

ФОРМИРОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОЙ СПРАВКИ ОБ АВАРИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

АВТОРЫ:

Ю.Я. ЛЮБАРСКИЙ,
Д.Т.Н.,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Ю.И. МОРЖИН,
Д.Т.Н.,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Н.М. АЛЕКСАНДРОВ,
НПП «ДИНАМИКА»

П.С. РАДИН,
ЮЖНО-ЯКУТСКИЙ РЭС
ФИЛИАЛА ПАО «ФСК
ЕЭС» МЭС ВОСТОКА

Полная (без участия человека) автоматизация анализа сложных аварий в настоящее время, пока еще невозможна, но для облегчения и ускорения работы специалистов весьма желательна хотя бы частичная автоматизация этого процесса.

Ключевые слова: аварии в энергосистеме; анализ аварии; режимные параметры; коммутационные аппараты; причины аварии; диагностика событий.



Любая авария на линиях электропередачи приводит к значительным материальным и финансовым потерям

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Данная статья имеет постановочный характер. Расследование причин и хода аварии — важная задача эксплуатации энергосистем. Порядок решения этой задачи и форма отчетности регламентируются на правительственном уровне ([1], первая редакция постановления). Для расследования аварии создается специальная комиссия из высококвалифицированных специалистов, взаимодействующая с диспетчерским и эксплуатационным персоналом. Результатом работы комиссии должен быть акт расследования причин и хода аварии. Трудоемкость этой работы такова, что для ее выполнения регламентом отводится несколько дней.

Полная (без участия человека) автоматизация анализа сложных аварий в настоящее время, по-видимому, невозможна, но для облегчения работы специалистов

весьма желательна хотя бы частичная автоматизация этого процесса.

Акт расследования причин аварии в числе прочих данных обязательно должен содержать: описание состояний энергосистемы, режима работы до и во время аварии; описание причин аварии; описание выявленных нарушений требований нормативно-правовых документов.

Предлагается на основе штатно имеющихся в диспетчерских управлениях данных автоматически формировать оперативную справку об аварии (ОСА). Эта справка должна существенно облегчить специалистам выполнение полного анализа аварии и составление акта. Таким образом, ОСА должна быть предварительным документом, который может использоваться специалистами для дальнейшего анализа аварии. Для формирования ОСА предполагается использовать

интеллектуальные программные системы — экспертные системы, программы-рассуждения [2, 3].

Сформулируем требуемые функции ОСА:

- быстрое формирование (по запросу пользователей) текстового описания изменения состояний энергосистемы в виде множества событий и информации, сопутствующей этим событиям;
- предварительная диагностика событий, фиксация возможных неисправностей; при этом окончательная диагностика будет производиться при полном анализе аварии (с участием людей-специалистов), но информация в ОСА позволит ускорить этот анализ, благодаря отмеченным в справке «инвалидным» (недостовверным) событиям.

Примем, что формирование ОСА должно выполняться по запросу пользователя, который должен задать требуемый временной интервал описания (время начала, время окончания).

Требование быстродействия понуждает формировать ОСА в Оперативно-информационном комплексе (ОИК) АСДУ соответствующего диспетчерского управления. Структуру формирования ОСА иллюстрирует рис. 1.

В дальнейшем речь идет, в основном, о сложных системных авариях, например, каскадных.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОСА

