

Модель выбора антирисковых стратегических программ для уменьшения потерь в цепях поставок с нечеткими параметрами



Автор статьи:

А.С. Птускин,

д.э.н., профессор

E-mail: aptuskin@mail.ru

Разработана нечеткая модель выбора стратегических вариантов действий, минимизирующих экономические потери, вызванные отказами и другими нежелательными событиями в цепи поставок. На первом этапе идентифицируются наиболее информативные компоненты цепи с точки зрения количества содержащейся в них информации о рисках и соответствующих потерях, что позволяет минимизировать объем данных, уменьшить размер графа цепи и в результате упростить

процедуру выбора. На втором этапе на упрощенном графе цепи поставок решается математическая задача выбора портфеля антирисковых программ, которая представлена как проблема математического программирования рюкзака типа.

The model for selection of risk-mitigating strategic programs decisions for minimising economic losses in supply chain with fuzzy parameters

Abstract: A fuzzy model for selection of risk-mitigating strategic decisions for minimising economic losses caused by refusals and other undesirable events in supply chain is suggested. We identify the most informative components of the supply chain in terms of the amount of information they contain about the economic risks and related losses, which permits us to minimize the amount of input data, to reduce the size of the graph presentation of the chain, and as a result, to simplify the procedure of choice. We use the obtained simplified graph presentation of the supply chain and solve a mathematical problem of portfolio selection in which the risk-mitigating programs are selected; this problem is presented as a fuzzy mathematical programming problem of the knapsack type.

Ключевые слова: управление цепочками поставок, рисками, подборка программ по смягчению рисков, теория нечетких множеств

Keywords: Supply chain management, Risk, Selection of risk-mitigating programs, Fuzzy sets theory

Причиной формирования концепции управления цепями поставок стали интеграционные процессы, которые заменили отношения агентов в системах поставок от отношений «на расстоянии оружия», которые характеризуются недоверием и соревнованием, на отношения «стратегическое партнерство» (Skjoett-Larsen et al, 2003). Авторы работы (Mentzer et al, 2001) предлагают следующее определение управления цепью поставок: это систематическая стратегическая координация традиционных деловых функций и целей сквозь все компании цепи поставок для достижения долгосрочной эффективности как отдельных компаний, так и всей цепи поставок в целом. В результате компании, входящие в цепь поставок, получают такие преимущества, как более полное информационное обеспечение, снижение уровня неопределенности в снабжении и сбыте; ограничение конкуренции; облегчение диффузии технологических новшеств; снижение издержек. Цепь поставок – это не только механическое объединение предприятий, концепция управления цепями поставок выводит предприятия на новый уровень осознания того, что они являются частью сложнейшего логистического процесса для достижения удовлетворения потребностей конечного потребителя. Участники цепи поставок должны быть объединены философией управления, для которой характерны интегрированный план действий, взаимный обмен информацией, разделение рисков, кооперация, единая цель на сохранение потребителя, интеграция процессов, партнерство для создания долгосрочных связей (Mentzer et al, 2001).

Минимизация непредвиденных событий, нарушающих нормальную работу системы, представляет собой ключевую цель всей логистической деятельности (Бауэрсокс, Клосс, 2010). Поэтому одной из важнейших проблем в управлении цепи поставок является повышение ее устойчивости. Обзор публикаций по рискам цепей поставок, проведенный в (Jeeva, 2011), свидетельствует, что они в основном посвящены вопросам промежуточных двусторонних отношений между потребителями и непосредственными поставщиками, и в очень немногих работах исследуются расширенные отношения цепи между более чем двумя сторонами. Мы рассматриваем стратегическую задачу повышения устойчивости работы всей цепи поставок, которая заключается в минимизации экономических потерь в цепи, вызванных отказами и другими нежелательными событиями, за счет оптимального формирования портфеля антирисковых стратегических программ с учетом их стоимости и результатов, а также ограничений требуемых ресурсов. В такие стратегические программы могут быть включены проекты

технологических и управленческих инноваций, технического перевооружения, реконструкции, совершенствования информационных систем, повышения квалификации персонала и т.д.

Для каждой антирисковой программы определена верхняя граница ее бюджета, а также определен общий бюджет всех антирисковых программ. Любой элемент (узел) цепи поставок может быть включен или не включен в эти программы. Известна стоимость реализации программы для каждого узла в случае его включения в программу. Необходимо сформировать портфель антирисковых программ, то есть определить, для каких узлов цепи эти программы будут реализованы, распределить средства между программами с учетом стоимости и экономического воздействия каждой стратегии при заданных ограничениях бюджета каждой программы и общего бюджета в целом. Критерием выбора портфеля является максимизация экономического выигрыша за счет уменьшения ожидаемых экономических потерь, порождаемых рисками в цепи поставок.

