ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ

УДК 654.07.012.12

# БАЙЕСОВСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ОПЕРАЦИОННЫМИ РИСКАМИ

**Ю. В. Шевцова,** ст. преподаватель кафедры ММБП СибГУТИ; shevcova_yuliya@mail.ru

***Ключевые слова:*** *операционный риск, байесовские сети, диаграммы влияния.*

**В последние годы со стороны научного и бизнес-сообществ растет интерес к вопросам управления рисками, причем практика управления рисками, выйдя за рамки традиционно успешного в этой области финансового сектора, все более активно распространяется и в других сферах деятельности. По оценке экспертов, в нефинансовом секторе лидирующее положение по уровню используемых механизмов и процедур управления рисками занимают телекоммуникационные компании [1—4].**

Так, в России не менее 20% операторов фиксированной связи и около 70% сотовых операторов уже осуществили интеграцию элементов риск-менеджмента в корпоративную среду [4]. Данная тенденция обусловлена рядом причин, важнейшими из которых, на наш взгляд, являются:

- осознание руководством компаний необходимости перехода к новым методам управления с повышением его качества;
- возрастание уровня неопределенности на рынке предоставления услуг связи;
- ужесточение требований регуляторов рынка ценных бумаг в части эффективности системы контроля и управления рисками;
- рост операционных потерь [5, 6].

Однако, несмотря на довольно большое число серьезных практических реализаций и теоретических исследований, некоторые области риск-менеджмента остаются все еще слабо формализованными. Например, для одного из типов рисков — операционных — характерны как отсутствие единства в понимании его типологических особенностей, так и методологические трудности количественной оценки его уровня. В этой связи уточнение теоретико-методических основ и разработка практических приемов управления операционными рисками представляются весьма актуальными.

**Особенности операционного риска.** Следует заметить, что на сегодняшний день ни отечественные, ни зарубежные специалисты не пришли к единому толкованию такой экономической категории, как «операционный риск». На наш взгляд, этот термин может быть определен как *риск потерь, вызванных возникновением неблагоприятных событий при реализации внутренних (операционных) бизнес-процессов компании, источниками которых могут быть ошибки в технологии реализации бизнес-процессов, системы, неправильные действия персонала, а также внешние события нефинансового характера.*

Процесс управления операционными рисками сопровождается определенными концептуальными трудностями, обусловленными прежде всего сложностью природы данного вида рисков.

Применение для определения операционных потерь традиционных методов формального статистического анализа, таких как оценка параметров (прежде всего квантилей) функции распределения потерь, крайне ограничено. Это обусловлено тем, что данные подходы предъявляют жесткие требования к объему исторических данных, необходимых для построения эмпирических функций распределения потерь. В случае же малых выборок квантильные оценки весьма неустойчивы. В то же время большинство российских компаний, включая телекоммуникационные, на сегодняшний день не располагают обширными базами релевантных данных об инцидентах реализации операционного риска. Вследствие этого, на наш взгляд, в операционном риск-менеджменте целесообразно применение комбинированных моделей, которые могут основываться как на эмпирических данных, так и на субъективных экспертных оценках.

Согласно общему для стандартов качества управления принципу — процессному подходу, риск любого типа, в том числе и операционный, может быть представлен в виде причинно-следственной модели *источники→рисковое событие→последствия*. В контексте операционного риска в качестве его источников предлагается рассматривать как внутреннюю среду (системы, персонал, методическую ошибочность бизнес-процессов), так и внешнюю; в качестве рискового события — нарушение процедуры выполнения бизнес-процесса; в качестве последствий — операционные потери.

Как уже отмечалось, в роли объекта операционного риска выступают внутренние бизнес-процессы. В настоящее время для телекоммуникационных компаний характерно постоянное расширение перечня выполняемых бизнес-процессов, что обусловливает динамичность операционного рискового профиля и, соответственно, необходимость корректировки используемых модельных конструкций с учетом поступления новой информации.

