

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ АВАРИЯХ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

ЧЕБАТАРЕВ С.И., ГРИБ О.Г., ЕРОХИН А.Л.

Сложность современных энергосистем требует создания высокоэффективных систем контроля и управления. Особенно это важно при различных аварийных ситуациях. Рассматриваются задачи распознавания аварии в энергосистеме и принятия решений с помощью геоинформационных технологий.

Современные энергосистемы принадлежат к крупнейшим потребителям и производителям оперативной информации. Вместе с тем они являются потенциально опасными объектами. Сбои в их работе приводят к аварийным отключениям потребителей, а в крайних случаях — к техногенным катастрофам. Примером такой катастрофы может служить прекращение электроснабжения города Сан-Франциско (США), случившееся в декабре 1998 г. Из-за ошибки в монтаже нового участка электросетей произошло короткое замыкание в магистральной линии электропередач и, как следствие, аварийное отключение энергоснабжения всего города на три часа.

Для управления энергосетями используются автоматизированные системы управления производством и потреблением. Такие системы обычно организованы иерархически. Они состоят из удаленных терминалов, линий связи и разноуровневых систем машинной обработки данных. При этом окончательное решение остается за высококвалифицированными диспетчерами.

С появлением на рынке компьютеров современных промышленных контроллеров стало возможным создавать надежные и экономичные автоматизированные системы управления энергетических объектов. К таким объектам относятся: электростанции, линии электропередач, подстанции, потребители энергии.

Управление ресурсами в энергосетях в реальном масштабе времени включает следующие задачи:

- прогнозирование нагрузки;
- оптимизация режимов энергопотребления;
- диагностика аварии;
- принятие решения об устранении аварии;
- перераспределение нагрузки в аварийных режимах;

— прогнозирование аварийных ситуаций в энергосистеме;

— анализ причин аварии и выработка мер по их предотвращению.

В настоящее время большинство процессов, протекающих в штатных режимах, автоматизировано. Вмешательство диспетчера требуется редко (для решения некоторых задач вручную). По-другому обстоит дело в нештатных ситуациях. При обнаружении факта аварии используется система сбора и

сохранения информации, а программное обеспечение, работающее в штатных условиях, оказывается бесполезным. Даже при проведении регламентных работ на атомных станциях обычно диспетчеры выполняют перераспределение нагрузок системы.

При внезапном выходе из строя электросетевого оборудования именно диспетчер оценивает ситуацию и принимает решение о путях оперативного устранения причин аварии, о перераспределении нагрузки или отключении потребителей.

Основные действия диспетчера в момент аварии заключаются в диагностике и принятии решения. Успех в принятии оптимального решения в значительной степени зависит от опыта диспетчера и умения адекватно реагировать на непредвиденные обстоятельства. Поведение человека в таких ситуациях в основном определяется наличием опыта действий в сходных условиях и использованием эвристической логики, соотносящей данную сложную ситуацию с уже известными событиями прошлого. Кроме того, существует риск превышения барьера восприятия человека. Перераспределение нагрузки в аварийных режимах связано с коммутационными операциями. Согласно статистике, около 40% задач, решаемых в диспетчерском центре энергосистемы, связаны с действиями выключателей и линейных разъединителей [1,2].

Сформулируем задачу в терминах экспертных систем [3]. Будем различать в данной предметной области следующие типы знаний: понятийные, конструктивные, процедурные, фактографические и метазнания.

Понятийные знания — это набор основных понятий в области управления энергосистемами, которыми пользуются при решении конкретной задачи. Они обычно являются продуктом фундаментальных наук или теоретических разделов прикладных наук.

К конструктивным относятся знания о наборах возможных структур объектов энергетики и взаимодействии между их частями. Эти знания продуцируют прикладные науки, занимающиеся электроэнергетикой.

Процедурные знания — это методы и средства, алгоритмы и программы, применяющиеся для получения оптимизированного при аварии в энергетике.

Программное обеспечение современной системы принятия решений в аварийной ситуации должно содержать:

1) подсистему принятия решения о факте предаварийной ситуации или аварии. Она основана на сравнении в реальном масштабе времени кодов сигналов энергосистемы и кодов, хранящихся в оперативной памяти;

2) подсистему накопления кодов аварий и кодов предаварийных состояний. Эта информация является ценной для развития экспертной системы;

3) подсистему выработки сценария ликвидации предаварийной ситуации или аварии.

