

УДК 330.101.5

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ ЛВ-МОДЕЛИ РИСКА НЕУСПЕХА КОМПЛЕКСНОЙ СТРУКТУРНО-СЛОЖНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

А. Н. Бабенков,

канд. техн. наук

Е. Д. Соложенцев,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Обоснована актуальность задачи построения логико-вероятностных моделей риска неуспеха комплексных структурно-сложных экономических систем. Предложен ряд правил построения логико-вероятностных моделей риска: выделение внешних и внутренних иницирующих событий, свертывание иницирующих событий в узлах «И» и «ИЛИ», декомпозиция сложного сценария риска неуспеха и др. Приведены примеры построения логико-вероятностных моделей риска неуспеха с использованием предложенных правил, показавшие практическую возможность их выполнения и достаточно высокую эффективность.

Ключевые слова — правила, построение, модель, риск, экономика, система, события, логика, вероятность, программные средства.

Введение

Управлением риском и эффективностью на множестве объектов и систем в экономике ежедневно занимаются тысячи экономистов и менеджеров. Однако в настоящее время адекватные модели и программные средства для моделирования, анализа и управления риском для этих специалистов отсутствуют. Поэтому разработка и исследование моделей риска и эффективности в экономике является актуальной задачей [1].

Построение логико-вероятностной (ЛВ) модели риска системы осуществляют в следующей последовательности: формулируют сценарий риска, строят структурную модель риска, записывают Л-модель риска, выполняют ортогонализацию Л-модели риска и получают В-модель (полином) риска.

Логико-вероятностную модель риска можно всегда записать в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы, самой полной и громоздкой в записи и вычислениях. В частных случаях строят ЛВ-модели риска с ограниченным числом событий из совершенной дизъюнктивной нормальной формы, или в виде кратчайших путей функционирования, или по сценарию риска [2]. ЛВ-модель риска может быть комплексной с объ-

единением отдельных моделей риска операциями И, ИЛИ, НЕТ и циклами. Комплексные структурно-сложные экономические системы включают в себя несколько подсистем, которые могут иметь несколько общих или повторных элементов (событий) [3]. ЛВ-модель риска неуспеха строится с учетом повторных элементов с использованием алгоритмов ортогонализации Л-функций [4]. Комплексная ЛВ-модель риска может быть настолько сложной, что Л- и В-функции риска не помещаются в оперативной памяти компьютера или слагаемые в В-функции содержат большое число сомножителей (с вероятностями от 0 до 1) и оценка риска теряет точность. В этом случае следует применять декомпозицию модели и свертывать иницирующие события в узлах «И» и «ИЛИ».

Комплексная структурно-сложная экономическая система включает в себя несколько подсистем. Если подсистемы не имеют общих элементов (событий), то неуспех каждой может рассматриваться самостоятельно, а неуспех всей системы получают объединением событий для подсистем логическими операциями И, ИЛИ, НЕТ. Если подсистемы имеют несколько общих элементов (событий), то ЛВ-модель риска неуспеха строится с учетом повторных элементов.

Наибольшую практическую и теоретическую ценность представляют именно комплексные ЛВ-модели риска с повторными элементами, ибо экономические процессы взаимосвязаны и взаимозависимы. Однако методологии и технологии построения ЛВ-моделей риска с повторными элементами не существует. В разных частных сценариях для одних и тех же событий могут использоваться разные термины и понятия, и найти повторные элементы среди десятков и сотен событий не просто.

Предложен ряд правил построения комплексных ЛВ-моделей риска в экономике.

1. Построение ЛВ-модели риска неуспеха, если сценарий риска имеет логические связи только И или только ИЛИ, не вызывает каких-либо проблем, и все вычисления можно выполнить вручную или с использованием калькулятора.

2. Выделение в сценариях риска внешних, внутренних и повторных иницирующих событий.

3. Сворачивание иницирующих событий, если возникает проблема размещения Л-модели риска в оперативной памяти компьютера.

4. Выбор параметров алгоритма преобразования Л-модели риска (N_4 — максимального числа логических слагаемых и N_5 — максимального числа логических сомножителей в Л-слагаемых) путем пробных расчетов.

5. Декомпозиция сложной комплексной модели риска на ряд простых моделей, если в В-модели риска, построенной после ортогонализации Л-функции риска, слагаемые В-функции (В-полинома) имеют большое число сомножителей (например, больше 30). Так как вероятности иницирующих событий имеют значения в интервале $\{0, 1\}$, то теряется точность вычисления вероятностей производных событий.

