

построение упрощенных моделей цепей поставок для разработки антирисковых стратегических решений

Аннотация

В статье рассматривается проблема упрощения моделей цепей поставок для целей формирования портфеля антирисковых стратегических решений. Предлагается процедура, позволяющая уменьшать размерность модели, отираясь на измерение степени информативности отдельных ее подсистем.

Ключевые слова: управление цепями поставок, риски, энтропия, информативность

Начиная с 2006 г. руководство Калужской области в качестве пути как экономического, так и инновационного развития, избрало для себя путь развития за счет привлечения в регион прямых инвестиций, преимущественно иностранных.

На первом этапе регион разработал эффективную на тот момент инвестиционную стратегию, суть которой заключалась в обеспечении прямых инвесторов всеми необходимыми ресурсами, инфраструктурой и льготами. На наш взгляд, этот этап был реализован успешно, и в Калужской области был создан ряд иностранных отверточных сборок. Вторым этапом новые производства должны были повысить степень локализации. Этот этап был завершен – иностранные производители повысили степень локализации. Однако инвесторы предпочли привлекать импортных поставщиков для своих производств, таких как «Магна», «ЯПП», «Бентлер», «Вистеон» и другие. Это позволило им поддерживать качество своей продукции на уровне внутренних стандартов. В конечном итоге это привело к формированию закрытого кластера с точки зрения формирования добавленной стоимости и диффузии инноваций.

**Черняев
Виталий Игоревич**
ведущий экономист,
ОАО «Россельхозбанк»,
г. Калуга
hcdkutber@yandex.ru

**для минимизации
рисков разработана
процедура,
позволяющая
выделить
подсистемы,
содержащие
наиболее полную
информацию о рисках
и экономических
потерях**

Главной причиной сложившейся ситуации является то, что калужские поставщики автокомпонентов по ряду причин предлагают продукцию не соответствующего качества и не способны обеспечить стабильных поставок. Не более 5% поставщиков автокомплектующих в России способны обеспечивать поставки продукции на уровне мировых стандартов качества. Если средний показатель дефективности по ISO 16959 не превышает 70 единиц на миллион деталей массового производства, то у российских производителей 1000 единиц (ГОСТ Р 51814.1 – 2009).

Измерения информативности компонентов цепи поставок

В данной статье рассматривается проблема выявления наиболее информативных компонентов цепи для ее упрощения в целях разработки оптимального портфеля антирисковых стратегических мероприятий, направленных на минимизацию экономических потерь в цепи, вызванных отказами и другими нежелательными событиями.

Самая простая цепь состоит из поставщика и потребителя, более сложные цепи имеют разветвленную структуру, в которой могут быть выделены отдельные подсистемы и логистические, технологические связи между ними. Подсистемы могут выделяться с различной глубиной и степенью детализации. Для решения задачи минимизации рисков и повышения качества цепи поставок в целом разработана процедура, позволяющая лаконично представить структуру и выделить те ее подсистемы, которые содержат наиболее полную информацию о факторах риска и связанных с ними экономических потерях. Такой подход позволяет существенно уменьшить объем анализируемых данных о цепи и упростить процедуры принятия решений.

Таким образом, мы предлагаем уменьшить размерность модели, опираясь на измерение степени информативности отдельных ее подсистем. Основная проблема заключается в том, чтобы дать адекватную меру информативности, отражающую количество информации о рисках и связанных с ними потерях и отобрать наиболее существенные и информационно полезные компоненты рассматриваемой цепи.

Различные способы измерения информативности узлов в графах и сетях рассматриваются в (Kasneci et al., 2009; Kireyev, 2009). Как указано в (Battini, Persona, 2007), один из наиболее перспективных аналитических подходов к измерению сложности цепей поставок и производственных систем основан на измерении Шенноновской энтропии (Shannon, 1948).

Для группы событий $E = \{e_1, \dots, e_n\}$ с априорными вероятностями возникновения событий $P = \{p_1, \dots, p_n\}, p_i > 0$, таких, что $p_1 + \dots + p_n = 1$, функция энтропии H определяется следующим образом:

$$H = - \sum_i p_i \log p_i. \quad (1)$$

Главная идея заключается в том, что возникновение событий с вероятностью близкой к 0,5 связано с больше неопределенностью, чем событий с более высокой или низкой вероятностью возникновения. Чем неопределенность ниже, тем меньше требуется информации для предсказания события и наоборот. Рост энтропии свидетельствует о росте неопределенности.

