

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКИХ РИСКОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ С ПОМОЩЬЮ МАРКОВСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ФИЛАТОВ А.А., асп.

Рассматриваются проблема оценки риска возникновения масштабных аварий в электроэнергетике, и конкретнее – в секторе передачи и распределения энергии и модель на основе марковских процессов, позволяющая получать более реалистичные оценки риска и учитывать большее количество факторов, по сравнению с традиционными методологиями оценки.

Ключевые слова: вероятность аварии, моделирование, оценка рисков в электроэнергетике.

PHYSICAL RISK EVALUATION OF POWER NETWORK COMPANIES WITH THE HELP OF MARKOV MODELING

FILATOV A.A., postgraduate.

The article deals with the evaluation problem of large-scale emergency situations occurrence risk in power industry particularly in the sector of power transmission and distribution. The model based on Markov processes enables to get more realistic risk evaluation and to take into account more factors in comparison with traditional methods.

Key words: emergency probability, modeling, risk evaluation in power industry.

В последние годы в самых различных отраслях экономики на первый план выходят проблемы учета рисков и управления ими. Практически все серьезные компании в той или иной форме занимаются вопросами управления рисками, независимо от специфики своей деятельности. При этом рассматриваются различные разновидности риска: финансовые риски, инвестиционные, операционные, физические, политические, риски для репутации и пр. Предпочтение отдается рискам, имеющим наиболее важное значение для сферы деятельности, – финансовым на фондовом рынке, политическим – при разработке крупных проектов, связанных с государственным участием, физическим – в таких отраслях, где одним из приоритетов является надежность (например, электроэнергетика, атомная энергетика, теплоснабжение).

Электросетевые компании также являются важным звеном в данном перечне. Специфика их работы с рисками во многом связана с комплексом стоящих перед ними целей, среди которых, на первый взгляд, есть и взаимоисключающие – обеспечение инвестиционной привлекательности, достижение максимальной надежности, удовлетворение запросов потребителей и требований регулирующих органов. Сетевое предприятие в современных условиях должно решать эти проблемы *совместно*.

Эффективность деятельности сетевых предприятий в основном определяется качеством их работы с физическими активами – ЛЭП, трансформаторами, составляющими базу инфраструктуры любой энергосистемы, и управлением соответствующими *физическими рисками*. Именно состояние физических активов является залогом достижения вышеуказанных целей – если в зоне обслуживания компании

часто происходят аварии, то ни о какой инвестиционной привлекательности и высоких финансовых показателях говорить не приходится. Аналогично обстоит дело с удовлетворением запросов потребителей и с надежностью. Наиболее неблагоприятными как для сетевой компании, так и для общества в целом являются крупномасштабные системные аварии, подобные произошедшим в США в 2001 г. и в России в 2005 г., приведшие к прекращению энергоснабжения большого числа потребителей и катастрофическому финансовому ущербу. Поэтому методы оценки риска возникновения подобных редких, но катастрофических событий весьма актуальны и должны являться составной частью риск-анализа.

Все физические активы электросетевых компаний можно рассматривать на нескольких иерархических уровнях. Низшим из них является отдельный узел или единица оборудования, а высшим – вся зона обслуживания компании или энергосистема. На низшем иерархическом уровне методы оценки риска можно признать достаточно проработанными. К ним относятся экспертные оценки, определение вероятности сбоя на основе статистических данных по аналогичным активам (возможно с использованием дополнительных функций, таких как функция интенсивности отказов) и использование дерева отказов. Данные подходы позволяют определить физический риск по отдельному активу с достаточной степенью точности, а следовательно, – и прогнозировать финансовый ущерб в случае его проявления.