К фактографическим знаниям относятся количественные и качественные характеристики объектов энергетики и явлений.

Метазнания — это знания о порядке и правилах применения указанных выше знаний. Тогда модель данной предметной области состоит из совокупности понятийных и конструктивных знаний. Базу знаний составляет модель предметной области, процедурные

знания, фактографические и метазнания. Существуют различные формы представления знаний. При практической разработке экспертных систем в настоящее время чаще всего используются эвристические модели — набор средств, передающих свойства и особенности предметной области. Примером эвристической модели могут служить сетевые, фрейм-овые и продукционные модели.

Для создания системы принятия решений при управлении энергосистемой можно использовать экспертные системы, или системы, основанные на базах знаний, составляющие (вчера и сегодня) одну из важнейших областей искусственного интеллекта. Экспертные системы широко применяются при диагностике энергетических объектов во время плановых остановов. Поскольку экспертная система способна за одинаковый отрезок времени проверить большее число соответствующих параметров объекта, чем человек, то она может быстрее реагировать и на аварийные ситуации. Однако существенный недостаток экспертных систем — отсутствие привязки актуализированной информации к реальным географическим координатам объектов, что свидетельствует об их слабой эффективности.

Программное обеспечение для системы поддержки принятия решений может основываться на базах знаний, что объясняется необходимостью преодолеть барьер восприятия человека. База знаний предложит диспетчеру различные готовые сценарии принятия решений.

Система поддержки принятия решений может быть основана на продуцирующих правилах, на фреймах или на логических правилах. Продуцирующее правило может представлять собой блок, содержащий посылку “ЕСЛИ” и актуальную часть “ТО”. Фреймовые структуры — это процедурные знания, указывающие, как поступать в конкретной ситуации. Логические правила могут быть основаны на предикатном исчислении.

Применение инструментальных геоинформационных систем (ГИС) позволит ускорить и упростить этапы создания систем поддержки принятия решений.

К этапам создания ГИС принятия решений относятся: идентификация (определение проблемы, ресурсов, целей, экспертов, неформальное (вербальное) описание проблемы); концептуализация (выделение ключевых понятий системы, отношений и характеристик); формализация проекта (выражение введенных понятий на формальном языке); выполнение проекта (создание ГИС-системы); тестирование; опытная эксплуатация (проверка пригодности ГИС-проекта для конечного пользователя); модификация проекта.

Задачи, стоящие перед специалистами систем электроснабжения (СЭС), становятся все более серьезными (например, работа со всем комплексом инженерных сетей в городе), сложными, связанными с необходимостью учета многих взаимосвязей, а также требующими решения не только вопросов управления, но и других проблем. Одна из таких проблем — реагирование на чрезвычайные ситуации. Упрощенные схемы перестали устраивать специалистов СЭС, возникла потребность работы с реальным географическим пространством, учета особенностей окружающей среды, рельефа и т.д. Технология такой работы хорошо развита в геоинформационных системах [4].

ГИС — это современная компьютерная технология для картографирования и анализа объектов и событий реального мира. ГИС-технология объединяет традиционные операции при работе с базами данных (запрос и статистический анализ) с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, который предоставляет карта. Эти возможности отличают ГИС от других информационных систем. ГИС обладает уникальными возможностями для решения задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, с осмыслением и выделением главных факторов и причин, а также их возможных последствий, с планированием стратегических решений и текущих последствий принимаемых действий.

Геоинформационные технологии используют архитектуру программ, обладающих множественными функциями и воспринимающих *пространственные и временные* взаимосвязи как совокупность сложных взаимосвязей. ГИС в масштабах организаций или предприятий позволяет использовать приложения, которые будут выполнять множество несопоставимых ранее функций, обладая минимальной избыточностью данных функций. Например, одна и та же система сможет заниматься планированием маршрутов проезда ремонтных бригад на объекты СЭС в целях определения их технического состояния. ГИС позволяет прогнозировать техническое состояние электростанций, линий электропередач, подстанций, потребителей энергии, заниматься целевым маркетингом, а также прогнозировать последствия аварий СЭС на заданной территории с учетом экономического и морального ущерба для населения, проживающего на заданной территории.