Шенноновская энтропия

Шенноновская энтропия успешно применяется для измерения информативности в сложных производственных системах. Например Карп и Ронен (Karp, Ronen, 1992) применяют Шенноновскую энтропию, чтобы показать, что переход к более мелким партиям в производстве может привести к снижению информационных затрат при планировании. Фризел и Вудкок (Frizelle, Woodcock, 1994) делают вывод, что высокая сложность производственной системы, оцениваемая энтропией, препятствует эффективной реализации производственного процесса. Энтропия для оценки уровня сложности систем, в том числе и цепей поставок, и измерения степени неполноты знаний об их состоянии используется в работах (Дуlessов, Агеева, 2011; Arteta, Giachetti, 2004; Blecker et al., 2005; Efstathiou et al., 2002; Isik, 2010; Martinez-Olvera, 2008; Sivadasan et al., 2002; Sundar, Lakshminarayanan, 2008). Мы рассматриваем энтропию как меру информативности для анализа и в дальнейшем упрощения модели цепей поставок.

**применяют
Шенноновскую
энтропию, чтобы
показать, что
переход к более
мелким партиям
в производстве
может привести
к снижению
информационных
затрат при
планировании**

**надо определить
самые
информационные
компоненты
цепи, содержащие
достаточно полную
информацию
для формирования
оптимального
портфеля
стратегических
действий**

Иерархия цепи поставок в данной статье рассматривается как многослойная структура (см. *рис.*). Самый верхний слой содержит несколько основных узлов цепи, которые далее называются «родительскими»: поставщики, автопроизводитель, дилеры, покупатели, каждый из которых может быть детализирован и содержать свою иерархию поставщиков. Будем называть структуру цепи поставок v -усеченной, если она представлена слоем v , т.е. содержит родительские узлы цепи и дочерние узлы от уровня 1 до уровня v . Каждый слой – это последовательное приближенное представление одной и той же цепи поставок, и чем больше значение v , тем более подробно слой с номером v представляет структуру исходной цепи.

Если при переходе от модели, содержащий слой v , к модели с большим значением, т.е. ($v + 1$), мера информативности изменяется незначительно, такая дальнейшая детализация цепи поставок не имеет смысла. Таким образом, мы будем определять самые информативные компоненты цепи, содержащие достаточно полную информацию для формирования оптимального портфеля стратегических действий.

Для каждого узла v цепи мы формируем информационную базу данных. Эти данные записаны в виде *таблицы 1*, представляющей собой список событий в узле в течение определенного периода времени (например, месяца). Каждая строка *таблицы 1* содержит описание ситуации, а именно события, произошедшего в данном узле цепи поставки в течение выбранной единицы времени (например, в течение дня). Строки информируют, привело ли событие к экономической потере или нет.

В ячейках *таблицы 1* записываются значения x_{rf} , равные 0 или 1. Величина (x_{rf}) на пересечении столбца f и строки r равна 1, если фактор f , соответствующий столбцу f , проявился в событии, описанном строкой r , и 0 – в противном случае. Последний столбец *таблицы 1* (с номером $F + 1$) используется для отображения результата события r , а именно: $x_{r,F+1} = 1$, если в узле произошел сбой, приведший к экономической потере, а $x_{r,F+1} = 0$ означает, что, несмотря на проявление фактора риска, заметной экономической потери не произошло. Пусть число событий, которые привели