Однако оценка системного риска не сводится к расчетным операциям на низшем иерархическом уровне, и это легко подтвердить. По всем прогнозам, сделанным на основе методологии деревьев отказов и схожих с ней, вероятность масштабных аварий, полученная путем

перемножения соответствующих вероятностей сбоя элементов, была пренебрежимо мала для энергосистем США и России. Подобные аварии никак не должны были происходить настолько часто, как это случилось в реальности. Ошибки при прогнозах были неизбежны и обуславливались следующими факторами:

- никак не учитывались многие составляющие риска даже на низшем иерархическом уровне, такие как возможность ошибки персонала компании или сбоя все более усложняющихся информационных подсистем, которые, вроде бы, не относятся к основному оборудованию, но от которых сейчас зависит эффективность деятельности любой компании;

- не была принята во внимание возможность самоорганизации сложной системы (синергический эффект) и возникновения в ней устойчивых структур, которая не позволяет рассматривать события на низшем уровне изолированно [1] и в разы повышает вероятность возникновения крупных аварий;

- использовалось в общем случае нормальное распределение вероятности, тогда как для катастрофических событий, в том числе и техногенных, более свойственны степенные законы [2].

Одним из вариантов решения проблемы оценки риска масштабных аварий в целом по энергосистеме может являться использование так называемых Марковских случайных процессов, в рамках которых объект рассматривается как совокупность возможных состояний и вероятностей перехода между этими состояниями (транзитивных вероятностей). При этом будущее поведение объекта зависит только от его текущего состояния и не зависит от прошлых событий, то есть рассматриваемая система «не имеет памяти».

Марковские процессы используются в практике экономической науки довольно давно, существуют и модели, разработанные для электроэнергетики. Американские ученые [3] рассматривают энергосистему в виде набора нескольких возможных состояний, классифицируемых в зависимости от уровня надежности в диапазоне от полностью безопасного до критического, в котором происходит крупная авария. Мерой системного риска (системной надежности) является здесь матрица транзитивных вероятностей и легко выводимая из нее частота возникновения масштабных аварий. Такая модель, по их утверждениям, позволяет получить достоверные предсказания частоты возникновения масштабных сбоев и при этом отличается простотой в применении, так как анализ по отдельным физическим активам компании не проводится, а рассматривается вся их совокупность.

Авторы данной модели, однако, признают очевидные сложности с расчетом транзи-

тивных вероятностей и не указывают конкретных способов его осуществления. Так как речь идет о всей совокупности активов без анализа отдельных единиц, то наиболее пригодным способом является экспертная оценка, в той или иной форме учитывающая целый комплекс факторов, от среднего возраста активов компании до квалификации персонала. Однако механизм такой оценки пока не проработан и в любом случае результат будет являться в значительной мере субъективным.

Более пригодной для целей анализа рисков, на наш взгляд, может являться иерархическая Марковская модель, в основе которой лежат статистические данные по физическим активам, находящимся на балансе компании. Состояние каждого из активов можно условно представить в виде Марковского процесса с двумя состояниями – работа и сбой. Транзитивные вероятности в этом случае могут быть получены с использованием реальных статистических данных, а не только экспертных оценок. Такие показатели, как возраст физического актива, внешние условия его работы, стоимость и продолжительность ремонта, модернизации или замены, потенциальный финансовый ущерб, и влияние на показатели надежности в случае сбоя – все эти данные имеются в распоряжении сетевых компаний, осуществляющих работу со своими активами с использованием современных методов. Именно они и могут послужить основой для Марковского моделирования отдельных единиц оборудования. Следующим шагом станет объединение изолированных моделей в одну, соответствующую уже определенной совокупности физических активов, и расчет ее параметров, который позволит получить сведения помимо всего прочего и об уровне риска масштабных аварий, с которыми связана значительная часть убытков, которые несут электросетевые предприятия. Ниже приводится пример применения данного метода с условными параметрами двух физических активов.

Рассмотрим в качестве примера участок энергосистемы, условно состоящий из двух физических активов (в данном случае ЛЭП) и рассчитаем вероятность крупномасштабной аварии, сначала рассматривая их изолированно, а затем – с помощью Марковской модели. Ниже приведены параметры, присвоенные этим ЛЭП (табл. 1, 2).