Таким образом, как следует из вышеизложенного, применение традиционных для финансового риск-менеджмента статистических методов в управлении операционными рисками ограничено. На наш взгляд, в качестве адекватного модельно-измерительного аппарата операционных рисков могут быть использованы байесовские технологии (Bayesian techniques), включающие в себя статические байесовские сети, динамические байесовские сети, объектно-ориентированные байесовские сети и диаграммы влияния [7].

**Байесовские сети и управление операционными рисками.** Байесовские сети (Bayesian networks) и их разновидность — диаграммы влияния (Influence diagrams) представляют собой графовые модели описания отношений между случайными переменными некоторой области в условиях неопределенности. Формально байесовские сети являются ациклическими направленными графами, состоящими из узлов, представляющих переменные обла-

сти, и направленных дуг, определяющих отношения условной независимости между ними. Интенсивность причинно-следственных связей между переменными в байесовских сетях устанавливается через множество распределений условных вероятностей, основанных на априорных знаниях [8].

Использование байесовских технологий в управлении операционными рисками может помочь в разрешении обозначенных выше методических проблем.

Во-первых, байесовские сети являются комбинированными моделями и позволяют сочетать эмпирические данные, теоретические представления и субъективные оценки вероятностей (поэтому иногда их называют сетями доверия [7, 8]). Подход на основе субъективных вероятностей дает возможность моделировать крайне редкие события и довольно продуктивен при необходимости учета априорных суждений экспертов, а также в условиях отсутствия достаточного объема исторических данных.

Во-вторых, с помощью байесовских сетей исследуемый объект можно представить в виде системы причинно-следственных отношений с содержательной интерпретацией каждой переменной в терминах рассматриваемой проблемной области. В последние годы для ряда областей знаний (социологии, менеджмента, информатики и др.) становится характерным представление разнообразных форм в виде сетевых структур, что во многом предопределило рост интереса к байесовским сетям.

В-третьих, байесовские сети являются обучающимися моделями, параметры которых способны уточняться при поступлении новой (пусть даже неполной) информации. Так, получая каждый раз посредством обучения байесовских сетей по вновь поступающей информации частные значения функций распределения вероятностей случайных переменных, можно осуществить их восстановление. В этом и заключается, по нашему мнению, основное преимущество байесовской концепции — обновление априорных знаний об исследуемом объекте на базе апостериорной информации о нем [9].

**Моделирование операционных рисков с помощью байесовских технологий.** Согласно байесовскому подходу, знания о предметной области определяются в виде совокупности случайных переменных. С нашей точки зрения, при моделировании операционных рисков в качестве случайных переменных нужно рассматривать компоненты их причинно-следственных моделей, а именно источники (в байесовской терминологии — узлы состояния (chance nodes [8]), операционное рисковое событие (узел состояния), последствия его реализации (узлы полезности — utility nodes [8]) (рис. 1). Данные переменные — булевы, так как могут принимать два состояния: «реализуется = 1» и «не реализуется = 0», каждое из которых следует рассматривать как случайное событие.

Разработка топологии диаграмм влияния, моделирующих события операционного риска, по своему содержанию соответствует первоначальному этапу процесса управления рисками — *идентификации* и должна осуществляться специалистами, обладающими глубокими знаниями в области анализируемых бизнес-процессов, при организационно-методической и консультационной поддержке риск-менеджеров.

Следующий этап процесса управления рисками — *оценка их уровня* — в рамках предлагаемого подхода предусматривает определение априорных условных вероятностных распределений для переменных, представляющих операционное рисковое событие ($P(OPC = k \mid И_1 = l,\ldots, И_n = s)$, $k, l, s = 0,1$) и источники его возникновения ($P(И_i = l)$, $l = 0,1$; $i = \overrightarrow{1,n}$), а также средней величины последствий,