Геоинформационные технологии не исключают использование данных существующих стандартов информационных технологий. Уже созданы новые технологии, предназначенные непосредственно для управления *пространственными* взаимосвязями в рамках традиционных информационных технологий. Это, например, технологии SDE (Spatial Database Engine) фирмы ESRI и SDO (Spatial Data Option) фирмы Oracle.

Таким образом, появляются новые возможности использования ГИС как систем, основанных на базах знаний с пространственной информацией, составляющих одну из важнейших областей искусственного интеллекта. ГИС могут применяться при диагностике энергетических объектов во время плановых остановов. Такие системы способны за одинаковый отрезок времени проверить большее число соответствующих параметров объекта, чем человек, а значит, будут быстрее реагировать и на аварийные ситуации.

ГИС энергосистемы хранит информацию о реальных объектах в виде набора тематических слоев, которые объединены на основе географического положения. Такой простой, но очень гибкий подход ценен при решении разнообразных реальных задач: для отслеживания передвижения аварийных машин, детального отображения реальной обстановки и планируемых мероприятий, моделирования предаварийных и аварийных ситуаций. Любая географическая информация содержит сведения о пространственном положении, будь то привязка к географическим или другим координатам, или ссылки на адрес, почтовый индекс, избирательный округ или

округ переписи населения, идентификатор земельного или лесного участка, название дороги или километровой столб на магистрали и т.п. При использовании подобных ссылок для автоматического определения местоположения или местоположений объекта (объектов) применяется процедура, называемая геокодированием. С ее помощью можно быстро определить и посмотреть на карте, где находится объект или явление, например, место на линии, где произошло замыкание, и пути подъезда туда аварийной машины.

Известны *векторная и растровая модели* ГИС. Они работают с двумя существенно отличающимися типами данных - векторными и растровыми. В векторной модели информация о точках, линиях и полигонах кодируется и хранится в виде набора координат x, y . В современных ГИС часто добавляется третья (пространственная) и четвертая (временная) координаты. Местоположение точки (точечного объекта), например отдельные опоры или подстанция, описывается парой координат (x, y) . Линейные объекты, такие как дороги, реки, линии электропередач, сохраняются как наборы координат (x, y) . Полигональные объекты (например, районы обслуживания, земельные участки) хранятся в виде замкнутого набора координат. Векторная модель особенно удобна для описания дискретных объектов и меньше подходит для описания непрерывно меняющихся свойств, таких как частота в электросети или рост деревьев под линиями электропередач. В таких случаях используют растровую модель. Растровое изображение представляет собой набор значений для отдельных элементарных составляющих. Обе модели имеют свои преимущества и недостатки. Современные ГИС могут работать как с векторными, так и с растровыми моделями данных.

ГИС энергосети, как и всякая геосистема, должна выполнять пять процедур с данными:

- ввод,
- манипулирование,
- управление,
- запрос и анализ,
- визуализация.

Для использования в ГИС данные должны быть преобразованы в подходящий цифровой формат. Процесс оцифровки выполняется с помощью сканера. Некоторые ГИС-инструменты имеют встроенные векторизаторы, автоматизирующие процесс оцифровки растровых изображений.

Часто для выполнения конкретного проекта имеющиеся данные нужно дополнительно видоизменить в соответствии с требованиями вашей системы. Например, географическая информация может быть в разных масштабах (осевые линии улиц имеются в масштабе 1:100 000, границы округов переписи населения - в масштабе 1: 50 000, а жилые объекты - в масштабе 1: 10000). Для совместной обработки и визуализации все данные удобнее представить в едином масштабе и одинаковой картографической проекции.

В небольших проектах географическая информация может храниться в виде обычных файлов. При увеличении объема хранимой информации эффективно хранить, структурировать и управлять данными можно с помощью СУБД. В ГИС используется

реляционная структура. Для связывания полей применяются общие поля.

ГИС имеют множество мощных инструментов для анализа, среди них наиболее значимы два: анализ близости и анализ наложения. Для проведения анализа близости объектов относительно друг друга в ГИС применяется процесс, называемый буферизацией. Процесс наложения включает интеграцию данных, расположенных в разных тематических слоях. В простейшем случае это операция отображения, но при ряде аналитических операций данные из разных слоев объединяются физически. Наложение, или пространственное объединение, позволяет, например, интегрировать данные о почвах, уклоне, растительности и землевладении со стоимостью поставленной электроэнергией.