После расчетов на каждой простой модели простые модели и результаты следует объединить логическими связями И или ИЛИ.

Рассмотрим некоторые из этих правил.

Выделение внешних иницирующих событий

Правило 1. На основе опыта разработки частных сценариев и ЛВ-моделей риска в экономике предлагается первый принцип решения этой проблемы. Этот принцип построения комплексной ЛВ-модели риска заключается в том, что для любого частного сценария риска экономического процесса рассматриваем отдельно *внешние* и *внутренние* иницирующие события. Тогда отдельные *внешние* иницирующие события могут окантоваться общими (повторными) для нескольких ЛВ-моделей риска частных сценариев риска эконо-

мических процессов. Примеры внешних иницирующих событий:

1. Компания — события экономической жизни страны и мировой экономики.

2. Цеха завода — события в управлении заводом: дирекция, плановый и финансовый отделы, отделы снабжения и сбыта, служба подготовки кадров и др.

3. Стихийные бедствия, эпидемии гриппа и др.

Свертывание иницирующих событий

Правило 2. Комплексная ЛВ-модель риска может быть настолько сложной, что логическая и вероятностные функции риска не помещаются в оперативную память компьютера. Например, в некоммерческом комплексе АСМ эти функции должны иметь не более 600 слагаемых. Такое же ограничение имеют пакеты программ «Арбитр», Risk Spectrum, Risk и Criss.

Для построения структурной, логической и вероятностной моделей риска неуспеха комплексной системы необходимы упрощения в ее задании и записи. Для этого предлагается второй принцип решения проблемы. Он заключается в свертывании (объединении) иницирующих событий в узлах «И» и «ИЛИ». Введем обозначения:

Y — событие в узле;

Y_1, Y_2, \dots, Y_k — события, влияющие на успех события в узле;

$P\{Y = 0\} = P$ — вероятность неуспеха события в узле Y ;

$P\{Y_1 = 0\} = P_1; P\{Y_2 = 0\} = P_2; \dots; P\{Y_k = 0\} = P_k$ — вероятности, с которыми влияющие события Y_1, Y_2, \dots, Y_k приводят к неуспеху события в узле Y ;

$P\{Y_1 = 1\} = 1 - P_1 = Q_1; P\{Y_2 = 1\} = 1 - P_2 = Q_2; \dots; P\{Y_k = 1\} = 1 - P_k = Q_k$ — вероятности, с которыми события Y_1, Y_2, \dots, Y_k приводят к успеху события Y .

Узел «ИЛИ». Логическая модель (Л-модель) риска неуспеха

$$Y = Y_1 \vee Y_2 \vee \dots \vee Y_k. \quad (1)$$

Вероятностная модель (В-модель) риска неуспеха

$$P\{Y = 0\} = 1 - Q_1 Q_2 \dots Q_k. \quad (2)$$

Узел «И». Логическая модель (Л-модель) риска неуспеха

$$Y = Y_1 \wedge Y_2 \wedge \dots \wedge Y_k. \quad (3)$$

Вероятностная модель (В-модель) риска неуспеха

$$P\{Y = 0\} = P_1 P_2 \dots P_k. \quad (4)$$

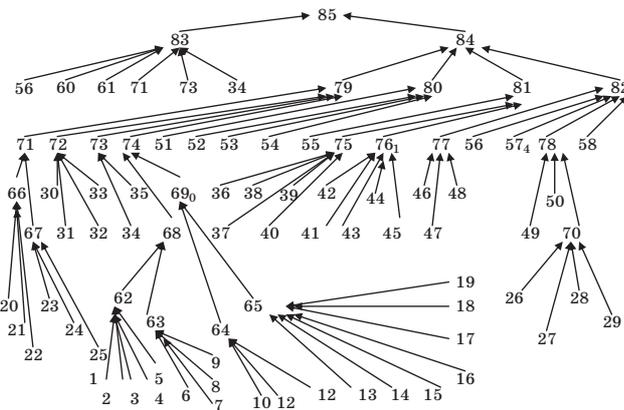
Таким образом, используя формулы (1)–(4), инициирующие события для узлов «И» и «ИЛИ» заменяем одним инициирующим событием с легко вычисляемой вероятностью. Это позволяет существенно уменьшить число инициирующих событий, строить Л- и В-функции для комплексной ЛВ-модели риска и исследовать риск неуспеха сложных экономических систем.

В свертываемые инициирующие события не включаются повторные события. Свертывание можно выполнять на программном комплексе В. В. Алексева, на некоммерческом программном комплексе А. С. Можаява [5] или даже ручными вычислениями. Задача оценки вкладов свертываемых инициирующих событий, исходя из структуры уравнений (2) и (4), не представляет каких-либо трудностей.

