

# МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ДЛЯ АНАЛИЗА АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Н.Н. Макаров

На совместном заседании Совета Безопасности Российской Федерации и президиума Государственного Совета Российской Федерации по вопросу «О мерах по обеспечению защищенности критически важных для национальной безопасности объектов инфраструктуры и населения страны от угроз техногенного, природного характера и террористических проявлений» 13 ноября 2003 года было отмечено, что в современных условиях негативные факторы техногенного, природного и террористического характера представляют одну из наиболее реальных угроз для обеспечения стабильного социально-экономического развития страны, повышения качества жизни населения, укрепления национальной безопасности и международного престижа Российской Федерации. Негативное воздействие этих факторов становится все более масштабным.

Эта тенденция не является специфичной только для России, она характерна практически для всего мира. Вследствие только негативных природных процессов во второй половине двадцатого столетия экономические ущербы в мире увеличились в 9 раз и в настоящее время достигают 150 млрд. долл. в год. В США по этой причине теряется ежегодно 50 млрд. долл., Китае – 19 млрд. долл. В Японии объем средств, направляемых на разработку и реализацию мероприятий по защите от природных катастроф, составляет около 5% национального бюджета, что соответствует сумме 14-15 млрд. долл. В последние годы только прямой заявленный годовой ущерб от всей совокупности чрезвычайных ситуаций (ЧС) в России в среднем составляет более 100 млрд. рублей или около 0,5% валового внутреннего продукта (ВВП) страны, а с учетом косвенных ущербов он может достигать величины 3%.

В целом в 2002 году в России было зарегистрировано свыше 700 тысяч аварий, природных явлений и инцидентов, в которых погибло свыше 50 тысяч человек. Исследования структуры чрезвычайных ситуаций показывают, что наибольшую долю (более 70%) имеют ЧС техногенного характера. Вследствие общего физического старения производственных объектов и инфраструктуры эта доля может возрастать. Среди ЧС техногенного

характера наибольшую долю составляют аварии на объектах ЖКХ. Аварии на объектах ЖКХ превращаются в одну из масштабных угроз безопасности России.

В этой связи заслуживает внимания состояние аварийности в коммунальных распределительных электрических сетях. В Энергетической стратегии России на период до 2020 года, утвержденной Правительством России в 2003 году, надежность электроснабжения экономики и населения страны поставлена на первое место в числе стратегических целей отечественной электроэнергетики.

Особую актуальность приобретает аварийность в городах, так как она превышает таковую в других сферах электроэнергетики. Связано это с большим числом факторов, в том числе со степенью концентрации населения на ограниченной территории. В настоящее время около 75 % населения страны сконцентрировано в городах. Через системы электроснабжения таких населенных пунктов передается около 40 % вырабатываемой в стране электроэнергии. Эти системы электроснабжения стали самостоятельной отраслью электроэнергетики и вопросы их эффективного функционирования имеют важное народнохозяйственное значение.

Сосредоточение большого количества людей в городах, увеличивает зависимость качества их жизни от надежности систем электроснабжения. Зависимость становится такой жесткой, что аварии в системах электроснабжения могут парализовать нормальную жизнедеятельность города, стать причиной гибели людей. Это показали крупнейшие аварии в 2003 году в энергосистемах Северной Америки и Западной Европы с человеческими жертвами и миллиардными убытками. Это также наглядно показала крупнейшая авария в системе электроснабжения Москвы и Подмосковья в мае 2005 года, когда остановились десятки предприятий, тысячи людей оказались в стрессовом состоянии из-за прекращения движения транспорта, остановки лифтов, срывов медицинских мероприятий и т.д. Материальный ущерб составил около двух миллиардов рублей.

Серьезные сбои в работе систем электроснабжения с расстройством систем жиз-

*ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2006*

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ДЛЯ АНАЛИЗА АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

необеспечения произошли летом 2005 года в городах Сочи, Хабаровске, Челябинской области.

Сложившаяся кризисная обстановка в вопросах аварийности объясняется не только низкой культурой безопасности и технологической недисциплинированностью людей, но и конструктивным несовершенством и большим износом используемого оборудования. Определенный отрицательный «вклад» в эту проблему внесло неудовлетворительное научное обеспечение ее решения.

Несмотря на привлекаемые к теоретическому изучению проблем безаварийности крупные средства, до сих пор не завершена разработка общей теории безаварийности.

Интуитивно ясно, что особую актуальность имеет проблема предупреждения происшествий. А это предполагает проведение целенаправленной работы по изучению обстоятельств их возникновения, включая моделирование объекта анализа.

Ниже на рис. 1 приводится модель системы электроснабжения города, которая включает в себя электрическую сеть (машину – М), эксплуатирующий ее персонал (человека – Ч), рабочую среду (среду – С), взаимодействующих между собой по заданной технологии (технологии – Т). Технология Т – это совокупность приемов и методов, используемых для поддержания свойств и состояния электрической сети в заданных пределах, включающая в себя также организационно-технические мероприятия по обеспечению безаварийной работы. Кроме перечисленных основных компонентов системы, ее модель включает также связи между ними и с окружающей средой. Эти связи изображены на рисунке в виде стрелок, а границы, отделяющие рассматриваемую человеко-машинную систему от внешней среды, очерчены пунктиром.

