ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ

АВТОР:

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

Современные экспертные системы, т.е. программные комплексы, основанные на знаниях и опыте экспертов, помогают существенно повысить качество принимаемых персоналом решений. Такие системы могут эффективно применяться в решении важных практических задач интеллектульных сетей энергетических предприятий, а именно:

- **планирование ремонтов и оперативная режимная проработка ремонтных заявок;**
- **анализ нештатных ситуаций в электросетях;**
- **восстановление электрических сетей после сбоев.**

Ключевые слова: электрические сети; оперативно-диспетчерское управление; экстремальное программирование; экспертные системы; компьютерные сети.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В числе необходимых признаков интеллектуальных электрических сетей, или активно-адаптивных сетей, присутствует создание высокоинтегрированного информационно-управляющего комплекса оперативно-диспетчерского управления в режиме реального времени с экспертно-расчетными системами принятия решений [1].

Практика финансирования и реализации отечественных интеллектуальных сетей показывает, что их развитию уделяется недостаточное внимание, а именно:

- разрабатываемые интеллектуальные программы часто имеют только локальный характер (управление «силовой электроникой»);
- постановки задач по реализации экспертных систем зачастую нереалистичны, так как они не учитывают знания и эксплуатационный опыт оперативного персонала.

К настоящему времени сложилась парадоксальная ситуация — в интеллектуальных сетях нет развитого искусственного интеллекта.

В статье рассматривается разработанная в НТЦ ФСК экспертная система Малая Информационная Модель Интеллектуальных Решений (МИМИР) (которая уже прошла предварительную апробацию по применению в умных сетях [2]) и построенные на базе этой системы интеллектуальные приложения, реализующие функции поддержки диспетчерского управления.

ФРАГМЕНТ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ

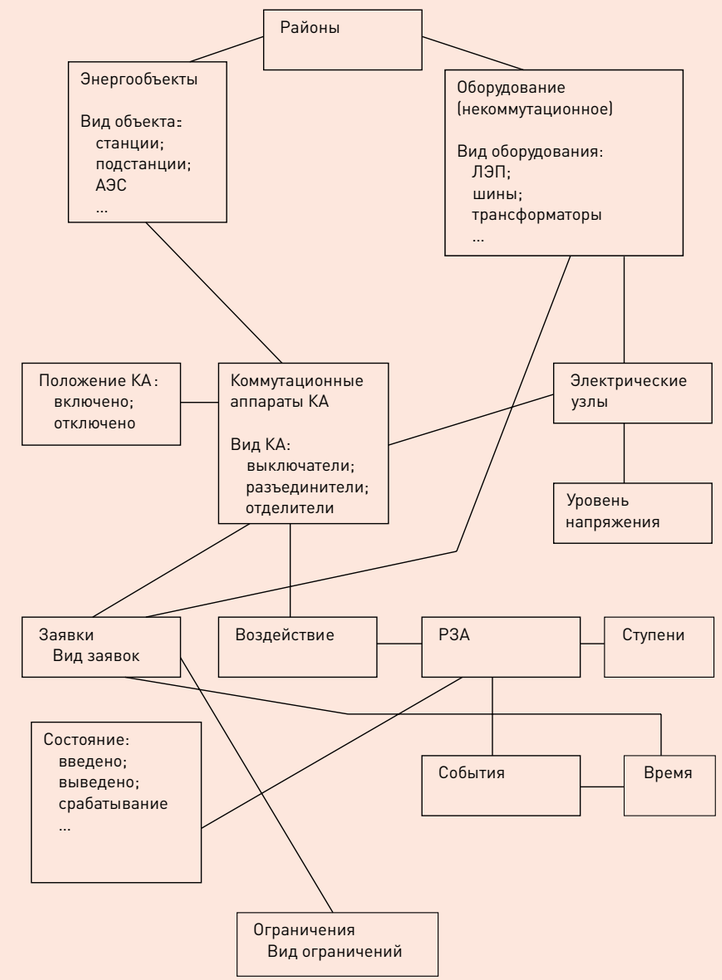

Рис. 1

СВОЙСТВА СИСТЕМЫ МИМИР

В базе знаний (БЗ) системы МИМИР знания представлены на основе формализации структурированных семантических сетей (СС) [3].

