**УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ И ФАКТОРЫ УЯЗВИМОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Н.П. Комендантова

*Международный институт анализа прикладных систем*

*Швейцарская высшая техническая школа Цюриха*

komendan@iiasa.ac.at

***Аннотация.*** Данная статья рассматривает подходы к управлению рисками сложных систем критической инфраструктуры таких как система энергетики и факторы влияющие на уязвимость критической энергетической инфраструктуры в странах Европейского Союза.

***Ключевые слова:*** *факторы уязвимости, управление рисками, оценка рисков, каскадные эффекты, местный, национальный и межрегиональный уровни управления, линии передачи и распределения электроэнергии, тотальное отключение электричества*

**ВВЕДЕНИЕ**

Термин «критическая инфраструктура» часто используется для определения жизненно необходимой для функционирования общества инфраструктуры. К такой инфраструктуре относится энергетика, включая выработку, транспортировку и переработку энергии. Также термин «критическая инфраструктура» используется для масштабных технических систем таких как системы коммуникаций, транспорта или водоснабжения [1].

Действительно, область энергетики является жизненно необходимой для функционирования общества и любые сбои в передаче энергии могут негативно повлиять на все сферы функционирования общества и человеческой деятельности, особенно в настоящее время, когда различные системы становятся все более взаимозависимыми и все большее количество услуг, таких как отопление, освещение, транспорт, производство, телекоммуникации и т.д., предоставляется на основе электричества.

События последних лет показали, что перебои с поставками электричества в одной стране могли повлечь за собой каскадные эффекты и тотальное отключение электричества, когда пострадали миллионы жителей в разных странах. Под тотальным отключением электричества понимается ситуация, когда более одного миллиона людей остались без электричества, или когда отключение электричества продолжалось более одного миллиона минут. К примеру, в августе 2003 года более 50 миллионов жителей США и Канады остались без электричества. В этом же году 4 миллиона жителей Швеции и Дании остались без электричества. А тотальное отключение электричества, которое началось в Швейцарии в 2003 году, также затронуло 55 миллионов жителей Италии [2].

Последствия тотального отключения электричества в странах с экономикой переходного периода были еще более значительными. В 2012 году в Индии 670 миллионов людей остались без электричества, в 2005 году 100 миллионов были затронуты в Индонезии, в 1999 году 97 миллионов в Бразилии и в 2009 году 87 миллионов в Бразилии и Парагвае [3].

Оценка и управление рисками такой сложной системы как система электроснабжения требует комплексной оценки и управления и должна включать всех участников процесса как на местном уровне управления, так и на национальном и межрегиональном. Защита линий электропередач включает такие задачи как обеспечение функционирования, продолжительности и взаимозависимости всех систем для определения, преодоления и нейтрализации рисков. Управление рисками должно включать все три подсистемы энергетической системы, такие как выработка, транспортировка и перераспределение энергии. Все эти подсистемы, включающие также высоковольтные и низковольтные линии электропередач, взаимозависимы и взаимосвязаны между собой.

Линии электропередач подвержены различным рискам, таким как природные катастрофы, террористические риски или кибер-атаки, а также системные риски связанные с введением в эксплуатацию новых объектов инфраструктуры или видов энергии, таких как возобновляемые источники энергии.

**ФАКТОРЫ УЯЗВИМОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ В ЕВРОПЕ**

Архитектура линий электропередач в странах Евросоюза была построена более 50 лет назад для удовлетворения нужд потребления энергии, когда центры выработки энергии и потребления находились в географической близости друг от друга. Сейчас центры потребления и выработки находятся в разных странах. К примеру, энергия ветра вырабатывается в Германии, а потребляется в Австрии. Энергия солнца вырабатывается в Испании а потребляется в Германии. Атомная энергия вырабатывается в Бельгии, а потребляется также и за пределами страны. Такая архитектура электросетей требует строительства новых сетей протяженностью на многие километры [4].

Также существенно влияет на состояние линий электропередач процесс старения инфраструктуры в Европе. Существующие в настоящее время линии электропередач были построены более 30-40 лет назад. Существенная часть этих линий устарела и не соответствует современных техническим стандартам. Финансовый и экономический кризис последнего десятилетия в Европе привел к отсутствию финансирования и ремонта распределительных линий электропередач. Часто именно в этом участке системы энергоснабжения возникают перебои с подачей электроэнергии, которые потом распространяются на всю систему электропередач [5].

Процесс объединения рынка электроэнергии в Европе привел к объединению систем с различными стандартами, а также ко-существованию высоковольтных и низковольтных линий электропередач, «умных сетей» и подземных кабелей. Особенно затруднительна ситуация в приграничных районах из-за отсутствия регулирования в области дальнейшего развития линий электропередач между странами Евросоюза. В настоящее время вопросы обеспечения поставок энергии входят в национальное законодательства стран – членов Евросоюза, оставляя открытым вопрос ответственности и финансирования линий электропередач соединяющих системы разных стран. Такой подход также оставляет открытым вопрос о координации действий по защите критической инфраструктуры, выходящей за пределы Евросоюза [6].