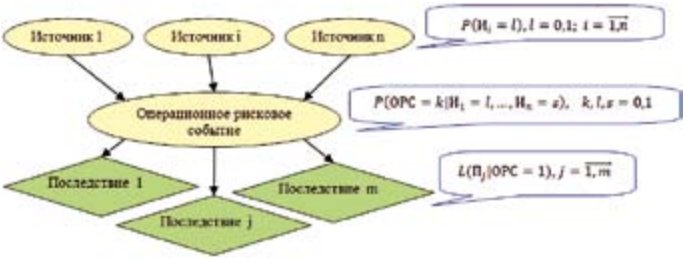


***Рис. 1***

т. е. операционных потерь от его реализации ($L(П_j \mid OPC = 1)$, $j = \overrightarrow{1,m}$) (см. рис. 1). Данные параметры могут быть оценены как экспертно (на основе априорного опыта), так и с помощью формального анализа (теории надежности, теории массового обслуживания и т. д.).

Задание причинно-следственной модели операционного рискового события в виде диаграммы влияния (см. рис. 1) позволяет, основываясь на положениях теории вероятностей [10], определить ожидаемую величину операционных потерь от его реализации:

$$EL(П) = \sum_j L(П_j \mid OPC = 1) \times P(OPC = 1),\ j = \overrightarrow{1,m},$$

$$P(OPC = 1) = \sum_{l,s} P(OPC = 1 \mid И_1 = l,\ldots,И_n = s) \times$$
$$\times P(И_1 = l) \times \ldots \times P(И_n = s),\ l,s = 0,1,$$

где $EL(П)$ – ожидаемая величина операционных потерь; $P(OPC = 1)$ – вероятность реализации операционного рискового события.

Таким образом, процесс моделирования операционного риска с помощью байесовских технологий по сути представляет собой двуединство анализа и синтеза. На первом этапе исследуемый объект — операционный риск — расчленяется на несколько структурных уровней (источники, операционное рисковое событие, последствия), что делает возможным его системное представление и облегчает восприятие. Это свойство байесовский подход унаследовал от теории графов — рассмотрение сложной системы в виде совокупности простых. На следующем этапе выделенные структурные элементы объединяются посредством положений теории вероятностей, обеспечивающей состоятельность системы в целом. Недаром байесовские технологии исследователи определяют как «союз теории вероятностей и теории графов» [8].

**Диаграммы влияния — базы знаний.** Являясь вероятностными причинно-следственными сетями, диаграммы влияния предоставляют широкие аналитические возможности в операционном риск-менеджменте. Так, применение байесовского логического вывода в диаграмме влияния, моделирующей событие операционного риска, позволяет ранжировать источники его возникновения по степени влияния на ожидаемую величину операционных потерь с целью выявления наиболее ответственных из них:

$$EL(П \mid И_i = 1) = \sum_j L(П_j \mid OPC = 1) \times$$
$$\times P(OPC = 1 \mid И_i = 1),\ j = \overrightarrow{1,m};\ \forall i = \overrightarrow{1,n};$$

$$P(OPC = 1 \mid И_i = 1) = \sum_{l,p,r,s} P(OPC = 1 \mid$$
$$И_1 = l,\ldots,И_i = 1,\ldots,И_n = s) \times P(И_1 = l) \times \ldots$$
$$\times P(И_{i-1} = p) \times P(И_{i+1} = r) \times \ldots$$
$$\times P(И_n = s),\ l,p,r,s = 0,1;\ \forall i = \overrightarrow{1,n},$$

где $EL$ (П|И$_i$ = 1) — ожидаемая величина операционных потерь в случае реализации $i$-го источника; $P$ ($OPC$ = 1 | И$_i$ = 1) — вероятность возникновения операционного рискового события в случае реализации $i$-го источника.