Объектами в семантической сети МИМИР являются группы однородных понятий — семантические группы. Пример структуры СС для представления электросети приведен на рис. 1.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД

Программы-рассуждения «упакованы» в интеллектуальные агенты, выполняющие функции эксплуатационного персонала, что соответствует специализированному логическому

ИНФОРМАЦИЯ

Семантическая сеть — информационная модель предметной области, имеющая вид ориентированного графа, вершины которого соответствуют объектам предметной области, а дуги (ребра) задают отношения между ними. Объектами могут быть понятия, события, свойства, процессы.

Продукционное правило — это упорядоченная пара цепочек символов, содержащая левую и правую части — посылку и следствие. В ходе работы с правилами производятся просмотр левых частей правил и сравнение их с символами из БЗ.

выводу в экспертной системе. Этот прием позволяет избежать «проклятия размерности» — резкого снижения производительности при увеличении количества правил.

Интеллектуальные программы анализа ситуации для АСДУ функционально различны и используют разные разделы знаний системы. Целесообразно организовать исполнение этих программ с помощью разнообразных интеллектуальных агентов — относительно простых модулей, каждый из которых использует свой раздел знаний и имеет свои условия инициирования. Поскольку АСДУ, как правило, реализуется в виде компьютерной сети, интеллектуальные агенты локализуются в компьютеризированных рабочих местах для различных специалистов [4].

База знаний устроена таким образом, что обращение к ней из программы может иметь вид вопроса на ограниченном естественном языке со словарем из элементарных понятий этой базы. Например, вопрос «РЗА 3Т, события срабатывание?» дает в качестве ответа указание на множество сработавших защит трансформаторов. Составление программ из таких вопросов (программ-рассуждений) может быть названо вопросным программированием.

База данных в МИМИР дополнена системой программ на ограниченном естественном языке, имитирующих диспетчерские рассуждения на основе технологических правил. Отметим, что вопрос и обработка ответа на него могут интерпретироваться как продукционное правило.

ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Далее рассматривается ряд приложений, разработанных для «традиционных» энергосистем и электросетей. Легкость изменения алгоритмов в экспертных системах позволяет рассмотреть эти приложения как прототипы интеллектуальных электрических сетей.

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О РЕМОНТАХ ОБОРУДОВАНИЯ

Планирование ремонтов

Сроки и длительность ремонтов блоков АЭС, заявляемые атомными станциями, жестко регламентируются их технологическими особенностями и не могут быть изменены при формировании годовых графиков ремонтов оборудования электросетей. Однако, чтобы избежать эффекта «запертой мощности» атомной станции необходимо, чтобы ремонты линий электропередачи, отходящих от АЭС, совмещались по времени с ремонтами блоков этих АЭС. Практика «ручного» планирования ремонтов показывает, что удовлетворительный результат дает применение эвристического критерия «один блок — одна линия». Это означает, что при ремонте каждой отходящей от АЭС линии (с номинальным уровнем напряжения 330 кВ и выше) должен быть в ремонте хотя бы один блок конкретной АЭС. Ранее уже была разработана и реализована прикладная экспертная система, способная предлагать и анализировать различные варианты распределения временных интервалов ремонтных запросов линий электропередачи в интервалах окон ремонта блоков АЭС, которая позволила не только предлагать варианты распределения, но и выбирать из многообразия вариантов наилучший. Результаты работы программы могут отображаться пользователем в форме диаграмм Ганта [5].