Для формирования ОСА нужно использовать имеющуюся в ОИК

ФОРМИРОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОЙ СПРАВКИ ОБ АВАРИИ

ОИК АСДУ

ОСА

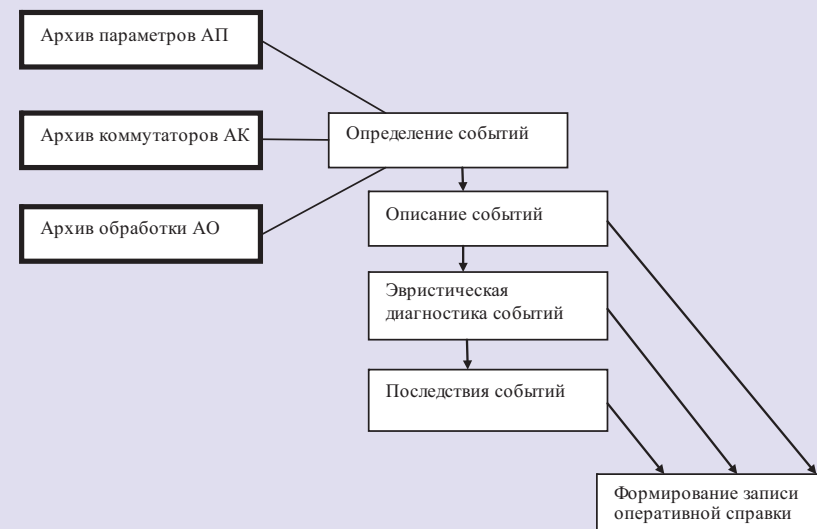


Рис. 1

**ИЗ ПОСТАНОВЛЕНИЯ
ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ
№ 846 ОТ 28 ОКТЯБРЯ
2009 Г. «ОБ УТВЕРЖДЕНИИ
ПРАВИЛ РАССЛЕДОВАНИЯ
ПРИЧИН АВАРИЙ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»**

21. Акт расследования причин аварии:

- а) описание состояния и режима работы объектов электроэнергетики и (или) энергопринимающих установок до возникновения аварии и во время аварии;
- б) описание причин возникновения аварии и ее развития;
- в) описание действий оперативного персонала и должностных лиц субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, послуживших предпосылками и (или) причинами возникновения аварии;
- г) описание выявленных в ходе расследования нарушений требований нормативных правовых актов в области электроэнергетики, в том числе установленных норм и правил эксплуатации объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок, а также технических регламентов;
- д) перечень и описание поврежденных оборудования объектов электроэнергетики и (или) энергопринимающих установок;
- е) описание выявленных в ходе расследования недостатков эксплуатации, проекта, конструкции, изготовления и монтажа оборудования, явившихся предпосылками аварии или затруднявших ее ликвидацию.

информацию об объекте управления (энергосистеме) и процессах в этом объекте на заданном пользователем интервале времени. Оперативная информация ОИК, которую нужно использовать для ОСА, содержится в архивах (архивы значений параметров АП, архивы положений коммутационных аппаратов АК). Примем, что информация о срабатываниях устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) также содержится в архивах ОИК [3] — в АК. В архивах ОИК содержатся также результаты первичной обработки АО (такие, как нарушение режимными параметрами заданных пределов). При этом предполагается, что значения этих пределов в ОИК корректируются на основе режимных указаний в зависимости от вывода оборудования по ремонтным заявкам [4].

Другая информация, необходимая в ОСА, должна формироваться обработкой исходной информации с помощью интеллектуальных программ.

СОБЫТИЯ

Обработка оперативной информации позволяет выявить множество событий. Следует различать независимые (по отношению к обработке в ОСА) события и события-функции. В качестве независимых событий условно можно принять:

- коммутационные события (изменения положений коммутационных аппаратов);
- события с РЗА и ПА;
- события нарушений аварийных пределов режимными параметрами.

События-функции должны определяться путем дополнительной логической обработки:

- события с некоммутируемым оборудованием (например, с линиями);

- события отделения участков сети от ЭЭС.

Некоторые (но не все) события назовем реперными — по ним формируются записи в ОСА. К реперным событиям целесообразно отнести события с РЗА и ПА (срабатывания).

Определения событий-функций производится интеллектуальными агентами (ИА) анализа топологии сети на основе формализма программ-рассуждений [3]. Основной интеллектуальной функцией здесь является модуль «ЦЕПЬ», который находит множество электрических узлов, связанных с множеством заданных узлов через включенные коммутационные аппараты (по графу семантической сети [2]). Этот модуль включен в соответствующие технологические программы-рассуждения. Например, для определения отделившихся участков сети в ИА «ОТДЕЛЕНИЕ» исследуются связи узлов-источников (узлы, «гарантированно» связанные с ЭЭС) с прочими узлами. Множество узлов (связанных с шинами рассматриваемого уровня напряжения), не имеющие связей с источниками, принадлежит отделившимся участкам. Далее, исследуя связи отделившихся узлов, ИА определяет количество отделившихся участков и состав оборудования в них. Очевидно, что по отделившимся узлам может быть найдено значение отключенных нагрузок.

ЗАПИСИ

Текст ОСА должен состоять из множества записей, каждая запись содержит:

- описание события ОС;
- эвристическую диагностику ЭД;
- последствия события ПС.

