одной из основных задач которых является достоверная оценка и рациональное управление конкурентоспособностью (КС). Как следствие, развитие получают математические модели и методы прогнозирования, основанные на положениях системного подхода, обеспечивающие комплексный анализ факторов КС и их удобное прикладное использование.

Отдельное внимание в настоящее время уделяется вопросам оценки кросс-влияния факторов КС, значимость которых качественно возрастает в ситуациях, когда элементы исследуемого объекта определяются в составе внешних систем и/или связаны с ними контуром обратных связей. Одним из примеров, демонстрирующим актуальность совершенствования современных подходов в данной области, может служить видение Минэкономразвития России направлений развития применяемой сегодня методики оценки эффективности государственных программ, рассматривающей каждую программу независимо друг от друга. В данном случае, в соответствии с позицией министерства, отсутствие возможностей учета кросс-влияния факторов, выделяемых в составе рассматриваемых программ, является одним из существенных недостатков используемой методики, устранение которого является ее приоритетным направлением развития.

Исследования, проводимые на базовой кафедре ВО «Автопромимпорт» НИУ ВШЭ «Системы государственного и корпоративного управления», обеспечили возможность создать комплекс методов оценки и управления КС на основе семейства МКК-моделей, позволяющих формировать прикладные механизмы количественного анализа указанного межсистемного взаимодействия. В МКК-подходе базовый целевой показатель (БЦП) анализируемой системы рассматривается в качестве сравнительной, относительно выбранного конкурента, оценки (показателя) (СП) результирующего целевого показателя, определяемого целевыми показателями (ЦП) ее подсистем. Такой подход позволяет интерпретировать СП факторов, формирующих итоговое значение БЦП, с двух позиций:

1. как ЦП исследуемой системы;
2. как БЦП формирующих ее подсистем.

Использование указанной декомпозиции отражает базовые принципы системного подхода и дает возможность свести исследование исходной системы к анализу более простых подсистем, что в большинстве случаев значительно упрощает обоснование структуры факторов и формирование их оценок.

Декомпозицию исходной системы можно наглядно представить посредством ориентированного связного графа, см. рис. 1. Узлами графа являются БЦП подсистем. Уровни нумеруются индексом $n \in [1, \dots, N]$ сверху вниз. M -ая подсистема уровня n обозначается как $ПС_{nm}$, где $t \in (1, \dots, M_n)$. Вес дуги графа, связывающего подсистему $ПС_{ab}$ с подсистемой $ПС_{cd}$ ($a > c$), равен показателю значимости $ПЗ_{ab,cd}^{i_*}$ некоторого фактора i_* в подсистеме $ПС_{cd}$ (более высокого уровня), который, в свою очередь, является БЦП подсистемы $ПС_{ab}$ (более низкого уровня).

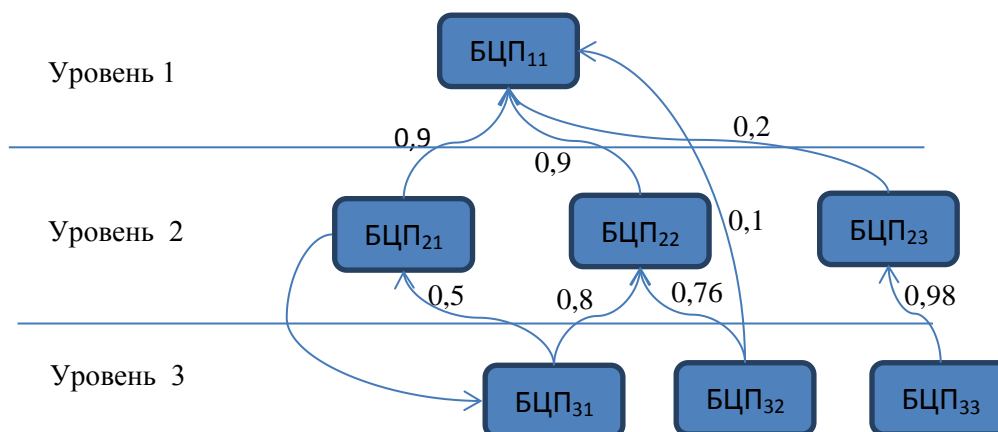


Рисунок 1. Граф кросс-влияния факторов (на примере машиностроительного предприятия, выписка).

