

ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ-СОВЕТЧИКИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЭС

Ю.Я. Любарский, Ю.В. Быковников, А.Е. Гикинская

Постановка задачи. Спектр решений по управлению в энергосистемах, которые должен принимать оперативный персонал, весьма широк. В данной работе выделяется класс *оперативных решений*, относящихся к текущему состоянию электросети. К этому классу относятся следующие типы решений:

- мониторинг текущего состояния оборудования энергосистем на основе онлайн-анализа топологии электросети и сопоставления результатов этого анализа с информацией по действующим (открытым) заявкам на вывод в ремонт элементов оборудования;
- принятие решений по выводу в ремонт (отключению) элементов оборудования; практически эти решения связаны с оперативной проработкой ремонтных заявок, которая включает выявление условий разрешения заявок, «развязывание» конфликтов между заявками и т.п.;
- онлайн-диагностика нештатных (в том числе аварийных) ситуаций в электросети и выработка планов мероприятий по устранению этих ситуаций.

Перечисленные выше типы оперативных решений характеризуются актуальностью, высокой трудоемкостью для персонала, который должен принимать их в условиях дефицита времени, при неполной оперативной информации, оперируя большими объемами нормативной информации. Последствия почти неизбежных в таких условиях «человеческих» ошибок могут быть весьма тяжелыми.

Поэтому необходима разработка компьютерных информационных систем поддержки оперативных решений по управлению в энергосистемах, которые, работая в режиме диалога с персоналом, обеспечат разгрузку персонала и предотвратят ошибочные решения.

В настоящее время не существует «традиционных» (основанных на формальных аналитических моделях) методов решения перечисленных выше задач. Наряду с этим имеется практический опыт высококвалифицированного оперативного персонала по решению задач; данный опыт может быть преобразован в систему эвристических правил. Сочетание подобных условий является классическим показанием для использования *технологии экспертных систем* для создания информационных систем поддержки оперативных решений. Успешность использования такой технологии в значительной степени определяется наличием у разработчиков инструментальных экспертных систем (экспертных систем-оболочек), ориентированных на решение данного класса задач, а также наличием в составе коллектива разработчиков «инженеров по знаниям». В рассматриваемой работе указанные предпосылки полностью выполняются: в лаборатории экспертных систем ВНИИЭ разработана инструментальная экспертная система МИ-МИР, ориентированная на энергетические информационные задачи. Эта система многократно использовалась для построения на ее базе прикладных экспертных систем поддержки принятия оперативных решений.

В состав работ по созданию и внедрению информационных экспертных систем поддержки принятия решений по управлению в электросетях вошли системы для решения всех перечисленных типов задач. Существенно, что речь идет о *комплексном* решении этих задач. В частности, состояние оборудования, определяемое на основе онлайн-топологического анализа электросети, сопоставляется с состоянием оборудования, определяемым на основе информации по ремонтным заявкам. Такое сопостав-

ление, помимо достоверизации информации о состоянии оборудования, позволяет выделить нештатные ситуации в электросети для их дальнейшего анализа (выявление причин нештатного отключения оборудования). При нештатном отключении оборудования экспертная система обеспечит автоматическое открытие и проработку аварийной заявки на соответствующий элемент оборудования (при этом может быть скорректирован план штатных отключений). Кроме того, информация об открытых ремонтных заявках позволяет устранить неполноту оперативной информации о состояниях коммутационных аппаратов в электросетях (в частности, учет перевода присоединений в сетях 220-110 кВ на резервные системы шин, учет включения «ремонтных перемычек», учет перевода присоединений на питание через обходные выключатели и др.). Тем самым, обеспечивается достоверная исходная информация для топологического анализа электросети даже при неполноте телесигнализаций (что, к сожалению, характерно для отечественных электросетей).

1. Мониторинг состояния оборудования

Экспертная система, осуществляющая мониторинг состояния оборудования, выполняет следующие функции:

- онлайн-анализ топологии электросети;
- автоматическая коррекция топологической модели сети на основе информации об открытых заявках;
- комплексный контроль состояния оборудования.