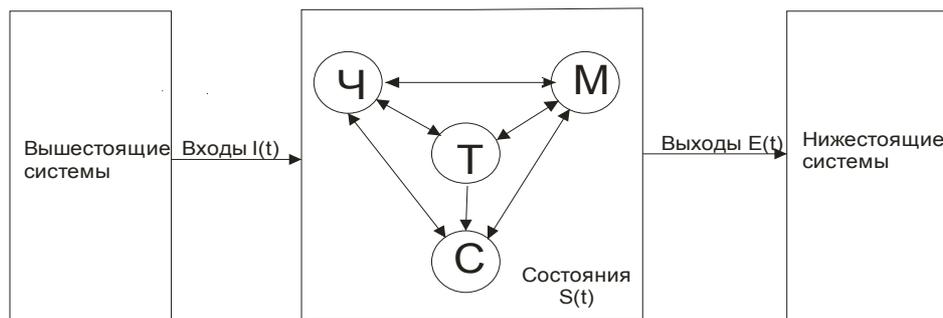


Рис. 1. Модель системы электроснабжения города

В модели объекта также использованы следующие векторные обозначения:  $I(t)$  – входные воздействия на систему со стороны вышестоящих систем (заданные функции, выделенные ресурсы, требуемые условия работ и т.п.),  $E(t)$  – выходные воздействия на нижестоящие системы и внешнюю среду (полезные и вредные результаты функционирования),  $S(t)$  – состояния системы (условно нормальное, аварийное, критическое, послеаварийное).

Названные состояния и векторные характеристики определяются структурой системы, включающей вышеперечисленные элементы с их взаимосвязями, которые рассматриваются переменными во времени и в совокупности задают соответствующее векторное пространство.

При обосновании основных категорий рассматриваемой аварийности будем исходить из интерпретации опасности как воз-

можности причинения ущерба человеко-машинной системе или внешней по отношению к ней среде. Учитывая, что понятие опасности является одним из фундаментальных и наиболее сложных, так как содержит в себе другие нечетко определенные термины, приведем рабочие определения этой категории и некоторых других, связанных с ней понятий:

1) *Опасность (техногенно-производственная)* – наблюдаемое в процессе функционирования человеко-машинных систем их свойство представлять реально предсказуемую возможность причинения ущерба.

2) *Риск* – мера опасности, характеризующая как возможность возникновения ущерба, так и его вероятные размеры.

3) *Происшествие* – событие, состоящее в реализации опасности с воздействием на компоненты системы «человек – электриче-

ская сеть – среда» и повлекшее за собой какой-либо ущерб.

4) *Катастрофа* – происшествие с гибелью людей и иным крупным ущербом.

5) *Авария* – происшествие с материальным ущербом. В практике эксплуатации объектов электроснабжения принято технологические нарушения разделять на отказы и аварии, последние в тяжелых случаях могут перерасти в катастрофу. Основой для такой классификации нарушений, как правило, является величина (тяжесть) последствий (рис. 2). Это можно записать в виде критериев:

если  $Y(A) \leq Y_i < Y(B)$ , то событие есть отказ;

если  $Y(B) \leq Y_i < Y(C)$ , то событие есть авария;

если  $Y(C) \leq Y_i$ , то событие есть катастрофа,

где  $Y(A) < Y(B) < Y(C)$ .

Значение  $Y$ , возникшее в результате технологического нарушения на объекте, является случайной величиной, которая зависит от характера самого объекта и многих случайных событий, сопутствующих возникновению и протеканию процесса технологического нарушения.

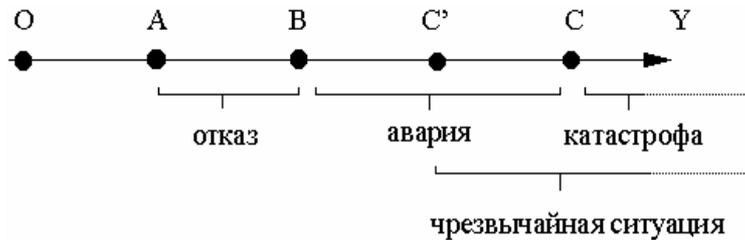


Рис. 2. Классификация технологических нарушений в системах электроснабжения:  $Y$  – последствия технологических нарушений

6) *Безаварийность* – свойство человеко-машинных систем сохранять при функционировании в заданных условиях такое состояние, при котором достаточно с высокой вероятностью исключаются происшествия, обусловленные воздействием техногенно-производственной опасности на компоненты этих систем и внешней для них среды, а ущерб от неизбежных энергетических и вредных материальных выбросов не превышает допустимого уровня.