Исследования ЛВ-модели риска

Моделирование проводилось на программном пакете ПК АСМ 2001.1, который позволяет осуществлять структурно-логическое моделирование сложных систем. Для алгоритма расчетов задаются предварительные значения ряда параметров логической и вероятностной функций риска. Окончательные значения этих параметров выводятся на печать.

Параметр N_4 задает максимально возможное число слагаемых в Л-функции риска в процессе преобразований. Окончательное значение параметра, равное K_1 , будет меньше N_4 , но преобразования закончатся, если в процессе преобразований K_1 превысит значение N_4 . Параметр N_5 задает максимальное число логических сомножителей в слагаемом Л-функции. Окончательное значение параметра, равное K_2 , будет меньше N_5 . Возможные значения параметров N_4 и N_5 оценивают первыми прикидочными расчетами на программном комплексе.



■ Граф-модель риска неуспеха сложного события

Учет повторных элементов. Построена граф-модель риска неуспеха сложного события (рисунок). Внешние инициирующие события представлены группой из 6 событий, входящих в производное событие Y_{11} — «Влияние внешних факторов». Иницирующие события в количестве 61 события входят в группу производного события Y_{12} — «Влияние внутренних факторов». События Y_{31} , Y_{33} и Y_{47} являются общими (повторными) элементами в приведенной схеме модели риска. Эти события входят в производные события Y_{11} и Y_{12} , которые соединены логической связью И.

При переходе к табличному представлению модели риска производится замена обозначений переменных с индексами по графу (см. рисунок) для внутримашинного представления формируемой модели риска по образцу: Y_{NN} переобозначается как NN, где NN — номер события. Содержание событий сценария риска по рисунку приведено в табл. 1. Расчетные исследования выполнялись для итогового события, равного $y_{85} = y_{84} \wedge y_{83}$.

Ввод данных производится в файлы Gb.dat и Harel.dat. Сначала заполняется Gb.dat. В пер-

■ Таблица 1. Иницирующие и производные события ЛВ-модели риска неуспеха

Событие и его машинное представление	Событие и его машинное представление
Y_0 , 85 — сложное событие	Y_{41} , 66 — отсутствие постоянных клиентов
Y_{11} , 83 — внешние факторы	Y_{42} , 67 — отсутствие дополнительных услуг
Y_{12} , 84 — внутренние факторы	Y_{43} , 30 — неправильно поставлены задачи компании
Y_{21} , 59 — негативная экономическая ситуация в стране	Y_{44} , 31 — отсутствие грамотного управления
Y_{22} , 60 — разногласия между менеджерами и собственниками компании	Y_{45} , 33 — отсутствие квалифицированных подчиненных
Y_{23} , 61 — недостаточный объем данных исследования рынка	Y_{46} , 32 — высокие издержки
Y_{24} , 79 — отсутствие миссии компании	Y_{47} , 34 — падение спроса на услугу
Y_{25} , 80 — отсутствие определенной маркетинговой стратегии	Y_{48} , 35 — плохой имидж компании