Таблица 1. Параметры ЛЭП № 1 при Марковском моделировании с дискретным временем

ЛЭП № 1	Работа	Сбой
Работа	0,995	0,005
Сбой	0,6	0,4

Таблица 2. Параметры ЛЭП № 2 при Марковском моделировании с дискретным временем

ЛЭП № 2	Работа	Сбой
Работа	0,99	0,01
Сбой	0,6	0,4

Вероятности являются условными примерами, однако в реальных случаях аналитики сетевой компании могут получить их значения на основе, например, функции интенсивности отказов и статистики продолжительности ремонтов. Более того, компьютерное моделирование позволит рассмотреть не два физических актива, как в настоящем примере, а всю их совокупность.

Если определять системную энергетическую аварию как одновременный сбой ЛЭП № 1 и № 2, то вероятность ее возникновения можно рассчитать традиционными методами, имея в наличии лишь значения интенсивности отказов:

$$P_{\text{аварии}} = p_{\text{сбоя1}} * p_{\text{сбоя2}} = 0,005 * 0,01 = 0,00005.$$

Из этого следует, что в данном примере при выбранных параметрах физических активов масштабная авария произойдет в среднем один раз в 54 года, если за единицу измерения времени выбрать одни сутки. Очевидно, такая ситуация является более чем оптимистичной для любой сетевой компании. Однако две ЛЭП можно рассмотреть и совместно, что позволит учесть следующие обстоятельства:

- ремонт, модернизация или замена активов сопровождаются повышением нагрузки на другие активы, выполняющие их функции во время данных мероприятий, и требуют концентрации всех видов ресурсов, которые становится сложнее использовать для решения других задач;

- в сложных, в том числе, и технологических системах имеет место синергический эффект – одна авария делает несколько более вероятной последующие, а результатом может быть «цепная реакция»;

- мероприятия по ремонту и техническому обслуживанию требуют времени, в течение которого резерв может отсутствовать и масштабные аварии становятся более вероятными (в Марковской модели этот факт учитывается, так как задана *интенсивность перехода* ЛЭП из состояния сбоя в рабочее, а не строго определенные сроки);

- одно и то же событие может послужить причиной сбоя разных активов, что в традиционной модели не учитывается, поскольку принято допущение, что аварии происходят независимо.

Для проведения дальнейших расчетов объединим обе ЛЭП в одну энергосистему и рассчитаем вероятности перехода энергетиче-

ской системы из одного состояния в другое (табл. 3) на основе данных по отдельным активам. Возможные состояния системы будут следующие:

- обе ЛЭП работают, опасность масштабной аварии минимальна;
- одна ЛЭП работает, вторая не функционирует, степень угрозы повышается (два состояния, в зависимости от номера вышедшей из строя ЛЭП);
- обе ЛЭП не работают (масштабная авария).

Таблица 3. Вероятности перехода в Марковской модели для системы из двух ЛЭП

Переходы	Вероятности	Скорректированные вероятности
A1B1-A1B0	0,00995	0,00995
A1B1-A0B1	0,00495	0,00495
A1B1-A0B0	0,00005	0,0002
A0B1-A0B0	0,004	0,008
A0B1-A1B0	0,006	0,006
A0B1-A1B1	0,594	0,594
A1B0-A0B0	0,002	0,004
A1B0-A0B1	0,003	0,003
A1B0-A1B1	0,597	0,597
A0B0-A0B1	0,24	0,24
A0B0-A1B0	0,24	0,24
A0B0-A1B1	0,36	0,36
Стационарные состояния		
A0B0	0,16	0,16
A0B1	0,396	0,392
A1B0	0,398	0,396
A1B1	0,98505	0,9849

Условные обозначения (табл. 3) соответствуют различным состояниям системы. A1B1 – оба актива работают, A0B1 и A1B0 – наличие сбоя одной ЛЭП (первой и второй соответственно), A0B0 – масштабная авария. Некоторые вероятности перехода скорректированы с помощью поправочных коэффициентов. Так, транзитивные вероятности из состояний угрозы (A1B0 и A0B1) в состояние масштабной аварии умножены на 2 для отражения синергического эффекта, а вероятность прямого перехода от A1B1 к A0B0 – на 4, для учета потенциальной возможности единой причины для аварии обоих активов, делающей эту аварию более вероятной, чем в случае их полной изоляции. Значения коэффициентов взяты условно и не обязаны быть именно такими – в каждом конкретном случае целесообразность их применения и величина могут определяться экспертами. Соответственно изменятся и значения стационарных вероятностей.