Попутно отметим, что состояние реальных систем и процессов определяется обычно совокупностью их свойств в конкретном проявлении на данный момент. Следовательно, и опасность, и безаварийность могут также интерпретироваться как состояния соответствующих человеко-машинных систем, определяемые множеством их функциональных свойств и характером взаимосвязей между ними.

Специфичность рассматриваемого здесь объекта моделирования определяется объективной сложностью системы «человек – электрическая сеть – среда», обусловленной наличием в ее составе нескольких, самих по себе сложных и взаимосвязанных компонентов, целенаправленностью или стохастичностью поведения отдельных из них. Последняя особенность связана с тем, что такие компо-

ненты, как человек и электрическая сеть, могут вести себя самым неожиданным образом вследствие случайных воздействий внешней среды, чрезвычайной нестабильности собственных параметров. Неопределенность усугубляется и тем, что выходные характеристики одних компонентов данной системы являются для других входными воздействиями.

Рассматривая факторы аварийности можно выделить факторы объективные и субъективные. К объективным факторам относятся объективно действующие законы природы, в частности, объективно проявляющееся стремление энтропии систем к самопроизвольному росту. Этот всеобщий фундаментальный закон природы указывает не только на направление наиболее вероятного течения всех процессов, а также на конечный пункт соответствующих преобразований, как бы предопределяя исход событий. Согласно второму закону термодинамики, например, выработка и аккумуляция энергии, очистка и обогащение природных материалов, получение синтетических веществ и химически чистых элементов являются «противозаконными», так как влекут за собой снижение энтропии. Вот почему большое число технологических процессов являются потенциально опасными, поскольку содержат в себе не

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ДЛЯ АНАЛИЗА АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

естественные с точки зрения энтропии преобразования.

Совокупность субъективных факторов, влияющих на уровень аварийности электрической сети, выглядит следующим образом.

1. Параметры климата (температура, влажность, давление).
2. Земляные работы, подвижки грунта.
3. Химическая агрессивность грунта.
4. Ошибки в проектировании.
5. Заводские дефекты.
6. Стихийные явления.
7. Перенапряжения.
8. Перегрузки.
9. Токи короткого замыкания.
10. Старение и износ.
11. Токи замыкания на землю.
12. Протяженность электрической сети.
13. Структура электрической сети.
14. Вид изоляции.
15. Качество монтажа.
16. Качество ремонта.
17. Ошибочные действия.
18. Неудовлетворительная организация.
19. Нарушения правил техники эксплуатации.
20. Недостаточное ресурсное обеспечение.
21. Недостаточное информационное обеспечение.
22. Подготовленность персонала.
23. Нарушения трудовой дисциплины.
24. Прочие.

Вышеприведенная модель позволяет увидеть основные источники предпосылок к авариям, которыми мы в состоянии управлять. Такими источниками являются составные части модели: машина (электрическая сеть), среда, человек, технология эксплуатации, а также связи между названными компонентами. Конкретным проявлением источников являются, соответственно, неисправности технологического оборудования, неблагоприятного воздействия на них внешних факторов, ошибочные и несанкционированные действия персонала, а также противодействия названным факторам со стороны разного рода защитных механизмов (технология эксплуатации). Вышеприведенная модель позволяет наметить основные направления противоаварийных мероприятий, заключающиеся в следующем.

1. Технические мероприятия:
  - 1.1. Техническое обслуживание.
  - 1.2. Ремонт.
  - 1.3. Реконструкция и модернизация.

- 1.4. Внедрение автоматики.
- 1.5. Резервирование.
- 1.6. Внедрение средств диагностики.
- 1.7. Ограничение дуговых перенапряжений (применение ОПН, включение сопротивления в нейтраль электрической сети и др.).
- 1.8. Прочие.
2. Организационные мероприятия:
  - 2.1. Обучение персонала.
  - 2.2. Информация в средствах массовой информации.
  - 2.3. Соблюдение режимов.
  - 2.4. Обходы, осмотры.
  - 2.5. Выбор оптимальной технологии технического обслуживания.
  - 2.6. Разработка инструкций.
  - 2.7. Прочие.
3. Административные мероприятия:
  - 3.1. Контроль за соблюдением Правил технической эксплуатации.
  - 3.2. Контроль за соблюдением инструкций.
  - 3.3. Контроль за соблюдением нормативных документов (нормы испытаний и др.).
  - 3.4. Прочие.
4. Экономические мероприятия:
  - 4.1. Страхование.
  - 4.2. Компенсация ущерба.
  - 4.3. Платежи за риск.
  - 4.4. Прочие.

### Выводы

Приведенная модель системы электроснабжения города показывает, что аварии в системах электроснабжения обусловлены большим числом факторов, основными из которых являются неисправности технологического оборудования, неблагоприятного воздействия на них внешних факторов, ошибочные и несанкционированные действия персонала, а также неэффективным противодействием названным факторам со стороны разного рода защитных механизмов. Использование приведенной модели позволяет наметить основные направления противоаварийных мероприятий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Германенко В.С. Обоснование стратегий повышения безопасности электроустановок агропромышленного комплекса: Дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Барнаул, 2004. – 175 с.