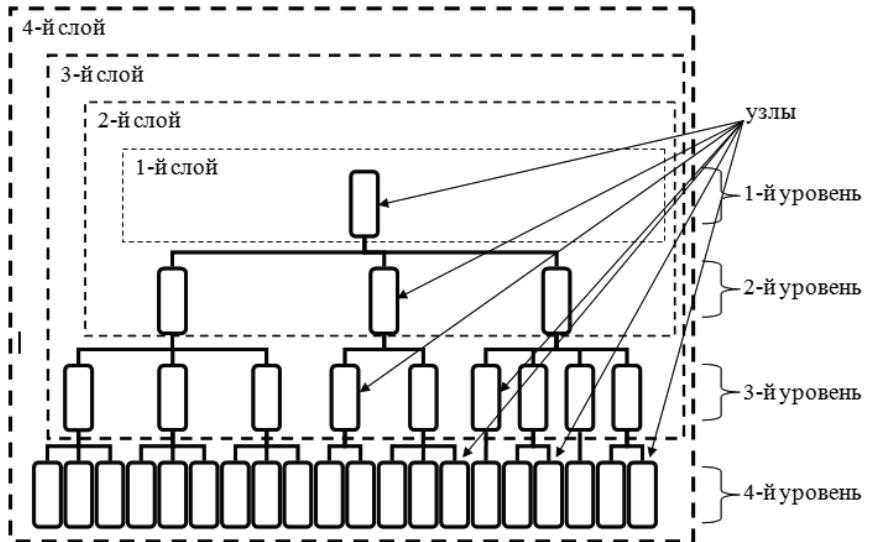


Рис. Узлы, уровни и слои сети поставок

к сбоям и экономическим потерям всей системы, равно W , такие события мы будем называть критическими.

После того, как мы построим таблицу D для всех узлов, входящих в какой-то произвольный слой, например, v . Для всего слоя v также можно сформировать подобную таблицу 2, объединив списки рисковых событий, входящих в слой узлов.

При этом следует исключить влияние строк для узлов с теми рисковыми событиями, которые вызваны их дочерними узлами и уже один раз учтены в данном слое. Если в родительском узле произошло событие, сопровождающееся риском и вызванное сбоем в дочернем узле, то в объединенной таблице 1 в соответствующей строке родительского узла в последнем столбце $F + 1$ значение 1 меняется на 0, а само рисковое событие учитывается записью 1 в столбце $F + 1$ соответствующей строки дочернего узла. Если в слой включено bv узлов, то общее число строк в таблице $Sv = bvR$. Для каждого f ($f = 1, \dots, F$) мы можем вычислить $Nv(f)$ – общее число тех строк в списке событий v -успешной структуры, для которых в столбце $F + 1$

одно из свойств функции энтропии состоит в том, что если система разделяется на несколько подсистем, то общая энтропия определяется как взвешенная сумма энтропий подсистем

Таблица 1

Список событий дочернего узла

Дочерний узел ИЗ	Факторы риска	Технологические				Информационные			Поставщики		
		Авария в энерго-снабжении	Нарушение технологии	Сбой в складских помещениях	Ошибки при планировании заказа	Выбытие сотрудников	Потеря информации во внутренней сети	Отказ сервера программы обработки информации	Сбой программы поставок	Низкое качество поставок из дополнительных черных узлов	Недостаток поставок из дополнительных черных узлов
События	f	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Брак	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Задержка выполнения заказа	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Выполнение заказа не в полном объеме	3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Отгрузка продукции, не соответствующей заказу	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Выполнение заказа не в полном объеме	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Задержка выполнения заказа	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Невыполнение заказа	7	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Выполнение заказа не в полном объеме	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
										11	(F+1)

Таблица 2

Список критических событий слоя 1 (родительского узла U_0)

Критические события	r	(F+1)	Потери, долл.
Невыполнение заказа	1	1	30 000
Брак	2	1	20 000
Выполнение заказа не в полном объеме	3	1	20 000
Невыполнение заказа	4	1	40 000
Выполнение заказа не в полном объеме	5	1	10 500
Выполнение заказа не в полном объеме	6	1	20 000
Невыполнение заказа	7	1	40 000
Отгрузка продукции, не соответствующей заказу	8	1	30 500
Невыполнение заказа	9	1	40 000
Задержка выполнения заказа	10	1	60 000
Задержка выполнения заказа	11	1	70 000
Невыполнение заказа	12	1	120 000
Невыполнение заказа	13	1	30 000
Брак	14	1	80 000
Невыполнение заказа	15	1	30 000
Невыполнение заказа	16	1	20 500
Невыполнение заказа	17	1	10 500
Брак	18	1	20 000

стоят $x_{r,F+1} = 1$. Относительная частота $pv(f|1)$ случаев, когда фактор f стал причиной экономических потерь, понимается нами как оценка вероятности соответствующего события и определяется для всего списка как:

$$pv(f|1) = Nv(f) / Nv, \quad (2)$$

где Nv – общее число строк со значением 1 в последнем столбце $F + 1$; $\sum f pv(f|1) = 1$.