Для определения антирисковых программ необходимо получить и обработать огромный объем данных об отказах и сбоях, их причинах и экономических последствиях, местах и частоте возникновения. Размеры цепи могут быть очень велики. Например, типичная система поставок в автомобильной промышленности сформирована тысячами компаний. Автомобиль включает несколько главных систем (силовые агрегаты, система электроснабжения, системы навигации и парковки, передняя подвеска, задняя подвеска, автоматические коробки передач, комплекты кузовов, сиденья в сборе, модуль дверей, система пассивной безопасности, система климат-контроля, усилители рулевого управления и т.д.), каждая из которых содержит множество подсистем, компонентов и отдельных деталей. Так система поставок Hyundai включает приблизительно 400 первых поставщиков, 2500 вторых поставщиков и тысячи поставщиков следующих уровней. В масштабах всей цепи сбор, хранение и анализ всей информации становится сложной и часто не поддающейся решению задач (Jeeva, 2011). Анализ сбоев абсолютно всех элементов сложной цепи поставок попросту нецелесообразен и нереален; управление цепью поставок предполагает построение эффективного, удовлетворяющего клиента процесса, в котором эффективность всей цепи поставок более важна, чем эффективность любого ее отдельного элемента (Battini, Persona, 2007). Поэтому количество информации необходимо ограничить, но обеспечить объем знаний, обеспечивающий достаточный уровень уверенности в их полноте для принятия обоснованных решений.

Как правило, цепи поставок характеризуются многоуровневой иерархической структурой и состоят из ряда подсистем или узлов, выделенных по определенному признаку, отвечающему конкретным целям и задачам. Выделение подсистем может производиться с различной глубиной, различной степенью детализации. Это обуславливает необходимость разработки процедуры, позволяющей представить структуру цепи, выделить ее подсистемы таким образом, чтобы степень детализации позволяла сохранить наиболее важную информацию о логистических факторах риска и соответствующих экономических потерях. Цепь поставок может быть представлена в виде многослойной структуры. Верхний слой содержит небольшое количество узлов цепи. Следующие слои, более детально отражающие структуру системы, содержат большее количество узлов, и так далее последовательно, слой за слоем. Для каждого узла слоя системы, начиная с верхнего слоя, следует определить его информативность в отношении логистических факторов риска и соответствующих экономических потерь. Если при переходе к более низкому слою мера информативности не увеличивается, дальнейшая детализация не имеет смысла. Таким образом отбираются самые значащие и информативные компоненты цепи и наиболее важная информация для решения основной задачи.

Процедура сокращения размерности структуры модели цепи поставок для выбора антирисковых стратегических программ представлена в работе (Птускин, Левнер, 2012б), в которой в качестве меры информативности используется шенноновская энтропия и впервые используется количественная оценка информационной энтропии применительно к анализу и моделированию рисков цепи поставок. Поток событий, реально происходящих в течение рассматриваемого периода времени в разных узлах цепи поставок и приводящих к нежелательным последствиям, систематически регистрируется вместе с факторами, вызывающими такие события. Используя энтропийный подход, можно извлечь достаточный объем полезной информации из протоколов риска, генерируемых в различных узлах цепи.

Оценка уровня знания о факторах риска и местах их проявления с помощью энтропии позволяет количественно и точно охарактеризовать объем знания и дает возможность, действуя последовательно, шаг за шагом, уменьшать энтропию и увеличивать объем полезного знания. В результате мы получаем упрощенную теоретико-графовую модель цепи поставок, которая содержит практически ту же самую информацию (энтропию), что и полная модель, но имеет значительно меньшую размерность. Очевидное преимущество такого подхода в том, что проблема оптимального выбора портфеля антирисковых программ может решаться на упрощенном графе цепи поставок, т.е. имеет существенно меньшую размерность.