В противоположность определению степени чувствительности ожидаемой величины операционных потерь к источникам их возникновения диаграммы влияния также делают возможным «обратный анализ» — выявление наиболее вероятных источников возникновения операционных потерь как первоочередных объектов управления путем вычисления наиболее вероятного совместного распределения состояний источников в случае реализации операционного рискового события (возникновения потерь):

$$x^* = \{l^*,...,s^*\} = \{(l,...,s) \mid \max_{l,...,s} P(И_1 = l,...,И_n = s \mid OPC = 1), l,s = 0,1\};$$

$$P(И_1 = l,...,И_n = s \mid OPC = 1) = \frac{P(OPC = 1 \mid И_1 = l,...,И_n = s) \times P(И_1 = l) \times ... \times P(И_n = s)}{P(OPC = 1)} \times \frac{}{P(OPC = 1)}, l,s = 0,1;$$

$$I^* = \{И_i = p^* \mid p^* = 1, p^* \in x^*, i = \overrightarrow{1,n}\},$$

где $x^*$ — множество наиболее вероятных состояний источников возникновения операционного рискового события в случае его реализации; $P$ (И$_1$ = $l$,…, И$_n$ = $s$ | $OPC$ = 1) – совместное распределение вероятностей соответствующих состояний источников возникновения операционного рискового события в случае его реализации; $I^*$ – множество наиболее вероятных источников возникновения операционного рискового события в случае его реализации.

Заключительным этапом процесса управления рисками является их *обработка* — выработка обоснованного набора управленческих воздействий, оптимизирующих уровень риска. Цель обработки операционного риска — снижение ожидаемой величины операционных потерь до приемлемого для компании уровня путем оказания корректирующих воздействий на источники возникновения операционных рисковых событий (точнее, на вероятность их реализации).

Для определения целесообразности того или иного мероприятия в диаграмму влияния, моделирующую операционное рисковое событие (см. рис. 1), необходимо ввести узел решения (decision nodes [8]), представляющий данное мероприятие, и узел полезности, отражающий стоимость его реализации ($L(C \mid M_i = 1), i = \overrightarrow{1,n}$), а также скорректировать априорное вероятностное распределение переменной, соответствующей источнику возникновения операционного рискового события, над которым осуществляется управление: ($P$(И$_i$ = $r$ | $M_i = g$), $r, g = 0,1$; $i = \overrightarrow{1,n}$) (рис. 2).

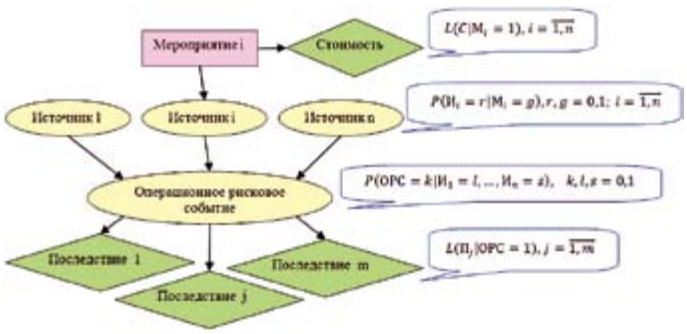


*Рис. 2*

*Рис. 3*

Экономическая целесообразность мероприятия определяется путем сопоставления стоимости его реализации и величины снижения ожидаемых операционных потерь в результате его осуществления:

$$L(C \mid M_i = 1) \le EL(П \mid M_i = 0) - EL(П \mid M_i = 1), i = \overrightarrow{1,n};$$

$$EL(П \mid M_i = g) = \sum_j L(П_j \mid OPC = 1) \times P(OPC = 1 \mid M_i = g), g = 0,1; j = \overrightarrow{1,m}; i = \overrightarrow{1,n};$$

$$P(OPC = 1 \mid M_i = g) = \sum_{l,r,s} P(OPC = 1 \mid И_1 = l,...,И_i = r,...,И_n = s) \times P(И_1 = l) \times ... \times P(И_i = r \mid M_i = g) \times ... \times P(И_n = s), g,l,r,s = 0,1; i = \overrightarrow{1,n},$$

где $EL(П \mid M_i = 1)$ — ожидаемая величина операционных потерь в результате осуществления $i$-го мероприятия; $EL(П \mid M_i = 0)$ — ожидаемая величина операционных потерь без проведения $i$-го мероприятия.