Одно из свойств функции энтропии состоит в том, что если система разделяется на несколько подсистем, то общая энтропия определяется как взвешенная сумма энтропий подсистем (Karp, Ronen, 1992). Это обстоятельство будем отображать через отношение количества критических событий всей системы W к числу строк Sv в таблице для слоя v . Мера информативности также должна учитывать размер экономических потерь. Обозначим L – объем потерь, вызванных критическими событиями (это потери в цепи слоя 1). Общий объем всех

Таблица 3

Относительная частота $pv(f|I)$ случаев, когда фактор f стал причиной экономических потерь для слоя 3

Факторы риска	Технологические				Организационные		Информационные			Поставщики		
	Авария оборудования	Нарушение технологий	Сбой в энергоснабжении	Авария складских мощностей	Ошибка при планировании заказа	Выбытие ключевых сотрудников	Потеря информации во внутренней сети	Отказ сервера	Сбой программы обработки информации	Отсутствие поставок из дочерних узлов	Низкое качество поставок из дочерних узлов	Недостаток поставок из дочерних узлов
f	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N3	26											
N3(f)	5	4	3	3	2	1,5	1,5	2	3	0,5	0,5	0
P3(f I)	0,19	0,15	0,12	0,12	0,08	0,06	0,06	0,08	0,12	0,02	0,02	0,00

потерь в цепи может превышать эту величину, но сбой в каком-либо узле может не привести к сбою в следующем по цепи узле и к экономической потере. Это объясняется, например, наличием страховых запасов, либо наличием двух параллельных узлов, когда сбой в одном из них компенсируется деятельностью другого. Иными словами, потери на выходе системы в целом меньше потерь внутри системы. Каждый уровень v цепи поставок вносит свой «вклад» Lv в общий объем потерь L ; они суммируются из потерь соответствующих слою уровней (от 1 до v). Соответственно, при анализе v -усеченной структуры цепи имеется информация о потерях, доля которых в сумме потерь, вызванных критическими событиями, составляет Lv/L . Доля потерь нижеследующих слоев $(1 - Lv/L)$; эта величина с ростом v снижается. Чем больше становится номер слоя v , тем больше имеется информации о весе просмотренных уровней цепи в общем объеме критических потерь, а неопределенность в отношении «послойной структуры» размера экономических потерь уменьшается.

Тогда энтропия v -усеченной структуры для рассматриваемой цепи поставок («энтропия слоя v ») определяется как:

общий объем всех потерь в цепи может превышать эту величину, но сбой в каком-либо узле может не привести к сбою в следующем по цепи узле и к экономической потере

$$H(v) = -(1 - Lv/L)(W/Sv) \sum f_i p(v|f_i) \log p(v|f_i). \quad (3)$$

При переходе к следующему слову, т.е. с возрастанием детализации структуры цепи, энтропия снижается. Дальнейшая детализация цепи нецелесообразна, когда это снижение становится незначительным при переходе к последующему слову, т.е. когда:

$$(H(v-1) - H(v)) / (H(1) - H(v)) < \epsilon, \quad (4)$$

где ϵ – пороговое значение относительного изменения энтропии.

v -усеченную структуру, энтропия которой удовлетворяет условию (1), будем называть приближенной. Информация о наиболее значимых факторах риска и соответствующих экономических потерях достаточнона для выбора оптимального набора предотвращающих риск стратегий с учетом стоимости и экономического воздействия каждой стратегии при заданном ограничении бюджета.

Основной результат. Так как число критических событий в системе известно (и не зависит от числа слоев), то энтропия $H(v)$ v -усеченной структуры монотонно уменьшается с ростом v и асимптотически приближается к 0 при достаточно больших значениях v .