На приведенном рисунке БЦП₃₁ входит в качестве СП фактора, формирующего БЦП подсистемы ПС₂₁ (с ПЗ = 0,5) и подсистемы ПС₂₂ (с ПЗ = 0,8), т.е. он определяет БЦП двух подсистем более высокого уровня. Показателю КС системы в целом соответствует БЦП₁₁.

Можно выделить следующие особенности предлагаемой декомпозиции:

1. В зависимости от принятого уровня сравнения (рассматриваемого конкурента) модель определяет разные значения БЦП для каждой подсистемы (и, следовательно, для системы в целом), однако соответствующие показатели значимости остаются одинаковыми.

2. Оценка БЦП подсистемы может быть задана неограниченным видом моделей, в том числе, построенными на отличающихся от используемых в МКК-модели принципах.

Важно, чтобы полученная оценка соответствовала формату БЦП, определенному в МКК-подходе.

3. Используемые показатели из структуры БЦП могут быть факторами любого типа, соответствующему классификации МКК-модели: качество, затраты, управление, рынки. Допускается определение факторов управленческой мотивация и характеристик рынков соответствующими функциональными зависимостями.

Используя указанное представление кросс-влияния факторов, получим количественную оценку такой взаимосвязи.

В МКК-подходе i -ый фактор характеризуется двумя показателями: *сравнительным показателем* $СП_i$ и *показателем значимости* $ПЗ_i$. На основании этих показателей рассчитывается значение соответствующего *коэффициента передаточной функции* K_i по формуле: $K_i = 1 - (1 - СП_i) * ПЗ_i$. Итоговая КС вычисляется как произведение коэффициентов передаточной функции всех факторов: $КС = \prod_{i=1}^N K_i$, где N – общее количество факторов. Понятно, что если $СП_i = 1$ и/или $ПЗ_i = 0$, то соответствующий коэффициент передаточной функции $K_i = 1$.

Обозначим КС системы при условии, что для i^* -го фактора $СП_{i^*} = 1$, через $КС1_{i^*}$. В этом случае $КС1_{i^*} = \prod_{i \in N, i \neq i^*} K_i$, а $КС = K_{i^*} * КС1_{i^*}$. Рассмотрим относительное изменение КС при изменении сравнительного показателя для i^* -го фактора от 1 до $СП_{i^*}$, то есть величину $\Delta_{КС} = \frac{КС - КС1_{i^*}}{КС1_{i^*}}$. Учитывая выражение для КС, можно получить:

$$\Delta_{КС} = \frac{КС - КС1_{i^*}}{КС1_{i^*}} = K_{i^*} - 1 = -(1 - СП_{i^*}) * ПЗ_{i^*} = ПЗ_{i^*} * \Delta_{СП_{i^*}}$$

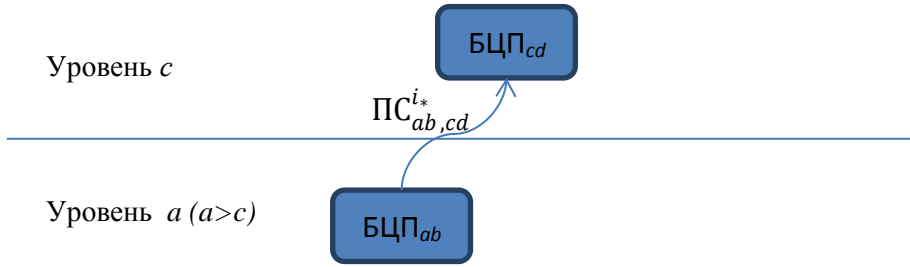
где через $\Delta_{СП_{i^*}}$ обозначена величина $(СП_{i^*} - 1)$.