Для каждого узла, включенного в сокращенную модель, известны факторы риска, приведшие к событиям, ставшим причинами сбоев всей цепи, а также соответствующие экономические потери. В свою очередь, для каждого фактора риска может быть определен набор экономически обоснованных компенсирующих программ, направленных на предотвращение риска. Детерминированный вариант модели выбора портфеля антирисковых

стратегических программ представлен в (Птускин, Левнер, 2012а). Однако необходимо учитывать, что на практике задачи принятия стратегических решений описываются неоднозначными характеристиками. В нашем случае это нечеткие оценки стоимости реализации антирисковых программ, ожидаемых экономических выигрышей за счет предотвращения факторов риска, бюджетов каждой из программ и общего стратегического бюджета. Адекватное отражение неопределенности, неполноты и неточности параметров модели достигается использованием средств теории нечетких множеств (Левнер, Птускин, Фридман, 1998; Птускин, 2008).

Для параметров задачи известны возможные значения их величин, которые могут быть определены экспертами субъективно, исходя из природы параметров, опыта, формулировки проблемы (Sakawa, Nishizaki, Hitaka, 2001), что обосновывает их представление нечеткими числами. По словам Л. Заде в его предисловии к работе (Левнер, Птускин, Фридман, 1998), основным объяснением использования аппарата теории нечетких множеств является то, что «... у нас нет необходимости знать какую-то систему с высокой степенью точности и детализации. Другими словами, нам не так важно, что информация неточна или частично недостоверна, если это может быть использовано для достижения хорошего и устойчивого (робастного) решения с низкой стоимостью и хорошо согласованного с реальностью».

Можно предложить естественное представление параметров модели нечеткими числами с треугольными функциями принадлежности. Например, ожидаемый объем общего стратегического бюджета всех антирисковых программ задается треугольным нечетким числом $B = (b_1, b_2, b_3)$, где b_1, b_2, b_3 – экспертные оценки пессимистического, оптимистического и ожидаемого вариантов.

Введем следующие обозначения:

m – номер узла цепи; $m = 1, \dots, M$; M – количество узлов в цепи поставок;

f – индекс фактора риска; $f = 1, \dots, F$; F – общее число факторов риска, которые могут являться причинами сбоев в узлах цепи, приведших к экономическим потерям;

j_f – индекс антирисковой программы для предотвращения фактора риска f , $j_f = 1, \dots, J_f$; J_f – количество антирисковых программ для нейтрализации фактора f . В дальнейшем мы будем опускать индекс f в символах j_f для упрощения обозначений; при этом подразумевается, что каждому индексу j соответствует некоторый свой фактор;

H – число возможных антирисковых программ;

$x_{m, f, j}$ – бинарный параметр (искомая переменная), отражающий, включен ли узел m в антирисковую программу j для предотвращения фактора риска f : $x_{m, f, j} = 1$, если включен, $x_{m, f, j} = 0$, если нет.

Введем нечеткие параметры модели:

$b_{m, f, j}$ – заданная нечетким числом ожидаемая стоимость реализации антирисковой программы j для предотвращения фактора риска f в узле m ;

$c_{m, f, j}$ – заданный нечетким числом ожидаемый экономический выигрыш за счет предотвращения фактора риска f в узле m при реализации антирисковой программы j в узле m ;

$B_{f, j}$ – заданный нечетким числом ожидаемый объем бюджета программы j для предотвращения фактора риска f ,

B – заданный нечетким числом ожидаемый объем общего стратегического бюджета всех антирисковых программ.

Модель выбора может быть представлена блочной задачей математического программирования с нечеткими параметрами. Критерий оптимизации портфеля программ:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^{J_f} c_{m, f, j} x_{m, f, j} \rightarrow \max. \quad (1)$$

Ограничения по общему стратегическому бюджету:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^{J_f} b_{m, f, j} x_{m, f, j} \leq B. \quad (2)$$

Ограничения по бюджету программы j для предотвращения фактора риска f :

$$\sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^{J_f} b_{m,f,j} x_{m,f,j} \leq B_{f,j}, f=1, \dots, F; j=1, \dots, J_f; \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^{J_f} B_{f,j} \leq B. \quad (3)$$

Ограничения на включение узла в заданное число антирисковых программ по каждому фактору:

$$\sum_{j=1}^{J_f} x_{m,f,j} \leq H; m=1, \dots, M; f=1, \dots, F. \quad (4)$$

Условие бинарности переменных:

$$x_{m,f,j} = 0 \vee 1; m=1, \dots, M; f=1, \dots, F; j=1, \dots, J_f. \quad (5)$$

Оптимальный портфель антирисковых мероприятий определяется в результате решения задачи нечеткого математического программирования, которая формулируется следующим образом: определить все $x_{m,f,j}$, $m=1, \dots, M$; $f=1, \dots, F$; $j=1, \dots, J_f$, обеспечивающие нечеткий максимум (1) при нечетких ограничениях (2)-(3) и детерминированных ограничениях (4)-(5). Смысл нечетких операций приведен, например, в работе (Левнер, Птускин, Фридман, 1998).