Оперативная режимная проработка ремонтных заявок

Рассмотрение ремонтных заявок и принятие решения по ним (проработка заявок) — важнейшие практические задачи, постоянно решаемые персоналом диспетчерских управлений. Главная цель проработки ремонтных заявок — обеспечение необходимой надежности работы энергосистемы при изменении состава работающего оборудования. Режимная проработка заявок выполняется в службах электрических режимов за несколько дней до возможного вывода или ввода оборудования, а результаты этой проработки (решения по заявкам, режимные ограничения) используются дежурными диспетчерами. Проработка заявок в службах представляет собой очень ответственную и трудоемкую операцию (крупным диспетчерским управлениям требуется прорабатывать до сотни заявок в день). Принятие решения по ремонтной заявке

является сложной технико-экономической задачей, обусловленной условиями надежности, устойчивости и экономичности работы энергосистемы. Возможности использования расчетных программ (расчет установившегося режима) ограничены из-за трудоемкости ручного ввода исходных данных для каждой заявки и учетом уже принятых ограничений по другим заявкам. Поэтому в практике оперативных служб расчеты выполняются только для некоторых заявок, а последующая «массовая» проработка заявок производится путем достаточно сложных логических выводов специалистов-технологов с привлечением большого объема данных (топология сети, режимные инструкции, данные по противоаварийной автоматике и др.). Для этого предназначена экспертная система оперативного рассмотрения ремонтных заявок (ЭСОРЗ). Система ЭСОРЗ обеспечивает рассмотрение и режимную проработку «пакета» заявок на вывод в ремонт и производство переключений электротехнического оборудования — линии электропередачи, трансформаторы, генераторы, реакторы, системы шин, устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики и т. д. При этом заявки должны рассматриваться с учетом их приоритетов и взаимного влияния. Результатом является множество ограничений (на время заявки, время переключений), которые должны быть наложены на параметры электрического режима для обеспечения устойчивости [6].

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ СБОЕВ

При автоматизации диспетчерского управления важнейшей задачей является использование средств автоматизации послеаварийного управления. Случаи сложных каскадных аварий в отечественных энергосистемах в 2017 г. доказывают актуальность данной задачи.

Часто после аварии образуется «архипелаг» из отделившихся от Единой энергосистемы «островов» — районов. Поэтому прежде всего следует определить план восстановления для максимально возможного удовлетворения требований потребителя при минимизации потерь. Однако в настоящее время отсутствуют универсальные программные средства для формирования плана восстановления. В результате в аварийных ситуациях восстановление осуществляется практически «вручную» диспетчерским персоналом, при этом «человеческие» ошибки могут приводить к тяжелым последствиям.

Использование интеллектуальных систем (экспертных систем, программ-рассуждений) позволит автоматически формировать такие планы. Вместо традиционных программных методов в этом случае используется система правил, формулируемых на естественном языке специалиста-технолога.

План восстановления целесообразно создавать в интеллектуальной системе АСДУ на двух уровнях:

1. системный уровень — план действий с оборудованием ЭЭС;
2. коммутационный уровень — план переключений коммутационных элементов.

Для системного уровня (пример схемы приведен на рис. 2 на с. 28) рассмотрим фрагмент протокола работы программы восстановления [7].

Следует иметь в виду, что протокол описывает многоэтапный процесс, и выявленные отделившиеся районы на каждом этапе перенумеровываются.

Упрощенный протокол работы:

ОТДЕЛЕНИЕ от ЕЭС
Район 1
Липецкая — схема объекта разделена с ЕЭС
Борино
Елецкая
Описание района 1
Липецкая — схема объекта разделена с ЕЭС
Борино
Елецкая
Связи района с ЕЭС через выключатели Липецкая
Линии для связи района с ЕЭС
ВЛ 500 НВАЭС — Борино
ВЛ 500 Новобрянская — Елецкая
При присоединении района 1 к ЕЭС возможна перегрузка линии ВЛ 500 Новобрянская — Елецкая

[Комментарий: система пробует присоединить отделившийся район к ЕЭС. Выявляется возможная перегрузка линии. Тогда система пробует разделить отделившийся район и присоединять его части к ЕЭС поочередно]

Попытка разделения района 1
ОТКЛЮЧИТЬ
ВЛ 500 Липецк — Борино
ОТКЛЮЧИТЬ
ВЛ 500 Борино — Елецкая

...
Нет отделений от ЕЭС

[Комментарий: отображается сформированный интеллектуальной системой окончательный план восстановления]