Анализ выражения для $\Delta_{КС}$ позволяет дать следующую наглядную интерпретацию влияния сравнительного показателя на КС: если рассматриваемый СП меньше (больше) 1 на x % (то есть по данному фактору анализируемая компания хуже (лучше) конкурента на x %), то это дает $x * ПЗ$ % отставания (опережения) по итоговой КС. Например, если для некоторого фактора $СП = 0,8$ и $ПЗ = 0,5$, то указанное отставание на 20% от конкурента определяет $20% * 0,5 = 10%$ отставание по итоговой КС.

Определим коэффициент $КВ_{ab,cd}$ кросс-влияния подсистемы $ПС_{ab}$ на подсистему $ПС_{cd}$ как частную производную БЦП $_{cd}$ по БЦП $_{ab}$: $КВ_{ab,cd} = \frac{\partial (БЦП_{cd})}{\partial (БЦП_{ab})}$.

Для БЦП подсистемы $ПС_{nm}$ имеем: $БЦП_{nm} = \prod_{i=1}^{N_{nm}} (1 - (1 - СП_i^{nm}) ПЗ_i^{nm}) = \prod_{i=1}^{N_{nm}} (K_i^{nm})$, где N_{nm} – общее количество факторов подсистемы $ПС_{nm}$, индекс $i \in (1, \dots, N_{nm})$, а через K_i^{nm} обозначено значение передаточной функции i -го фактора $K_i^{nm} = 1 - (1 - СП_i^{nm}) ПЗ_i^{nm}$.

Рассмотрим случай А, когда подсистема $ПС_{cd}$ декомпозируется только на одну подсистему $ПС_{ab}$ и показатель значимости декомпозируемого фактора i_* в подсистеме $ПС_{cd}$ равен $ПС_{ab,cd}^{i_*}$:



Для БЦП подсистемы $ПС_{cd}$ имеем:

$$БЦП_{cd} = \prod_{i=1}^{N_{cd}} (1 - (1 - СП_i^{cd}) * ПЗ_i^{cd}) = \prod_{i=1}^{N_{cd}} (K_i^{cd}).$$

Выделим фактор i_* в данной формуле, получаем:

$$БЦП_{cd} = K_{i_*}^{cd} * \prod_{i=1, i \neq i_*}^{N_{cd}} (K_i^{cd}), \text{ где } K_{i_*}^{cd} = 1 - (1 - БЦП_{ab}) * ПЗ_{ab,cd}.$$

Таким образом, $БЦП_{cd}$ является линейной функцией от $БЦП_{ab}$, и для коэффициента кросс-влияния имеем:

$$КВ_{ab,cd} = \frac{\partial (БЦП_{cd})}{\partial (БЦП_{ab})} = ПЗ_{ab,cd} * \prod_{i=1, i \neq i_*}^{N_{cd}} (K_i^{cd}),$$

где произведение $\prod_{i=1, i \neq i_*}^{N_{cd}} (K_i^{cd})$ определяется только характеристиками подсистемы $ПС_{cd}$.

Обозначим его через X_{cd} , тогда:

$$КВ_{ab,cd} = ПЗ_{ab,cd} * X_{cd}.$$

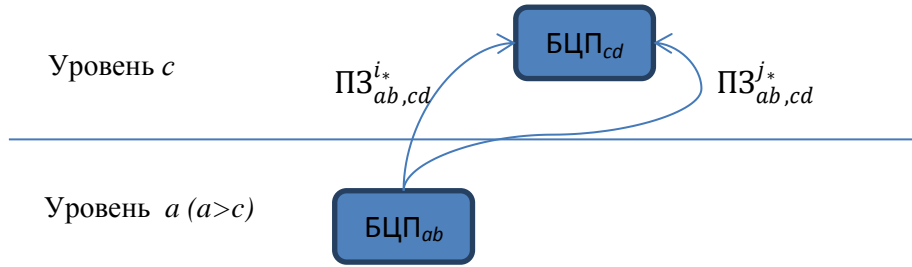
Отметим, что в данном случае $КВ_{ab,cd}$ является конкретным числом и не зависит от $БЦП_{ab}$.