Этот результат следует из того факта, что величина $(1 - Lv/L)$ монотонно уменьшается при росте v ; величина (W/Sv) также монотонно уменьшается при росте v ; а значение $\sum f_i p(v|f_i) \log p(v|f_i)$ ограничено сверху величиной $\log F$. Так как параметры задачи, входящие в формулы (1)–(2), известны, легко определить число слоев v^* , обеспечивающих требуемое приближение исходной цепи поставок с заранее заданным значением $\epsilon = \epsilon_0$.

**при переходе
к следующему слову,
т.е. с возрастанием
детализации
структуре цепи,
энтропия снижается,
дальнейшая
детализация цепи
нецелесообразна...**

Выходы

1. В рационально организованном процессе принятия стратегических решений менеджеры стремятся избегать излишних подробностей и не используют информацию о внутренних процессах нижних уровней иерархии объекта управления. С одной стороны, необходимо обеспечить достаточный объем информации для правильных, т.е.

**в рациональном
процессе принятия
стратегических
решений менеджеры
избегают излишних
подробностей
и не используют
информацию нижних
уровней иерархии
объекта управления**

не приводящих к ущербу, решений, с другой стороны, – минимизировать затраты на получение и обработку этой информации.

2. Предложенная процедура дает эффективный подход к упрощению структуры модели цепи поставок, сокращению ее размёрности без потери информативности данных о сбоях и отказах, их причинах и экономических последствиях и может применяться для целей формирования портфеля стратегических решений по повышению устойчивости собственных цепей поставок.

Литература

1. Бауэрсокс Д.Дж., Дэвид Дж, Клосс Д.Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2010.
2. Гиониперо Л., Хукер Р., Джозеф-Метьюз С., Юн Т., Брадвиг С. Десять лет исследований в сфере управления цепями поставок: прошлое, настоящее и выводы для будущего // Российский журнал менеджмента. – 2011. – Т. 9. – № 2. – С. 59–92.
3. Дулесов А.С., Агеева П.А. Мера информации в задаче оценки бесперебойной работы технической системы // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 12 (часть 1). – С. 102–107.
4. Егорова Н.Е., Ерзняк Б.А., Хачатрян С.З., Акинфеева Е.В. Сетевой способ организации межфирменной экономической деятельности // Экономическая наука современной России. – 2007. – № 1 (36). – С. 68–81.
5. Качалов Р.М. Управление хозяйственным риском. – М.: Наука, 2002.
6. Клейнер Г.Б. Стратегия предприятия. – М.: Дело, 2008.
7. Лебедев К.К., Панкратова Д.А. Эволюция режимов промышленной сборки – одно из условий дальнейшей модернизации и развития автомобильной промышленности России // Экономическая наука современной России. Российская академия наук (Секция экономики). – 2011. – № 3 (54).
8. Плещинский А.С., Пачковский Э.М., Михайлина И.М. Согласованная оптимизация логистической и производственно-хозяйственной деятельности многостадийных предприятий (динамические модели). – М.: ЦЭМИ РАН, 2008.

9. Федотов Ю.В., Кротов К.В. Управление цепями поставок: проблемы определения термина и области исследований // Российский журнал менеджмента. – Том 9. – № 2. – 2011. – С. 49–58.
10. Arteta B.M., Giachetti R.E. A measure of agility as the complexity of the enterprise system // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2004. Vol. 20, pp. 495–503.
11. Battini D., Persona A. Towards a use of network analysis: quantifying the complexity of Supply Chain Networks // Intern. J. Electronic Customer Relationship Management, 2007. Vol. 1. No. 1, pp. 75–90.
12. Blecker T., Kersten W., Meyer Ch. Development of an Approach for Analyzing Supply Chain Complexity. In: Blecker Th., Friedrich G. (Ed.) Mass Customization. Concepts – Tools – Realization. Proceedings of the International Mass Customization Meeting, Klagenfurt, Austria, 2005, pp. 47–59.
13. Cruz M., Pinedo M.L. Total quality management and operational risk in the service industries // Tutorials in Operations Research. INFORMS, 2008. Ch. 7, pp. 154–168.
14. Efstathiou J., Calinescu A., Blackburn G. A web-based expert system to assess the complexity of manufacturing organizations // Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2002. Vol. 18, pp. 305–311.
15. Frizelle G., Woodcock E. Measuring complexity as an aid to developing operational strategy // IJOPM, 1994. Vol. 15, pp. 26–39.
16. Isik F. An Entropy-Based Approach for Measuring Complexity in Supply Chains // International Journal of Production Research, 2010. Vol. 48, No 12, January, pp. 3681–3696.
17. 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. January 22–24, pp. 739–744.
18. Karp A., Ronen B. Improving shop floor control: an entropy model approach // International Journal of Production Research, 1992. Vol. 30. No. 4, pp. 923–938.
18. Kasneci G., Elbassuoni S., Weikum G. MING: Mining Informative Entity Relationship Subgraphs // The 18th ACM Conference on Information and Knowledge Management, CIKM'09, November 2009. Hong Kong. ACM Press, 2009, pp. 1653–1656.