■ Окончание табл. 1

Событие и его машинное представление	Событие и его машинное представление
Y ₂₆ , 81 — отсутствие выбора стратегии в целом и анализа рынка	Y ₄₉ , 68 — уменьшение чистой прибыли
Y ₂₇ , 82 — отсутствие маркетингового процесса внутри коллектива	Y ₄₁₀ , 69 — увеличение затрат
Y ₃₁ , 71 — отсутствие потенциального потребителя	Y ₄₁₁ , 36 — неверный выбор обращения к потребителю
Y ₃₂ , 72 — неправильно поставленные цели компании	Y ₄₁₂ , 37 — неверный выбор времени размещения
Y ₃₃ , 73 — падение спроса на товар	Y ₄₁₃ , 38 — непрофессионально созданный вид рекламного объявления
Y ₃₄ , 74 — снижение прибыльности	Y ₄₁₄ , 40 — непрофессионально созданный текст рекламы
Y ₃₅ , 51 — отсутствие анализа хозяйственного портфеля компании	Y ₄₁₅ , 39 — неверный выбор мест размещения
Y ₃₆ , 52 — недостаточность основных ресурсов	Y ₄₁₆ , 41 — снижение дополнительных выгод для потребителя
Y ₃₇ , 53 — выход из строя оборудования	Y ₄₁₇ , 42 — некомпетентность маркетологов
Y ₃₈ , 54 — уменьшение числа рабочих	Y ₄₁₈ , 43 — недостаточная работа с потребителями
Y ₃₉ , 55 — ошибки в ценообразовании	Y ₄₁₉ , 44 — отсутствие у потребителя четкого взгляда на продукт
Y ₃₁₀ , 75 — ошибки в продвижении продукта	Y ₄₂₀ , 45 — неверный выбор целевых рынков сбыта
Y ₃₁₁ , 76 — снижение эффективности рекламы	Y ₄₂₁ , 46 — снижение удовлетворенности основных потребностей работников
Y ₃₁₂ , 77 — повышение текучести кадров	Y ₄₂₂ , 47 — отсутствие четких критериев оценки результатов работы
Y ₃₁₃ , 56 — нехватка квалифицированных сотрудников	Y ₄₂₃ , 48 — отсутствие привязки результатов работы к заработной плате
Y ₃₁₄ , 57 — некомпетентность начальника отдела кадров	Y ₄₂₄ , 49 — недовольство сотрудников условиями труда
Y ₃₁₅ , 78 — снижение мотивации сотрудников к работе	Y ₄₂₅ , 50 — уменьшение заработной платы
Y ₃₁₆ , 58 — трудности в подборе персонала	Y ₄₂₆ , 70 — конфликты в коллективе
Y ₅₁ , 20 — устаревшая технология маркетинговых исследований	Y ₆₁ , 1 — высокие входные барьеры на рынок
Y ₅₂ , 21 — устаревшая технология проведения маркетинговой стратегии	Y ₆₂ , 2 — появление товара-заменителя
Y ₅₃ , 22 — устаревшая технология производства	Y ₆₃ , 3 — увеличение конкуренции
Y ₅₄ , 23 — устаревший вид услуг	Y ₆₄ , 4 — уменьшение известности бренда
Y ₅₅ , 24 — устаревший товар	Y ₆₅ , 5 — падение благосостояния населения
Y ₅₆ , 25 — неудовлетворенность запросов клиентов	Y ₆₆ , 6 — недостаток сходных материалов
Y ₅₇ , 62 — снижение объема выпуска продукции	Y ₆₇ , 7 — нехватка человеческих ресурсов
Y ₅₈ , 63 — падение спроса на продукцию	Y ₆₈ , 8 — ошибки в планировании
Y ₅₉ , 64 — увеличение косвенных затрат	Y ₆₉ , 9 — выход из строя основных средств
Y ₅₁₀ , 65 — увеличение прямых затрат	Y ₆₁₀ , 10 — увеличение коммунальных затрат
Y ₅₁₁ , 26 — отсутствие корпоративной культуры	Y ₆₁₁ , 11 — увеличение затрат на оплату труда
Y ₅₁₂ , 27 — отсутствие четко сформулированной системы должностных обязанностей	Y ₆₁₂ , 12 — увеличение стоимости закупки продукта поставщика
Y ₅₁₃ , 28 — отсутствие четкой системы требований к сотрудникам	Y ₆₁₃ , 13 — увеличение затрат на подбор персонала
Y ₅₁₄ , 29 — разные ценности сотрудников	Y ₆₁₄ , 14 — увеличение затрат на обучение работников
Y ₃₁ , 71; Y ₃₃ , 73 и Y ₄₇ , 34 входят как во внешние, так и во внутренние факторы	Y ₆₁₅ , 15 — увеличение затрат на управление
Y ₆₁₉ , 19 — увеличение затрат на покупку нового оборудования	Y ₆₁₆ , 16 — увеличение затрат на обслуживание производства
Y ₆₁₈ , 18 — увеличение затрат на содержание основных средств	Y ₆₁₇ , 17 — увеличение затрат на эксплуатацию основных средств

вой строке указываются общее число вершин N_1 , максимальное число заходящих дуг в одну вершину N_2 , число иницирующих вершин N_3 , максимальное число слагаемых N_4 и максимальное число сомножителей в одном слагаемом автоматически формируемой расчетной логической функции N_5 .

Далее следуют строки описания всех вершин. Номер вершины помещается в первом столбце. Признак вида вершины (иницирующие — 1 и производные — 2) — во втором столбце. Третий столбец служебный, а далее в строке следуют N_2 пар значений параметров, описывающих вершину. Далее заполняется файл Harel.dat для вероятностей иницирующих вершин.

Сворачивание иницирующих вершин. Исходная граф-модель (см. рисунок) имела $N_1 = 85$ вершин, из которых $N_3 = 61$ были иницирующими. При значении параметра $N_4 = 600$ (максимальное число слагаемых в Л-функции риска) корректного решения получить не удалось. При $N_4 < 500$ логическая и вероятностная функции строятся не полностью. Это видно из того, что преобразования оказываются незавершенными и число слагаемых для логической и вероятностных функций равно задаваемому значению $K_1 = K_2 = N_4$.