Расширяя рассмотренный пример на случай, когда между подсистемами $ПС_{ab}$ и $ПС_{cd}$ имеется L подсистем $БЦП_{a_l b_l}$, $l \in (1, \dots, L)$, образующие цепочку декомпозиции $БЦП_{cd} \leftarrow БЦП_{a_1 b_1} \leftarrow БЦП_{a_2 b_2} \leftarrow \dots \leftarrow БЦП_{a_L b_L} \leftarrow БЦП_{ab}$, получаем:

$$\begin{aligned} КВ_{ab,cd} &= \frac{\partial (БЦП_{cd})}{\partial (БЦП_{a_1 b_1})} * \frac{\partial (БЦП_{a_1 b_1})}{\partial (БЦП_{a_2 b_2})} * \dots * \frac{\partial (БЦП_{a_L b_L})}{\partial (БЦП_{ab})} = \\ &= КВ_{a_1 b_1, cd} * КВ_{a_2 b_2, a_1 b_1} * \dots * КВ_{a_L b_L, a_{L-1} b_{L-1}} * КВ_{ab, a_L b_L}. \end{aligned}$$

Таким образом, в расширенном случае А коэффициент кросс-влияния $K_{ab,cd}$ выражается как произведение всех коэффициентов кросс-влияния рассматриваемой цепочки и не зависит от $БЦП_{ab}$.

Рассмотрим случай Б, когда два фактора подсистемы $ПС_{cd}$ декомпозируется на подсистему $ПС_{ab}$ и показатель значимости декомпозируемых факторов i_* и j_* в подсистеме $ПС_{cd}$ равны $ПЗ_{ab,cd}^{i_*}$ и $ПЗ_{ab,cd}^{j_*}$:



Для БЦП подсистемы $ПС_{cd}$ имеем: $БЦП_{cd} = K_{i_*}^{cd} * K_{j_*}^{cd} * \prod_{i=1, i \neq i_*, j_*}^{N_{cd}} (K_i^{cd})$.

В отличие от случая А, $БЦП_{cd}$ является нелинейной функцией от $БЦП_{ab}$ (так как $K_{i_*}^{cd}$ и $K_{j_*}^{cd}$ являются линейными функциями $БЦП_{ab}$), и для коэффициента кросс-влияния имеем:

$$K_{ab,cd} = \frac{\partial (БЦП_{cd})}{\partial (БЦП_{ab})} = \frac{\partial (K_{i_*}^{cd} * K_{j_*}^{cd})}{\partial (БЦП_{ab})} * \prod_{i=1, i \neq i_*, j_*}^{N_{cd}} (K_i^{cd}).$$

Произведение $\prod_{i=1, i \neq i_*, j_*}^{N_{cd}} (K_i^{cd})$ определяется только характеристиками подсистемы $ПС_{cd}$. Обозначим его через $X_{cd}^{i_*, j_*}$ и тогда:

$$\begin{aligned} K_{ab,cd} &= \frac{\partial (K_{i_*}^{cd} * K_{j_*}^{cd})}{\partial (БЦП_{ab})} * X_{cd}^{i_*, j_*} = (ПЗ_{ab,cd}^{i_*} * K_{j_*}^{cd} + ПЗ_{ab,cd}^{j_*} * K_{i_*}^{cd}) * X_{cd}^{i_*, j_*} \\ &= ПЗ_{ab,cd}^{i_*} * (K_{j_*}^{cd} * X_{cd}^{i_*, j_*}) + ПЗ_{ab,cd}^{j_*} * (K_{i_*}^{cd} * X_{cd}^{i_*, j_*}). \end{aligned}$$

Отметим, что в отличие от случая А, здесь $K_{ab,cd}$ является нелинейной функцией от $БЦП_{ab}$.

Расширим рассмотренный пример на случай, когда более чем два фактора подсистемы $ПС_{cd}$ с индексами $i \in I_*$ (а, в свою очередь, $I_* \in I_{cd}$, где I_{cd} – множество индексов факторов подсистемы $ПС_{cd}$) декомпозируются на подсистему $ПС_{ab}$ с соответствующими показателями значимости $ПЗ_{ab,cd}^i$, $i \in I_*$.