ОПИСАНИЕ СОБЫТИЯ

Будем различать простые и составные события. Простые события — это, например, срабатывание какого-то элемента защиты или автоматики. Составные события — это технологически обусловленные обобщения нескольких простых событий.

Приведем пример описания простых событий:

<время t1>
Работа защиты линии
ДЗЛ Волконка ВЛ 110 кВ Волконка — Головинка

<время t2>
Работа защиты линии
ДЗЛ Головинка ВЛ 110 кВ Волконка — Головинка.

А теперь приведем пример описания составного события:

<время t1>
Работа защит линии
ВЛ 110 кВ Волконка — Головинка.

Но возможны и более сложные (составные) события, например:

Работа защит линии
ВЛ 110 кВ Волконка — Головинка
Неуспешное АПВ.

Описания составных событий должны формироваться в ОСА из описаний простых событий на основе эвристической логики (см. далее).

ЭВРИСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

Диагностика события предполагает выявление причин этого события. В применении к событиям срабатывания РЗА для этого необходимо осуществить анализ условий срабатывания защит

или автоматики. Такой анализ требует знания процессов изменения параметров энергосистемы (регистрограммы, или «цифровые осциллограммы»). Так как в ОИК эта информация не содержится (архивы АП в ОИК содержат недостаточно подробную информацию о динамике изменения параметров), полная диагностика должна выполняться на этапе полного (с участием человека) анализа аварии. А в справке ОСА должна содержаться предварительная диагностика, основанная на (эвристических) закономерностях. В приведенном выше примере можно получить следующую информацию:

<время t1>
Работа защит линии
ВЛ 110 кВ Волконка — Головинка
Неуспешное АПВ
Предположительно КЗ на линии.

Если защиты работали только на одной стороне линии, то:

<время t1>
Работа защиты линии
ДЗЛ Волконка ВЛ 110 кВ Волконка — Головинка
Неуспешное АПВ
При наличии КЗ на линии — отказ защиты на стороне Головинка
При отсутствии КЗ на линии — излишнее срабатывание защиты.

Эвристическая оценка достоверности срабатывания системной противоаварийной автоматики [5] в общем случае затруднительна, так как требуется привлекать к анализу значения режимных параметров. Но для наиболее распространенной автоматики вида АПНУ-АРСП (предотвращения нарушения устойчивости) это возможно, если архивируются определяемые при онлайн-обработке события нарушения аварийных

пределов параметров (архивы АО) Тогда по положению выключателей можно определить, какая команда автоматики сработала, а по при- знаку нарушения пределов — ка-кая команда должна была сра- ботать. В случае несоответствия в ОСА должна формироваться соответствующая диагностическая запись. Для эвристической оценки достоверности предполагается использовать эвристическую логику.

Следует подчеркнуть, что формиру- емая в тексте ОСА эвристическая диагностика имеет предваритель- ный характер, ее задача — при- влечь внимание специалиста, выполняющего полный анализ аварии.

ПОСЛЕДСТВИЯ СОБЫТИЯ

Примем, что из множества по- следствий события в тексте ОСА должны отображаться:

- отключения некоммутируемого оборудования (например, линий, реакторов, трансформаторов), связанные с событием;
- отделение участков сети от ЭЭС, вызванные событием;
- отказы выключателей, связан- ные с событием.

Форма отображения последствий события должна быть максимально краткой. Например, для описания отделившихся участков достаточно перечислить отделившиеся энер- гообъекты.

ЭВРИСТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА

Эвристические логические опера- ции при реализации используют технологию экспертных систем и моделей-рассуждений [3]. Эври- стической эта логика названа здесь

потому, что правила экспертной системы могут следовать не строгой «технологической» логике, а основанным на опыте специалистов-эксплуатационников эвристическим правилам, «привязанным» к конкретным задачам. Например, строго говоря, отключенным надо считать силовой трансформатор, все выключатели которого отключены. Но при анализе высоковольтных сетей событие «отключение трансформатора» может фиксироваться при отключении этого оборудования только со стороны наивысшего напряжения.

Для строгого определения достоверности событий срабатывания РЗА необходимо обрабатывать осциллограммы изменения электрических параметров. Эта трудоемкая обработка требуется на заключительных этапах формирования акта расследования аварии. А на этапе составления ОСА целесообразно использовать упрощенный анализ достоверности, при котором выявляются наиболее часто встречающиеся ошибки.