Ниже кратко рассматривается каждая из этих функций.

1.1. Онлайн-анализ топологии электросети

Исходная оперативная информация: телесигнализации состояний коммутационных аппаратов (в частности, выключателей) электросети, *нормативная информация* – оперативные схемы подстанций электросети (на основе этой информации экспертная система формирует топологическую модель), *система правил* топологического анализа.

Результат выполнения функции: определение и фиксация *сетевых событий* (отключения ВЛ и силовых трансформаторов, снятие напряжения с ВЛ и систем шин, разрыв транзитных связей, отделение участков электросети, разделение схем подстанций и др. события).

Представление результатов: для пользователя результаты анализа топологии представляются в виде текстового Журнала сетевых событий (для каждого события фиксируется время, тип события, наименования энергообъекта и оборудования); кроме того, формируется Набор признаков для отображения результатов анализа топологии на схемах сети и подстанций.

1.2. Коррекция топологической модели

Исходная информация: информация об открытых заявках, телесигнализации, топологическая модель электросети, *система правил* коррекции топологической модели.

Результат выполнения функции: скорректированная топологическая модель, используемая при топологическом анализе, Набор признаков для отображения схем подстанций (выполнение функции компенсирует неполноту телесигнализаций).

1.3. Комплексный контроль состояния оборудования

Исходная информация: результаты анализа топологии, информация об открытых заявках.

Результат выполнения функции: текстовый Журнал нештатных событий, набор признаков состояния оборудования; пользователь (при соответствующих правах) должен иметь возможность подтверждения выявленных системой нештатных событий (по-

сле такого подтверждения будет осуществляться дальнейший анализ нештатных событий).

1.4. Общая структура экспертной системы мониторинга состояния оборудования

В состав экспертной системы входят следующие функциональные модули:

- база знаний БЗ (разделы БЗ - База оборудования, База заявок, База схем);
- набор «сценариев», реализующих правила экспертной системы;
- набор сервисных сценариев для обеспечения контроля функционирования экспертной системы, а также контроль и коррекцию содержимого БЗ.

1.5. Апробация

Экспертная система для онлайн-анализа топологического анализа прошла успешную апробацию в ОДУ средней Волги (принята в опытную эксплуатацию), осуществляется разработка аналогичной системы для Мосэнерго.

2. Советчик по выводу в ремонт оборудования

Экспертная система, осуществляющая информационную поддержку решений по отключению элементов оборудования, выполняет следующие основные функции:

- автоматическая «режимная» проработка ремонтных заявок на вывод элементов электротехнического и коммутационного оборудования;
- автоматическая «релейная» проработка заявок на электротехническое оборудование и устройства релейной защиты;
- автоматический учет нештатных отключений оборудования.

Ниже кратко рассматривается каждая из этих функций.

2.1. Автоматическая «режимная» проработка ремонтных заявок

Исходная информация: оперативная информация – множество заявок (как нерассмотренных, так и разрешенных и открытых), нормативная информация – оперативные схемы подстанций электросети, данные по контрольным сечениям, режимные инструкции, система правил режимной проработки заявок.

Результат выполнения функции: рекомендации по решению (отказать, перенести, разрешить) с обоснованием для пользователей предлагаемого решения (в частности, при «конфликтах» между заявками) и условиями разрешения заявок (режимные ограничения на время заявки и на время коммутаций) и списками оборудования, теряемого при разрешении заявки (в том числе и при возможных коротких замыканиях при коммутациях, выполнение которых необходимо для реализации заявки). Решения и определенные системой режимные условия автоматически вносятся в Базу заявок.

2.2. Автоматическая «релейная» проработка заявок

Исходная информация: оперативная информация – множество заявок (как нерассмотренных, так и разрешенных и открытых), нормативная информация – данные о размещении и типах устройств релейной защиты, «релейные» инструкции, система правил релейной проработки заявок.