Используя известный факт, что частная производная сложной функции $z(x) = \prod_{i=1}^n f_i(x)$ выражается как $\frac{\partial z(x)}{\partial x} = \frac{\partial (\prod_{i=1}^n f_i(x))}{\partial (x)} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f_i(x)}{\partial x} * \prod_{j=1, j \neq i}^n f_j(x) \right)$ получаем, что

$$K_{ab,cd} = \frac{\partial (\prod_{i \in I_*} (K_i^{cd}))}{\partial (БЦП_{ab})} * X_{cd}^{i \in I_*} = X_{cd}^{i \in I_*} * \sum_{i \in I_*} \left(\frac{\partial (K_i^{cd})}{\partial (БЦП_{ab})} * \prod_{j \in I_*, j \neq i} (K_j^{cd}) \right) =$$

$$= X_{cd}^{i \in I_*} * \sum_{i \in I_*} (\text{ПЗ}_{ab,cd}^i * \prod_{j \in I_*, j \neq i} (K_j^{cd})).$$

Таким образом, в расширенном случае **Б коэффициент кросс-влияния** $KV_{ab,cd}$ **выражается как сумма всех коэффициентов кросс-влияния, помноженных на соответствующие коэффициенты, которые сами являются функциями от БЦП_{ab}.**

Комбинируя результаты, полученные для расширенных случаев А и Б, можно вычислить коэффициент $KV_{ab,cd}$ кросс-влияния подсистемы $ПС_{ab}$ на подсистему $ПС_{cd}$ для любого графа. Покажем это.

Пусть $P(ab,cd)$ – множество всех путей, связывающих подсистему $ПС_{ab}$ с подсистемой $ПС_{cd}$. Применим следующий алгоритм для графа $\Gamma(ab,cd)$, содержащего только пути $P(ab,cd)$:

1. Для каждых двух несмежных узлов, соединенных **путем без ветвлений**, ставим в соответствие новый путь, соединяющий эти два узла, с коэффициентом кросс-влияния, рассчитанным для расширенного случая А.
2. Для каждых двух несмежных узлов, соединенных **несколькими путями без ветвлений**, ставим в соответствие новый путь, соединяющий эти два узла, с коэффициентом кросс-влияния, рассчитанным для расширенного случая Б.

Очевидно, что указанный алгоритм позволяет за конечное число шагов:

1. Заменить в исходном графе $\Gamma(ab,cd)$ множество путей $P(ab,cd)$ на один путь, связывающий подсистему $ПС_{ab}$ с подсистемой $ПС_{cd}$.
2. Вычислить коэффициент $KV_{ab,cd}$ кросс-влияния подсистемы $ПС_{ab}$ на подсистему $ПС_{cd}$.

При введенных обозначениях коэффициент кросс-влияния подсистемы $ПС_{ab}$ на итоговую КС (т.е подсистему $ПС_{11}$) выражается как $KV_{ab,11}$ или для краткости будем писать KV_{ab} . Матрицу связности исходного графа дополним столбцом, в котором укажем значение коэффициента KV_{ab} и проведем сортировку подсистем по убыванию для данного коэффициента.

Таким образом, предложенная методика позволяет для исходной системы получить ранжированный по уровню значимости для итоговой КС список подсистем (а, по сути, факторов «сквозного» формирования КС) и получить количественную оценку данного влияния.

При наличии достаточного количества исторических данных для оценки коэффициентов кросс-влияния можно использовать методы увеличения объективности показателей значимости факторов, основанные на результатах VAR моделирования.

Описанная методика хорошо согласуется с распространенными подходами к развертыванию планов стратегического развития «Хосин Канри» и «Система сбалансированных показателей», в которых уделяется особое внимание описанию причинно-следственных связей между факторами достижения стратегических целей. Изложенная схема дополняет указанные подходы рассмотрением взаимного влияния показателей на основе единой математической модели «сквозного» формирования КС, дающей количественную оценку как кросс-влияния, так и последствий изменения задействованных факторов.

Отметим, что на практике достаточно распространенным является случай, когда связи имеются только между соседними уровнями декомпозиции. Для рассматриваемого ориентированного графа, соответствующая матрица связности является нижней треугольной матрицей и имеет блочную структуру: поскольку дуги связывают только подсистемы смежных уровней, то ненулевые значения показателей значимости для строк, относящихся к подсистеме i -го уровня, могут быть только в столбцах, соответствующих подсистемам уровня $i-1$, см. табл. 1.