Стратегия Евросоюза по развитию энергетики на 2020 год определяет дальнейшее строительство линий электропередач и увеличение их пропускной способности как стратегически необходимое. Также стратегия устанавливает цели по развитию альтернативных источников энергии, таких как энергия солнца или ветра. Энергетическая стратегия на 2050 год предусматривает увеличение доли возобновляемых источников до 80% от всей вырабатываемой электроэнергии [7]. Такие цели требуют существенных изменений в структуре линий электропередач, дальнейшего строительства линий и увеличения их пропускной способности, а также введения «умных электросетей» для управления поставками электроэнергии из различных источников.

Страны Евросоюза подвержены многочисленным угрозам природных катастроф, таким как землетрясения, наводнения, засухи, пожары и экстремальная жара [8]. Все эти угрозы оказывают негативное влияние на линии электропередач. Доминирующими являются гидра-метеорологические угрозы, среди которых шторма (35%) и наводнения являются (31%) являются наиболее частыми [9]. Наступление данных угроз приводит к физическому разрушению линий электропередач, а также снижению их пропускной способности. Различные страны Евросоюза уязвимы в различной степени, когда одни страны более подвержены рискам наводнений или цунами, в то время как другие страдают от частых штормов и экстремальной жары [10]. К примеру, Южная Европа более подвержена сейсмическим рискам, где такие страны как Греция, Румыния и Балканы находятся в зоне самой высокой сейсмической активности. Страны Средиземноморья более подвержены рискам цунами. Страны Южной Европы также более подвержены пожарам, самая высокая вероятность которых в таких странах как Португалия, Испания, Италия и Греция. Существует также высокая вероятность увеличения частоты и интенсивности данных угроз [11].

Увеличение доли возобновляемых источников энергии влечет за собой увеличение уязвимости линий электропередач к каскадным явлениям. На настоящий момент вопрос о том, способна ли европейская система линий электропередач балансировать поставки электроэнергии из различных возобновляемых источников энергии, является основным вопросом энергетического перехода.

Возобновляемый источники создают новые задачи такие как необходимость баланса между потреблением и выработкой электроэнергии. Они усиливают комплексность европейской системы электропередач, так как ветряные мельницы или системы фотовольтаики могут вырабатывать электричество только когда дует ветер или светит солнце. У операторов электросетей нет контроля над такими природными факторами, поэтому им необходимо вырабатывать альтернативные решения, в случае чрезмерных или недостаточных поставок электроэнергии. Такие задачи являются решаемыми до тех пор пока доля энергии из возобновляемых источников невелика. Однако увеличение доли возобновляемых источников до 80% требует новых решений. Также внедрение «умных сетей» приводит к необходимости баланса потребления и поставок электричества, когда потребители также становятся производителями и у частных домохозяйств появляется возможность производить электроэнергию из альтернативных источников, таких как панели фотовольтаики расположенные на крыше домов [12].

Примеры тотального отключения в Италии, Германии или в Турции показывают взаимозависимость факторов уязвимости, связанных также с протекающими в данных странах процессами энергетического перехода, основанного на внедрении возобновляемых источников энергии, а также сочетанием факторов уязвимости и каскадные эффекты.

Тотальное аварийное отключение электричества в Италии и Швейцарии в 2003 году привело к тому, что пострадали 56 миллионов человек (55 миллионов в Италии и один миллион в Швейцарии). Причиной тотального отключения стала перенагрузка 380kV линии Mettlen – Lavorgo, которая привела к повышению температуры и возгоранию деревьев находящихся недалеко от линии электропередач, в результате чего произошел сбой в подаче электроэнергии. Сбой линии Mettlen – Lavorgo повлек за собой повышение нагрузки на 380 kV Sils-Sosa линию. Эффект домино и вывод всей системы электропередач в Италии из синхронизации с Союзом по сотрудничеству и передаче электроэнергии повлек за собой тотальное отключение электричества в Италии, которое продолжалось разное количество часов в разных регионах Италии. К примеру, население Сицилии оставалось в течение 16 часов без электроэнергии [13].

В 2006 году произошло тотальное аварийное отключение электричества в Германии также из-за сочетания различных факторов уязвимости. Электро-компания E.ON отключила высоковольтную линию передач для прохода корабля. Одновременно ветряные мельницы в Северном море выработали более 10,000 MW электроэнергии. Недостаточное сообщение между энергетическими компаниями и неточные расчеты выработки энергии ветра привели к перенагрузке линий электропередач. Отключение всей западной системы электропередач привело к тотальному аварийному отключению электроэнергии более чем на два часа [14].

В 2015 году произошло массовой аварийное отключение электричества в Турции тоже по причине совпадения различных рисков, таких как ремонт одной из линий электропередач, соединяющей восток и запад страны, и одновременно избыток электроэнергии, выработанной гидра-электростанциями в Восточном Черном море, Южной и Восточной Анатолии, которые работали на полную мощность. В результате произошла избыточная нагрузка на 400kV линию электропередач, соединяющую восток и запад страны, что привело к тотальному отключению электроэнергии во всех провинциях Турции, когда миллионы людей остались без электроэнергии [15].

**УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ НА ОСНОВАНИИ УЧЕТА ФАКТОРОВ УЯЗВИМОСТИ**

Основные элементы оценки рисков включают риск, угрозы и уязвимость, когда риск является взаимозависимостью вероятности и негативных последствий. Угрозой является вероятность, что определенный риск наступит в определенный период времени, а уязвимостью является сочетание физических, социальных, экономических и культурных факторов, которые усиливают последствия угроз для общества. Таким образом, риск является функцией угрозы и уязвимости и обычно определяется как вероятность потери жизни или разрушения инфраструктуры.

Вопросы управление рисками и защиты линий электропередач находятся в ответственности властей на национальном уровне. Согласно решениям Совета Европы, защита критической инфраструктуры является задачей властей каждой отдельной страны, а также операторов инфраструктуры, находящейся на территории данной страны. Однако в случае отключения линий электропередач каскадные эффекты могут также повлиять и на электро-системы в других странах. Управление такими международными рисками требует специального механизма на межрегиональном уровне [16].

В 2009 году Еврокомиссия разработала специальную рамочную стратегию для предотвращения и минимизации последствий природных катастроф, включая такие задачи защиты критической инфраструктуры как предотвращение, подготовка, защита и восстановление линий электропередач. Еврокомиссия также осознает необходимость защиты линий электропередач от мульти-рисков. В частности, Совет Евросоюза подчеркивает необходимость подходами по управлению рисками, основанного также на минимизации каскадных эффектов. Мульти-рисками называются риски, возникновение которых влечет за собой другие риски, так называемые каскадные явления, или увеличивает уязвимость территории к последствиям других рисков [11].

В настоящее время электросеть в странах Европейского союза состоит из 41 оператора на территории 34 стран. Операторы отвечают только за свой участок сетей, однако в процессе интеграции риски, возникающие в одном участке на территории одной страны также затрагивают и другие участки на территории других стран. Отсутствие региональной интеграции в действиях операторов, а также требования увеличение объемов передачи электроэнергии и протяженности линий электропередач требует строительства новой инфраструктуры протяженностью на многие тысячи километров. Такая инфраструктура необходима для сглаживания пиков в спросе и предложении электроэнергии. Другими факторами уязвимости сети являются факторы энергетического перехода, связанные с введением и возрастанием доли возобновляемых источников энергии, а также процессом когда все возрастающее число потребителей энергии становится также производителями энергии.

Комплексное управление рисками необходимо для предотвращения каскадных эффектов, а также отсутствия синхронизации в результате системных рисков. Оно также необходимо для внедрения принципа заменимости (N-1), когда в случаях наступления критической ситуации существует возможность введения резервного оборудования.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Risk assessment and mapping guidelines for disaster management. European Commission staff working paper, European Union, Brussels, 2011.
2. Komendantova, N., Schweitzer, D., Kroos, D., Leroy, C., Andreini, E., Baltazar, B., Boston, T., Botbaev, K., Cohen, J., Eismann, C., Hamm, T., Garcia-Aristizabal, Keršnik, M., König, M., Lehmann, M., Lemmens, H., Moeltner, K., Mumovic, M., Reichl. J., Sansavini, G., Schmidthaler, M., Steven, A., Tomik, L., Zobel, C., Wenzel, F., (2016). Protecting Electricity Networks from Natural Hazards. Organization for Security and Cooperation in Europe (OSCE). 2016
3. US-Canada Power System Outage Task Force: Final Report on the Implementation of the Task Force Recommendations. Natural Resources Canada and U.S. Department of Energy. September 2006.
4. Study on the comparative merits of overhead electricity transmission lines versus underground cables. Ecofys Study for the Department of Communications, Energy and Natural Resources, Ireland, May 2008.
5. Ten-year network development plan 2010-2020. European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E), Brussels, 2010.
6. Large Scale integration of wind energy in the European power supply: analysis, issues and recommendations. European Wind Energy Association (EWEA) Brussels, 2010.
7. European Commission, (2010). Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. COM(2010) 2020 final.
8. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32. IPCC, 2014.
9. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nation Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, 2013.
10. Risk assessment and mapping guidelines for disaster management. European Commission staff working paper, European Union, Brussels, 2011.
11. A Community approach on the prevention of natural and man-made disasters. 2010. Risk Assessment and Mapping Guideline for Disaster Management. European Commission Staff Working Paper 1626, Brussels, 2010.
12. A. Battaglini, J. Lilliestam, A. Haas, A. Patt, A., (2010), Development of SuperSmart Grids for a more efficient utilization of electricity from renewable sources. Journal of Cleaner Production, Vol. 17, N0. 10; pp. 911-918.
13. Swiss Federal Office of Energy (2003). Report on the blackout in Italy on 28 September 2003. Bern, Switzerland
14. European Regulators Group for Electricity and Gas (2007). The lessons to be learned from the large disturbance in the European power system on the 4th of November 2006. Brussels, 2007
15. ENTSO-E (2015). Report on Blackout inTurkey on 31st March 2015. Brussels, 2015
16. Hyogo Framework for Action 2005-1015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2005.