20. Kireyev K. Semantic-based estimation of term informativeness // Human Language Technologies: Proceedings of the 2009 Annual Conference of the North American Chapter of the ACL. Boulder (Colorado), 2009 June, pp. 530–538.
21. Klir G.J., Yuan B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1995.
22. Kogan K., Tapiero C.S. Supply Chain Games. Operations Management and Risk Valuation. Springer, 2007.
23. Larson P., Kulchitsky J. Single sourcing and supplier certification: Performance and relationship implications // Industrial Marketing Management, 1998. 27(1), pp. 73–81.
24. Levner E., Proth J.-M. Strategic management of ecosystems: A supply chain perspective // In E. Levner, I. Linkov, J.-M. Proth (eds). Strategic Management of Ecosystem. Springer, 2005, pp. 95–107.
25. MacKinnon M. The security team: These online services backup B2B security // Purchasing B2B, 2002.
26. Martinez-Olvera C. Entropy as an assessment tool of supply chain information sharing // European Journal of Operational Research, 2008. No 185, pp. 405–417.
27. Mason-Jones R., Towill D.R. Coping with uncertainty: Reducing bullwhip behavior in global supply chains // Supply Chain Forum: An International Journal, 2000. 1(1), pp. 40–45.
28. Natour A., Gibson P. Managing The Multi-Agent Supply Network: Agents Relationships, Risk, and Collaboration // Cambridge Business & Economics Conference, 2011 June 27–28.
29. Shannon C.E. A mathematical theory of communication // The Bell System Technical Journal, 1948. 27 (3), pp. 379–423.
30. Singh K. The impact of technological complexity and inter firm cooperation on business survival // Academy of Management Journal, 1998. 40(2), pp. 339–369.
31. Sivadasan S., Efstathiou J., Frizelle G., Shirazi R., Calinescu A. An information-theoretic methodology for measuring the operational complexity of supplier-customer systems // International Journal of Operation and Production Management, Vol. 22, No. 1. 2002, pp. 80–102.
32. Sundar Raj T., Lakshminarayanan S. Entropy Based Optimization of Decentralized Supply Chain Networks

- // Proceedings of the 17th World Congress. The International Federation of Automatic Control. Seoul. Korea. July 6–11, 2008, pp. 10588–10593.
33. Zsidisin G.A., Ellram L.M. et al. An analysis of supply risk assessment and techniques // International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 2004. 34 (5), pp. 397–413.
34. Киреева Н.С. Исследование инструментов логистики в контексте концепции создания добавленной стоимости в цепях поставок // Российское предпринимательство. – 2013. – № 1 (223). – с. 79–82. – <http://www.creativeeconomy.ru/articles/27634/>.

pn

Vitaly I. Chernyadiev

Lead Economist,

JSC "Russian Agricultural Bank", Kaluga

Construction of simplified models of supply chains to develop anti-risk strategic solutions

Abstract

The paper considers the issue of simplifying the models of the supply chains, required for formation of the portfolio of anti-risk strategic decisions. The author proposes a procedure, which allows reducing the dimension of the model, based on measuring the level of informative value of its individual subsystems.

Keywords: supply chain management, risks, entropy, information value