Результат выполнения функции: рекомендации по решению (отказать, перенести, разрешить) с обоснованием для пользователей предлагаемого решения (в частности, при «конфликтах» между заявками) и «релейными» условиями разрешения заявок. Решения и определенные системой релейные условия автоматически вносятся в Базу заявок.

2.3. Автоматический учет нештатных отключений

Исходная информация: нештатные отключения, фиксируемые функцией Мониторинга состояния оборудования (см. раздел 4 настоящей Записки). *Результат выполнения функции:* автоматическое формирование аварийных заявок на нештатно отключенное оборудование и инициирование проработки этих заявок функциями режимной и

релейной проработки заявок (разделы 5.1 и 5.3). После подтверждения пользователем эти аварийные заявки автоматически прорабатываются. При этом могут возникнуть конфликты с разрешенными плановыми заявками, которые «развязываются» в пользу аварийных заявок, как более приоритетных; таким образом, нештатные отключения изменяют последовательность плановых отключений.

2.4. Общая структура экспертной системы-советчика по выводу оборудования

В состав экспертной системы входят следующие функциональные модули:

- база знаний БЗ (разделы БЗ - База оборудования, База заявок, База устройств релейной защиты, База схем, База устройств противоаварийной автоматики, База режимных инструкций, База релейных инструкций);
- набор «сценариев», реализующих правила экспертной системы;
- набор сервисных сценариев для обеспечения контроля функционирования экспертной системы, а также контроль и коррекцию содержимого БЗ.

2.5. Апробация

Экспертная система по режимной проработке заявок (ЭСОРЗ) постоянно эксплуатируется в ОДУ Центра (служба оптимизации электрических режимов), ведется работа по внедрению этой системы в СО-ЦДУ ЕЭС.

Экспертная система по релейной проработке заявок (СЭЗАР) была успешно апробирована в службе релейной защиты Днепроэнерго.

3. Ситуационная диагностика

Назначение этой экспертной системы – информационная помощь персоналу, управляющему энергосистемами и сетевыми предприятиями, в оперативной диагностике обнаруженных при мониторинге изменений состояния оборудования.

Диагностика нештатных ситуаций включает в себя:

- определение типа нештатных ситуаций (например, короткое замыкание в каком-то элементе оборудования);
- выявление отказов коммутационных аппаратов и устройств РЗА в процессе развития нештатной ситуации с воссозданием ретроспективы процесса развития нештатной ситуации (последовательность срабатываний РЗА, коммутаций, отказов коммутационных аппаратов и РЗА);
- выработка плана ликвидации нештатной ситуации.

Входной оперативной информацией для системы ситуационного анализа является:

- а) телесигнализации состояний коммутационных аппаратов (главным образом, выключателей);
- б) телесигнализации срабатываний устройств РЗА;
- в) данные о работе РЗА и переключениях, а также об изменениях электрических параметров, получаемые от микроэлектронных регистраторов событий, установленных на подстанциях.

Характерным недостатком систем автоматизации отечественных энергосистем является существенная неполнота информации двух последних видов (телесигнализация состояний РЗА и регистраторы событий имеются только на небольшом числе подстанций). В практике управления отечественными электросетями информация о срабатываниях РЗА передается с подстанций по телефону, что замедляет анализ ситуаций и может приводить к «человеческим» ошибкам. Экспертная система, используя в качестве входной оперативной информации телесигнализацию выключателей, может автоматически производить анализ, определяя наиболее вероятные типы нештатных ситуаций.

3.1. Определение типа нештатных ситуаций

Исходная информация: телесигнализации состояния выключателей;

Нормативная информация: оперативные схемы подстанций, информация об РЗА, установленных на подстанциях (тип РЗА, блокировки, воздействия на выключатели, временные уставки), система правил оперативного анализа ситуации.

Результат выполнения функции: протокол анализа ситуации – текст, содержащий исходную информацию для анализируемой ситуации, возможные варианты диагностики (тип ситуации, отказы выключателей и РЗА).

3.2. Воссоздание ретроспективы процесса

Исходная и нормативная информация – та же, что и в п. 3.1.