Решить проблему определения вероятностей нахождения системы в различных состояниях и затем – среднего ожидаемого времени до масштабной аварии (в терминах математики – время первого достижения) можно либо решив соответствующее векторно-матричное уравнение вида

$$\alpha_{<n>} \times \Pi_{<n>} = \alpha_{<n>}, \quad (1)$$

где $\alpha_{<n>}$ – искомые вероятности состояний системы; $\Pi_{<n>}$ – массив вероятностей перехода, либо прибегнув к математическому моделированию с использованием соответствующего компьютерного и программного обеспечения.

Были испробованы оба этих метода, и они дали примерно одинаковый результат – если учесть, что первоначально система находилась в состоянии А1В1, то среднее время до масштабной аварии составляло 4465 дней или 12,33 лет, что намного меньше рассчитанного традиционным способом интервала в 54 года и, очевидно, вернее отражает реальную ситуацию, так как крупные сбои в энергетике происходят намного чаще, чем по устоявшейся теории. При этом было проведено более 300 экспериментов в ПО Microsoft Excel с использованием VBA 6.0.

Впрочем, если и не корректировать вероятности перехода, то условная Марковская модель энергосистемы показывает среднее время до масштабной аварии на уровне 9308 дней, что также практически в 2 раза меньше, чем при традиционном анализе. Этот факт подтверждает, что модель учитывает большее количество факторов, чем использовавшийся ранее подход.

Заключение

Проблема оценки рисков в электроэнергетике, и конкретнее – в секторе передачи и распределения электроэнергии, в настоящее время является достаточно актуальной и ее важность со временем только нарастает. Приоритет в отрасли отдается группе физических

рисков, связанных с возможностью выхода активов из строя, в свою очередь важным моментом при проведении анализа рисков является расчет частоты крупномасштабных аварий, последствиями которых является значительный ущерб, как финансовый, так и в плане надежности

Традиционные методологии, такие как дерево отказов, дают нереалистичные оценки частоты возникновения подобных событий, так как в них не учитываются многие составляющие риска на низшем иерархическом уровне, синергический эффект при распространении аварий и некоторые другие важные факторы.

Более достоверно оценить вероятность возникновения крупных аварий можно с помощью Марковских процессов. Разработанные ранее модели предусматривали анализ риска на уровне энергосистемы в целом без рассмотрения отдельных физических активов, и поэтому расчет конкретных числовых показателей был затруднителен. Получить их можно с помощью моделирования по иерархическому принципу, когда сначала составляется Марковская модель отдельных активов, а затем на их основе проводится анализ рисков по их группе или энергосистеме. Приведенный пример расчета показал, что такая модель может дать более реалистичные оценки по сравнению с традиционными методами.

Список литературы

1. Carreras B. A. Newman and others – «Evidence for self-organized criticality in a time series power system blackouts»// www.ornl.gov/sci/fed/Theory/publication/pub2004/carreras_CAS04.pdf.
2. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика / В.А. Владимиров, Ю.Л. Воробьев, Г.Г. Малинецкий и др. – М.: Наука, 2000.
3. Masiello R., Spare J. and others. «R@R – A New Paradigm For Assessing Reliability» // KEMA Special Issue – Enterprise-Wide Risk Management Magazine, March 2005.

Филатов Алексей Александрович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры экономики и организации предприятия,
телефон (4932) 26-97-63,
e-mail: aleksey_filatoff@mail.ru