Таблица 1. Матрица связности с оценкой кросс-влияния факторов для случая, когда связи имеются только между соседними уровнями декомпозиции.

	ПС ₁₁	...	ПС _{1M₁}	ПС ₂₁	...	ПС _{2M₂}	ПС ₃₁	...	ПС _{3M₃}	...	ПС _{NM_N}	КВ _{ab}
ПС ₁₁	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
...	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ПС _{1M₁}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ПС ₂₁	ПЗ _{21,11}	...	ПЗ _{21,1M₁}	–	–	–	–	–	–	–	–	КВ ₂₁
...	–	–	–	–	–	–	–	–	...
ПС _{2M₂}	ПЗ _{2M₂,11}	...	ПЗ _{2M₂,1M₁}	–	–	–	–	–	–	–	–	КВ _{2M₂}
ПС ₃₁	–	–	–	ПЗ _{31,21}	...	ПЗ _{31,2M₂}	–	–	–	–	–	КВ ₃₁
...	–	–	–	–	–	–	–	–	...
ПС _{3M₃}	–	–	–	ПЗ _{3M₃,21}	...	ПЗ _{3M₃,2M₂}	–	–	–	–	–	КВ _{3M₃}
...	–	–	–	–	–	–
ПС _{NM_N}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	...	–	КВ _{NM_N}

Рассмотренный в работе подход к оценке кросс-влияния факторов, определяющих эффективность рассматриваемой системы, согласуется с методом анализа иерархий (analytic hierarchy process), предложенный в 70-х годах прошлого века Т. Саати. Метод анализа иерархий предлагает подход к оценке альтернатив достижения цели, основанный на построении иерархии (структуры) рассматриваемой системы и оценке влияния факторов на достижение цели путем анализа их попарных сравнений. Оценки указанных показателей делаются экспертами и формируют соответствующую матрицу попарных сравнений. Анализ предполагает соблюдение принципа *согласованности суждений*, смысл которого состоит в том, что если на результат деятельности рассматриваемой системы влияние фактора_1 в x раз больше, чем фактора_2, а влияние фактора_2 в y раз больше, чем фактора_3, то оценка влияние фактора_1 по сравнению с влиянием фактора_3 должно выражаться величиной $x*y$. В силу экспертности оценок при проведении реальных исследований полностью соблюсти принцип согласованности не удается, однако теория предлагает критерий (индекс согласованности), позволяющий оценить отклонения от согласованности и указать приемлемые границы его значений. Метод позволяет получить числовую оценку каждой из рассмотренных альтернатив, и, соответственно, выбрать наилучшую. Отметим, что полученные оценки отражают то понимание задачи, которое исследователь вложил в нее через использованные иерархию, критерии и оценки этих критериев.

Выбор наилучшей альтернативы из конечного числа возможных является частным случаем более общей задачи управления, когда требуется сформулировать сами возможные альтернативы. Предложенный в данной работе подход в отличие от метода анализа иерархий позволяет выявить сквозные механизмы формирования КС рассматриваемой системы и тем самым выявить наилучшее решение на всем множестве возможных альтернатив. Отметим также, что использование данного подхода, как правило, требует гораздо меньшего количества экспертных данных.

Специфика предложенного метода, основанного на построении иерархии рассматриваемой системы, позволяет реализовать сквозные вычислительные алгоритмы в составе специализированных программных комплексов.

Таким образом, представленный подход дает возможность повысить наглядность и эффективность принимаемых управленческих решений путем их ранжирования по уровню влияния на итоговые показатели деятельности. При разработке и развертывании планов долгосрочного развития методика позволяет комплексно увязать различные современные способы формирования системы стратегического менеджмента. Внедрение

методики обеспечило повышение достоверности разрабатываемых планов, сокращение сроков исполнения и снижение затрат в рамках проектов, реализованных в интересах отечественных и зарубежных компаний, включая предприятия, входящие в состав ГК Росатом и ГК Ростех.