Характерной чертой задач линейного булева программирования является наличие «лобового» решения, состоящего в полном переборе всех булевых векторов. Однако такой подход практически неосуществим в задачах большой размерности из-за огромного количества вариантов. В связи с этим представляет интерес разработка вычислительного метода, который находит точное или близкое к точному решение без полного перебора всех возможных вариантов. В основе метода решения лежит алгоритм редукции переменных, предложенный в (Ingargiola, Korsh, 1973; Lauriere, 1978; Левнер, Птускин, Фридман, 1998; Птускин, 2005) для одномерной задачи с одним ограничением вида (2), эффективность которого подтверждена вычислительными экспериментами. Процесс решения задачи разбивается на два этапа: редукция переменных, ведущая к значительному сокращению размерности задачи, и определение оптимальных значений оставшихся переменных за счет эффективного использования динамического программирования.

При принятии стратегических решений невозможно получить точные и полные знания обо всех действующих или потенциальных внутренних и внешних факторах, поэтому планируемые мероприятия стратегического уровня реализуются в условиях неоднозначности протекания реальных социально-экономических процессов, многообразия возможных состояний и ситуаций реализации стратегических решений (Качалов, 2002). Один из основных вопросов при выборе стратегических проектов – оценка прогнозируемых параметров, используемых для расчетов. Математическое программирование для экономических задач всегда связано с неопределенностью (Kaufmann, 1986), а применение аппарата теории размытых множеств дает возможность получения приемлемого в этих условиях решения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда и правительства Калужской области (проект № 12-12-40006а/р).

Список литературы

Бауэрсокс Д. Дж., Клосс Д. Дж. [Логистика: интегрированная цепь поставок](#). М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2010.

Качалов Р.М. Управление хозяйственным риском. М.: Наука, 2002.

Левнер Е.В., Птускин А.С., Фридман А.А. Размытые множества и их применение. М.: ЦЭМИ РАН, 1998.

Птускин А. С. Задача бюджетирования капитала с размытыми параметрами // Экономика и математические методы. 2005. Том 41. Выпуск 2. С. 95-101.

Птускин А. С. Нечеткие модели и методы в менеджменте. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.

Птускин А. С., Левнер Е. В. Модель выбора антирисковых стратегических решений для уменьшения экономических потерь в цепях поставок // В сб.: Системный анализ в экономике – 2012. Секция 2. Материалы научно-практической конференции. М.: ЦЭМИ РАН, 2012а. С. 149 – 151.

Птускин А. С., Левнер Е. В. Энтропийный подход к упрощению структуры цепи поставок для выбора антирисковых стратегических решений. // Экономическая наука современной России. 2012б. № 4 (59). С. 76-90.

Battini D., Persona A. Towards a use of network analysis: quantifying the complexity of Supply Chain Networks // Int. J. Electronic Customer Relationship Management. 2007. Vol. 1. No. 1. P.p. 75-90.

Ingargiola G.P., Korsh J.F. Reduction algorithm for zero-one single knapsack problems // Management Science. 1973. 20(4), Part 1. Pp. 460-463.

Jeeva A.S. Reducing supply risk caused by the stockwhip effect in supply chains // Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Kuala Lumpur (Malaysia), 2011. Pp. 739–744.

Kaufmann A. On the relevance of fuzzy sets for operations research // European Journal of Operational Research. 1986. 25. Pp. 330-335.

Lauriere M. An algorithm for the 0/1 knapsack problem // Mathematical Programming. 1978. 14. Pp. 1-10.

Mentzer J.T., DeWitt W., Keebler J.S., Min S., Nix N.W., Smith C.D., Zacharia Z.G. Defining supply chain management // Journal of Business Logistics. 2001. Vol. 22. No. 2. Pp. 59-84.

Sakawa M., Nishizaki I., Hitaka M. Interactive fuzzy programming for multi-level 0-1 programming problems with fuzzy parameters through genetic algorithms // Fuzzy Sets and Systems. – 2001. 117 (1). Pp. 95-111.

Skjoett-Larsen T., Thorne C., Andersen C. Supply chain collaboration: theoretical perspective and empirical evidence // International Journal of Physical Distribution and Logistics Management. 2003. Vol. 33. Pp. 351-545.