Например, при срабатывании УРОВ с затягиванием отключения выключателя W «строгий» анализ потребует определения интервала времени отключения W и сравнения этого интервала с уставкой УРОВ по времени. При эвристическом подходе необходимо только определить, что выключатель W отключился, а это при срабатывании УРОВ данного выключателя и означает «затяжку» отключения (если бы W остался включенным, это означало бы отказ выключателя W в отключении). Соответственно, в поле «эвристическая диагностика ЭО» записи ОСА для рассматриваемого примера выставляется «затяжка отключения выключателя».

Эвристическая логика может использоваться для формирования

описаний составных событий. Для приведенного ранее примера срабатывания защит линии описание составного события потребует определение линии, к которой относятся сработавшие защиты энергообъектов на «концах» этой линии, выявление работы АПВ по концам линии и т.п.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Следующим шагом в развитии оперативной справки об аварии могла бы быть автоматизация запуска справки. Вместо инициирования справки человеком-пользователем с заданием нужного интервала времени система ОСА могла бы, ориентируясь на появление реперных событий, сама запускать формирование текстового документа.

Дальнейшая автоматизация может быть достигнута путем автоматической проверки условий срабатывания РЗ и ПА. Для этого потребуется:

- использование «цифровых осциллограмм» изменения параметров режима;
- более сложные топологические модели РЗА (отражающие, в частности, компоновку на подстанциях).

Наконец, уточнение реперных событий позволит проверить ход аварии на компьютерной режимной модели [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получение компьютерной справки типа ОСА может существенно облегчить последующий полный анализ аварии с участием людей-специалистов.

Требование быстродействия вынуждает формировать ОСА в Оперативно-информационном комплексе (ОИК) АСДУ соответствующего диспетчерского управления. Предполагается, что данные о срабатывании устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики используются в ОИК наряду с данными о коммутациях. Определены источники информации для формирования ОСА, структура записи в ОСА, средства для построения записи (экспертные системы, интеллектуальные программы-рассуждения). Намечены пути развития оперативной справки об аварии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства Российской Федерации 28.10.2009 № 846 «Об утверждении Правил расследования причин аварий в электроэнергетике».
2. Любарский Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы. М.: Наука, 1990.
3. Любарский Ю.Я. Интеллектуальные модели рассуждений в советчике диспетчера электрических сетей. // Электрические станции. 2017. № 3. С. 35–39.
4. Авагимов Ю.С., Дьячков В.А., Любарский Ю.Я., Рубцова Е.В. Принципы построения автоматизированной системы годового планирования ремонтов электросетевого оборудования. // Электричество. 2009. № 3.
5. Окин А.А. Противоаварийная автоматика энергосистем. М.: Изд-во МЭИ, 1995.
6. Рабинович М.А., Потапенко С.П., Каковский С.К., Трегубов Е.Н. Цифровая модель энергообъединения большой размерности. // Энергия единой сети. 2018. № 6. С. 66–71.
7. Любарский Ю.Я. Оперативный диспетчерский анализ нештатных ситуаций в электрических сетях промышленных предприятий. Использование компьютерной поддержки на основе технологии экспертных систем. // Промышленная энергетика. 2017. № 9. С. 2–6.
8. Любарский Ю.Я. Диспетчерский анализ нештатных ситуаций в высоковольтных электрических сетях. Компьютерная поддержка // Энергия единой сети. 2017. № 6. С. 59–64.



УСТРОЙСТВО СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ ИСС

точка отсчета в информационной системе



ИСС-1.1



ИСС-1.3



ИСС-2.1

- Прием сигналов от глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS

- Формирование сигналов точного времени в форматах 1PPS, IRIG-B, IEEE 1344, 10 МГц, NMEA

- Поддержка сетевых протоколов синхронизации времени

- Диапазон рабочих температур от -40 до +60 °C

- Абсолютная погрешность 200 нсек относительно UTC

Серия включена в Государственный реестр средств измерений 21.05.2018 под номером 71235-18

Инженерная компания ООО «Прософт–Системы»
620102, г. Екатеринбург, ул. Волгоградская, 194а
prosoftsystems.ru

тел.: +7 (343) 3-565-111,
факс: +7 (343) 3-100-106
info@prosoftsystems.ru