Результат выполнения функции: пользователь выбирает вариант диагностики ситуации (см. п. 3.1), система генерирует текст ретроспективы развития ситуации: множество событий с указанием относительного (отсчитанного от начального «повреждения») времени события, тип события (срабатывание РЗА, переключение выключателя, отказ срабатывания выключателя, отказ РЗА).

3.3. Выработка плана ликвидации нештатной ситуации

На основе общей структуры *инструкций по ликвидации аварий* система автоматически вырабатывает план ликвидации конкретной нештатной ситуации, включающий необходимые действия с устройствами РЗА и необходимые переключения выключателей.

3.4. Общая структура экспертной системы по ситуационной диагностике

В состав экспертной системы входят следующие функциональные модули:

- база знаний – БЗ (разделы – База оборудования, База устройств релейной защиты, База схем, База устройств противоаварийной автоматики);
- набор «сценариев», реализующих правила экспертной системы;
- набор сервисных сценариев для обеспечения контроля функционирования экспертной системы, а также контроль и коррекцию содержимого БЗ.

3.5. Апробация

Экспертная система, выполняющая указанные выше функции, была успешно апробирована в одном из сетевых предприятий Мосэнерго.

Заключение

Рассмотренные выше экспертные системы для поддержки оперативных решений по управлению в энергосистемах рассчитаны на функционирование в специфических отечественных условиях – при существенной неполноте оперативной информации (практически отсутствует оперативная информация о срабатываниях РЗА, существенна неполнота информации о состояниях отделителей и разъединителей на подстанциях). Именно поэтому в развитых странах нет систем, пригодных для решения рассмотренных задач в «наших» условиях.

Универсальность разработанной ВНИИЭ инструментальной оболочки МИМИР позволяет рассчитывать на то, что после систем поддержки оперативных решений на базе этой оболочки в дальнейшем могут быть построены системы поддержки других типов решений (например, детальное планирование ремонтных операций с учетом ограниченности имеющихся ресурсов – инструментов, ремонтных бригад и пр.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерова О.М., Кучеров Ю.Н. Технология моделирования электрических режимов в принципиальных схемах сложных ЭЭС // Изв. Академии наук. Энергетика, 1994. – № 6. – С. 55-72.
2. Филатов А.А. Обслуживание электрических подстанций оперативным персоналом. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

3. **Любарский Ю.Я., Моржин Ю.И.** Отечественные оперативно-информационные комплексы АСДУ энергосистемами // Электрические станции, 2001. – №12. – С. 27-31.
4. **Любарский Ю.Я.** Интеллектуальные информационные системы. – М.: Наука, 1990. – 232 с.
5. **Интеллектуальные информационные системы** в управлении эксплуатацией электроэнергетического комплекса // В.Ф. Дьяков, Ю.Я. Любарский, Ю.И. Моржин и др. – М.: МЭИ, 1995.
6. **Любарский Ю.Я., Скородумова Н.В.** Интеллектуальная система – советчик диспетчера ПЭС по анализу нештатных ситуаций в электрической сети // Вестник ВНИИЭ-97. – М.: ЭНАС, 1997.

Об авторах.

Любарский Юрий Яковлевич, 1938 г.р. В 1961 г. окончил Московский энергетический институт. В 1997 г. защитил докторскую диссертацию. С 1961 г. работает в ОАО “ВНИИЭ”. Имеет четыре опубликованные монографии. Заведующий лабораторией экспертных систем для энергетики. Область научных интересов – экспертные системы, диспетчерское управление энергообъединениями.

Гикинская Александра Евгеньевна, 1977 г.р. В 1999 г. окончила Амурский государственный университет. Научный сотрудник ОАО “ВНИИЭ”. Область научных интересов – экспертные системы, диспетчерское управление энергообъединениями.

Быковников Юрий Владимирович, 1980 г.р. В 2001 г. окончил Московский государственный университет. Научный сотрудник ОАО “ВНИИЭ”. Область научных интересов – экспертные системы, диспетчерское управление энергообъединениями.