Тогда максимальная стоимость реализации мероприятия, при которой его осуществление экономически оправданно, определяется как

$$L^*(C \mid M_i = 1) = EL(П \mid M_i = 0) - EL(П \mid M_i = 1), i = \overrightarrow{1,n},$$

где $L^*(C \mid M_i = 1)$ — максимальная приемлемая стоимость реализации $i$-го мероприятия.

**Пример реализации предлагаемой методики на бизнес-процессе оператора связи.** Рассмотрим фрагмент диаграммы влияния (рис. 3), моделирующей характерное для ключевого бизнес-процесса оператора связи (предоставления услуг связи) событие операционного риска.

Априорные количественные параметры* диаграммы влияния оценены экспертно, а для упрощения записи в выражениях используются аббревиатуры названий узлов:

$$P(ОСО = 1) = 0,1; \quad P(ПЛКС = 1) = 0,1;$$

$$P(ТОКТ = 1 \mid ПЛКС = 1, ОСО = 1) = 0,95;$$

$$P(ТОКТ = 1 \mid ПЛКС = 1, ОСО = 0) = 0,90;$$

$$P(ТОКТ = 1 \mid ПЛКС = 0, ОСО = 1) = 0,85;$$

$$P(ТОКТ = 1 \mid ПЛКС = 0, ОСО = 0) = 0,02;$$

$$L(ШК \mid ТОКТ = 1) = 1000 \text{ ден.ед.};$$

$$L(ЗВР \mid ТОКТ = 1) = 5000 \text{ ден.ед.}$$

* Все параметры условны, так как их полные конфигурации предназначены для служебного пользования.

В настоящее время на рынке программного обеспечения уже представлено несколько продуктов [6], обеспечивающих поддержку байесовских технологий. В рамках данного исследования моделирование осуществлялось в программной среде Hugin Lite 7.2 (www.hugin.com).

Анализ представленной модели (см. рис. 3) позволяет:

- вычислить ожидаемую величину операционных потерь от технических остановок каналов и трактов:

$$P(ТОКТ=1)=\sum_{l=0,1;s=0,1} P(ТОКТ=1\,|\,ПЛКС=$$
$$=l,ОСО=s)\times P(ПЛКС=l)\times P(ОСО=s)=0{,}1832;$$

$$EL=L(ШК\,|\,ТОКТ=1)\times P(ТОКТ=1)+$$
$$+L(ЗВР\,|\,ТОКТ=1)\times P(ТОКТ=1)=1099{,}2 \text{ ден.ед.}$$

- осуществить анализ чувствительности ожидаемой величины операционных потерь к источникам их возникновения:

$$P(ТОКТ=1\,|\,ПЛКС=1)=\sum_{s=0,1} P(ТОКТ=1\,|\,ПЛКС=$$
$$=1,ОСО=s)\times P(ОСО=s)=0{,}905;$$

$$EL(\,|\,ПЛКС=1)=L(ШК\,|\,ТОКТ=1)\times$$
$$\times P(ТОКТ=1\,|\,ПЛКС=1)+L(ЗВР\,|\,ТОКТ=1)\times$$
$$\times P(ТОКТ=1\,|\,ПЛКС=1)=5430 \text{ ден.ед.}$$

Аналогично

$$P(ТОКТ=1\,|\,ОСО=1)=0{,}86;$$

$$EL(\,|\,ОСО=1)=5160 \text{ ден.ед.}$$

Наибольшее влияние на величину ожидаемых потерь от технических остановок каналов и трактов оказывают повреждения линейно-кабельных сооружений связи.