ПЛАН ВОССТАНОВЛЕНИЯ:
1. ОТКЛЮЧИТЬ
ВЛ 500 Липецк — Борино
2. ОТКЛЮЧИТЬ
ВЛ 500 Борино — Елецкая
3. ВКЛЮЧИТЬ
ВЛ 500 Новобрянская — Елецкая
4. ВКЛЮЧИТЬ
ВЛ 500 Балашовская западная с отпайкой
5. ВКЛЮЧИТЬ
ВЛ 500 НВАЭС — Борино
6. ВКЛЮЧИТЬ
ВЛ 500 Липецк — Борино
7. ВКЛЮЧИТЬ
ВЛ 500 Борино — Елецкая

Полученный план восстановления должен быть поэтапно проверен на режимной модели для выявления возможных недопустимых значений параметров (в частности, недопустимых отклонений напряжения в электрических узлах).

АНАЛИЗ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ

Правила, на основе которых функционирует экспертная система анализа нештатных ситуаций, определяются логикой работы РЗА. Например, если зафиксировано срабатывание защиты линии электропередачи, экспертная система определяет, на отключение каких выключателей действует эта защита, все ли ранее включенные выключатели из этого множества отключились. Для неотключившихся выключателей фиксируется событие «отказ выключателя» и проверяется, было ли срабатывание УРОВ этого выключателя и т. п.

С помощью специальных программ-рассуждений и на основе технологических инструкций можно формировать тексты советов по действиям диспетчерского персонала, необходимым в определенных ситуациях (и прежде всего в аварийных и предаварийных ситуациях) [9].

Пример формирования совета:

--Срабатывание защиты
ДЗТ Конка Т-1 16 МВА
--резервная защита трансформатора
срабатывание УРОВ после срабатывания защиты трансформатора
УРОВ Конка Конка В-110 Т-1
--дефектный выключатель
Конка В-110 Т-1
отказ отключения выключателя
---СОВЕТ: отключить вручную.
--- Если выключатель не отключается, с разрешения диспетчера
--- отключить линейные и шинные разъединители этого выключателя
--- с нарушением блокировки безопасности
Конка
Нет резервного трансформатора
Трансформатор отключен резервной защитой
--Срабатывание защиты
УРОВ Конка Конка В-110 Т-1
--Возможная неисправность выключателя
Конка В-110 Т-1
Отказ отключения
На подстанции
Конка
Работе УРОВ непосредственно предшествует работа защиты трансформатора
ДЗТ Конка Т-1 16 МВА
Конка Т-1 16 МВА
Погашение шин
Конка I СШ 110
---отключены НЕ ВСЕ выключатели присоединений, связанных с данной СШ
---не отключился выключатель
Конка В-110 Т-1
учтено ручное отключение не отключившегося выключателя
---если выключатель отключается, то с разрешения диспетчера
---опробовать — толчком подать напряжение на погашенные шины
--включить выключатель
Конка В-110 ВЛ Ревская
--при успешном опробовании СШ включить выключатели
Конка ОВ-110
Конка В-110 ВЛ Якорная
Конка Т-1 10 кВ
СОВЕТ: Вывести в ремонт для осмотра и устранения повреждения
- трансформатор
Конка Т-1 16 МВА
-- и выключатель
Конка В-110 Т-1

В другой, более сложной ситуации при срабатывании защит трансформаторов необходимо определить, есть ли дефектные выключатели и какой тип дефекта (отказ, затяжка) имеет место (неотключившиеся выключатели перед опробованием погашенных шин напряжением нуж-