Поэтому было проведено сворачивание следующих групп иницирующих событий с целью уменьшить число иницирующих событий:

- группа Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 и Y_6, Y_7, Y_8, Y_9 сворачивалась в производное событие Y_{68} ;
- группа Y_{10}, Y_{11}, Y_{12} и $Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17}, Y_{18}, Y_{19}$ сворачивалась в производное событие Y_{69} .

При вероятностях названных иницирующих событий 0,02 получены при свертывании вероятности событий $P\{y_{68} = 0\} = 0,166252$ и $P\{y_{69} = 0\} = 0,182927$.

Далее было проведено построение новой, более компактной ЛВ-модели риска с исключением свернутых иницирующих событий и с использованием новых событий Y_{68} и Y_{69} , описанных уже как иницирующие, а не производные события. В качестве значений вероятности событий Y_{68} и Y_{69} использовались значения, полученные при сворачивании иницирующих событий.

Как видно из полученных результатов моделирования, сокращение размера модели сворачиванием иницирующих событий позволяет значительно уменьшить размерность Л-модели риска. Приведем основные результаты расчетных исследований.

В табличном представлении модели риска (табл. 2) иницирующие события с 1-го по 19-е свернуты в события 68 и 69. Описания иницирующих

■ Таблица 2. Табличное представление модели риска: $N_1 = 62, N_2 = 6, N_3 = 44, N_4 = 400, N_5 = 20$

y59	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,020
y60	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,020
y61	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,020
y68	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,166
y69	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,183
y66	2	0	20	1	21	1	22	1	0	0	0	0	0	0	
y67	2	0	23	1	24	1	25	1	0	0	0	0	0	0	
y70	2	0	26	1	27	1	28	1	29	1	0	0	0	0	
y71	2	0	66	2	67	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
y72	2	0	30	1	32	1	33	1	34	1	0	0	0	0	
y73	2	0	34	1	35	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
y74	2	0	68	1	69	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
y75	2	0	36	1	37	1	38	1	39	1	40	1	0	0	
y76	2	0	41	1	42	1	43	1	44	1	45	1	0	0	
y77	2	0	46	1	47	1	48	1	0	0	0	0	0	0	
y78	2	0	49	1	50	1	70	2	0	0	0	0	0	0	
y79	2	0	71	2	72	2	73	2	74	2	0	0	0	0	
y80	2	0	51	1	52	1	53	1	54	1	0	0	0	0	
y81	2	0	55	1	75	2	76	2	0	0	0	0	0	0	
y82	2	0	77	2	56	1	57	1	78	2	58	1	0	0	
y83	2	0	59	1	60	1	61	1	71	2	73	2	0	0	
y84	2	0	79	2	80	2	81	2	82	2	0	0	0	0	
y85	2	0	83	102	84	102	0	0	0	0	0	0	0	0	

Литература

1. Соложенцев Е. Д. Управление риском и эффективностью в экономике. Логико-вероятностный подход. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009. — 270 с.
2. Solojntsev E. D. Scenario Logic and Probabilistic Management of Risk in Business and Engineering. Second ed. — Springer, 2008. — 480 p.
3. Соложенцев Е. Д. И³-технологии в экономике. <http://www.dolgrach.ucoz.com> (дата обращения: 20.06.2010).
4. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. 2-е изд. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. — 276 с.
5. Mozhaev A. S. Certification of the Software for automated calculations of systems safety and technical risks «Arbiter» // Modeling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems: Proc. of the Int. Scien. School, St. Petersburg, Sept. 4–8, 2007. St. Petersburg: SPUASE, 2007. P. 403–408.

Кордеро Либорио (научный руководитель — проф. Михайлов В. Ф.), автор кратких сообщений «Метод активной многомодовой диагностики плазмы» (Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 62–64) и «Шумовая температура антенного окна» (Информационно-управляющие системы. 2010. № 2. С. 52–54), приносит извинения за отсутствие корректного цитирования следующих публикаций: Немировский В. А. Диагностика пристеночного участка плазмы посредством многомодового зондирования электромагнитными волнами // Изв. Вузов. Радиофизика. 1978. Т. 21. № 11; Михайлов В. Ф., Победоносцев К. А., Брагин И. В. Прогнозирование эксплуатационных характеристик антенн с теплозащитой. СПб.: Судостроение, 1994.