- осуществить «причинный» анализ, т.е. выявить наиболее вероятные источники операционных потерь в случае их возникновения:

$$P(ПЛКС=1,ОСО=1\,|\,ТОКТ=1)=$$
$$=\frac{P(ТОКТ=1\,|\,ПЛКС=1,ОСО=1)\times}{P(ТОКС=1)}$$
$$\frac{\times P(ПЛКС=1)\times P(ОСО=1)}{P(ТОКС=1)}=0{,}052.$$

Аналогично

$$P(ПЛКС=1,ОСО=0\,|\,ТОКТ=1)=0{,}442;$$

$$P(ПЛКС=0,ОСО=1\,|\,ТОКТ=1)=0{,}418;$$

$$P(ПЛКС=0,ОСО=0\,|\,ТОКТ=1)=0{,}089.$$

$$P(ПЛКС=1,ОСО=0\,|\,ТОКТ=1)=$$
$$=\max_{l=0,1;s=0,1} P(ПЛКС=l,ОСО=s\,|\,ТОКТ=1),$$

$$x^*=\{1,0\},\quad I^*=\{ПЛКС\}.$$

Таким образом, наиболее вероятным источником возникновения потерь от технических остановок каналов и трактов являются повреждения линейно-кабельных сооружений связи.

Проведенный анализ позволил количественно ранжировать источники технических остановок каналов и трактов с целью выявления наиболее приоритетного из них в качестве объекта управленческих воздействий.

Необходимо заметить, что предлагаемая методика в достаточной степени универсальна и может применяться для исследования операционных рисков не только организаций связи. Для последних управление операционными рисками столь актуально прежде всего из-за сложности их внутренних процессов и систем.

**Итак, байесовские технологии, в отличие от традиционных статистических методов оценки операционных потерь, позволяют представить операционный риск в виде системного явления, благодаря чему их можно воспринимать не только как способ моделирования операционных потерь, но и как комплексный управленческий инструмент, обеспечивающий широкие аналитические возможности. Отсюда вывод: применение байесовских технологий при моделировании событий операционного риска — существенный шаг в повышении уровня методического совершенства операционного риск-менеджмента.**

*ЛИТЕРАТУРА*


1. **Алешин А.** Мировые тенденции развития риск-менеджмента. Создание комплексной системы управления рисками. [Электронный ресурс] URL: http://www.isgr.ru/ru/about/press/news/index.php?id4=70 (дата обращения 15.06.10).
2. **Канев В.С.** Риски рынка телекоммуникационных услуг//Материалы IX международной конференции «Проблемы функционирования информационных сетей» (ПФИС-2006). РИЦ «Прайс-курьер».— Новосибирск, 2006. — С. 120—123.
3. **Бунцев И.А., Канев В.С.** Системное управление рисками в телекоммуникациях (состояние проблемы, методы, модели, реализации)//Вестник СибГУТИ.— 2009.— № 1.— С. 26—51.
4. **Никифоров А.В.** Управление рисками — важный элемент эффективной системы управления телекоммуникационных компаний//Мобильные системы.— 2006.— № 10.— С. 42—45.
5. Телекоммуникационная отрасль ежегодно теряет миллиарды долларов. [Электронный ресурс] URL: http://www.kpmg.ru/index.thtml/ru/press/news/index.html?cid=52616e646f6d4956af1808832d70ceb5c1c04d9761259c6f (дата обращения 15.06.10).
6. **Шевцова Ю.В.** Методические подходы и практические приемы операционного риск-менеджмента в компаниях телекоммуникационного сектора//Вестник СибГУТИ.— 2009.— № 1.— С. 52—67.
7. **Marcelo G. Cruz.** Modeling, measuring and hedging operational risk. John Wiley & Sons. UK.— 2002.— 330 p.
8. **Kjaerulff U.B., Madsen A.L.** Probabilistic networks — an introduction to Bayesian Networks and Influence Diagrams.— Aalborg University, 2005.— 133 p.
9. **Heckerman D.** A tutorial on learning with Bayesian Networks.— Microsoft Tech. Report — MSR-TR-95—06, 1995.— 40 p.
10. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей.— М.: Кнорус, 2010.— 664 с.


*Получено после доработки 06.10.10*