ОТДЕЛЕНИЕ РАЙОНА В СТРУКТУРЕ СЕТИ 500 кВ ОЭС ЦЕНТРА

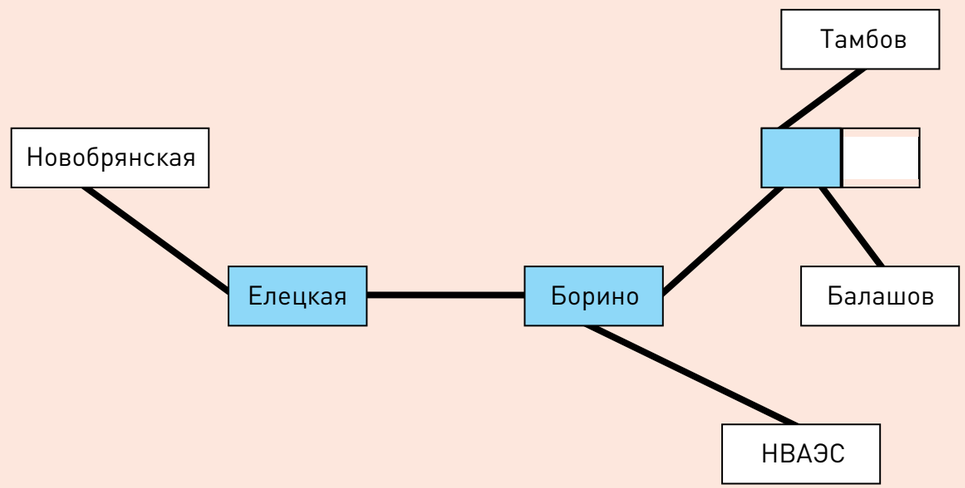

Рис. 2

но отключить, «разобрав» их схему разъединителями с нарушением блокировки, а для «затянувших» выключателей схема разбирается после опробования шин). Факт затяжки может быть логически установлен в рассуждении — УРОВ дефектного выключателя срабатывает до его отключения.

Методы анализа нештатных ситуаций могут быть также использованы для создания тренажеров оперативного персонала [10].

ВЫВОДЫ

1. Ускоренное развитие экспертных систем для диспетчерского управления в энергосистемах и электросетях позволит покончить с парадоксальной ситуацией практического отсутствия искусственного интеллекта в программном обеспечении интеллектуальных сетей.
2. Рассмотренная экспертная система МИМИР и ее приложения для электрических сетей, приведенные протоколы работы интеллектуальных программ позволяют проводить обработку информации о ремонтах оборудования, восстановление электросети после сбоев, анализ нештатных ситуаций, обучение персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция энергетической стратегии России на период до 2030 года (проект). Приложение к журналу «Энергетическая политика». М.: ГУ ИЭС, 2007.
2. Васильев С.Н., Воропай Н.И. и др. Теоретические основы, методы и модели управления большими энергетическими системами / Отв. ред. Н.И. Воропай/ М.: ФСК ЕЭС. 2015. 188 с.
3. Любарский Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы. М.: Наука, 1990. 222 с.
4. Любарский Ю.Я. Интеллектуальная АСДУ. Особенности мультиагентной архитектуры / Ю.Я. Любарский, А.Ю. Хренников, Н.М. Александров // Новости электротехники. 2017. № 5–6. С. 36–38.
5. Любарский Ю.Я., Хренников А.Ю., Александров Н.М. Интеллектуальная АСДУ. Особенности мультиагентной архитектуры // Новости электротехники. 2017. № 5 (107) — 6 (108). С. 36–38.
6. Авагимова Ю.С., Дьячков В.А., Любарский Ю.Я., Рубцова Е.В. Принципы построения автоматизированной системы годового планирования ремонтов электросетевого оборудования // Электричество, 2009. № 3 С. 10–19.
7. Любарский Ю.Я., Горбунова Л.М., Буковников Ю.М. Экспертная система-консультант по проработке ремонтных заявок в оперативных службах энергообъединений // Управление режимами единой энергосистемы России. М.: НЦ ЭНАС, 2002.
8. Любарский Ю.Я., Александров Н.М., Радин П.С. Планирование послеаварийного восстановления электроснабжения с помощью интеллектуальных систем // Энергия единой сети. 2018. № 6. С. 2–7.
9. 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. 2–7.
10. Анашкин С.В., Карташев С.В., Любарский Ю.Я. Тренажер для диспетчерского персонала электрических сетей // Электрические станции. 2014. № 2. С. 2–6.

WORLD SUMMIT
SMART ENERGY
RUSSIA
26-27 марта
Москва 2019

ВСЕМИРНЫЙ САММИТ
ОБ УМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

БОЛЕЕ 90 ИННОВАЦИОННЫХ КЕЙСОВ
ОТ ЛИДЕРОВ РЫНКА

smartenergysummit.ru

#smartenergy
#redenex

реклама

Организатор
Redenex
Market research. Events. Business outsourcing