Для многих типов пространственных операций конечным результатом является представление данных в виде карты или графика. Карта является эффективным и информативным способом хранения, представления и передачи географической информации, имеющей пространственную привязку. ГИС предоставляет инструменты по работе с документами, трехмерными изображениями, графиками, таблицами, диаграммами, фотографиями и другими средствами, например мультимедийными.

Рассмотрим подробнее задачи ГИС энергосети.

Прогнозирование нагрузки. Нагрузка системы выражается суммой нагрузок всех отдельных потребителей энергии во всех узлах энергосистемы. График нагрузки системы можно в принципе определить, зная график нагрузки каждого отдельного потребителя энергии. Однако величина потребления энергии каждого потребителя может изменяться из-за непредвиденных обстоятельств.

На поведение нагрузки системы влияют следующие факторы: экономические, временные, погодные, случайные. К экономическим факторам относятся тарифная политика, уровень жизни населения, уровень производства и др. Временные факторы - это сезонные изменения, выходные и праздничные дни. Погодные факторы связаны с метеорологическими условиями.

Задача оптимизации режимов энергопотребления заключается в определении того, какие генерирующие части энергосистемы должны быть включены и могут нести нагрузку (в определении диспетчерского графика нагрузки). Распределение нагрузки имеет большое экономическое значение. Постановка задачи распределения нагрузки существенно различается в разных энергосистемах и зависит от структуры генерирующих мощностей и конкретных эксплуатационных ограничений.

Задача диагностики фактически зачастую сводится к обработке данных в аварийной ситуации. При серьезной аварии в энергосистеме диспетчер может быть перегружен аварийными сообщениями. Поскольку многие из них оказываются избыточными или несут информацию, относящуюся к одному и тому же событию, диспетчер может не сразу точно определить, что произошло. Для регистрации электрических событий в последнее время начинают разрабатывать и применять цифровые аварийные осциллографы (регистраторы аварийных состояний). Основное их назначение - сбор, первичная обработка и архивирование эксплуатационно-технических па-

раметров штатных и аварийных процессов в энергетических объектах. Цифровые аварийные осциллографы вместе с программным обеспечением могут стать основой систем поддержки принятия решений при авариях в электросетях.

Управление восстановительными операциями. В энергосистеме могут происходить крупные аварии. То обстоятельство, что аварии происходят редко, только усложняет работу оператора, поскольку его опыт в решении вопросов восстановления нормального режима энергосистемы ограничен. Вследствие этого во многих центрах управления имеются планы проведения восстановительных действий.

В развитых зарубежных странах огромное внимание уделяется применению ГИС-технологий для управления инженерными коммуникациями.

Компания Boston Edison - это одна из старейших электрических и телекоммуникационных компаний в США, существующая более 100 лет и обслуживающая сегодня более 650000 клиентов на площади более 600 кв. миль. Инфраструктура электрических сетей компании Boston Edison включает 210000 электрических столбов, 52000 трансформаторов, 7500 миль подземного кабеля и 14500 миль воздушных линий. Boston Edison разработала и использует профессиональную АМ/ФМ ГИС, предназначенную для улучшения обслуживания пользователей электросетями. Система CADIMAGE (Computer Aided Distribution Information Management and Graphics Editor) построена с использованием программных продуктов фирмы ESRI и базируется на программе ARC/INFO. Компания разрабатывает ГИС управления энергосетью для обслуживания пользователей коммуникаций, для облегчения обслуживания, ремонта и диспетчеризации электрических сетей. Уже имеется подсистема, ответственная за отображение нарушений на электролиниях и реагирование на запросы пользователей одновременно в главном центре приема вызовов, центре управления энергетическими сетями, а также во всех пунктах пользовательской службы на всей обслуживаемой компанией территории. Пользователи могут легко и быстро связаться с диспетчерами и ремонтными бригадами, а также получить исчерпывающую графическую, текстовую и сопутствующую информацию, что оптимизирует обслуживание и ремонт оборудования,

значительно повышает эффективность обслуживания потребителей.

В настоящее время происходит переоценка и бурное развитие программно-аппаратных средств геоинформационных технологий, которые качественно изменяют наши возможности по отображению явлений реального мира. Понятия пространства и времени в ГИС, используемые в качестве взаимосвязей, вместе с характеристиками и свойствами объектов, с процессами и событиями, происходящими на заданной территории, позволяют моделировать окружающий мир максимально правдоподобно.

Литература: 1. *ЭВМ в управлении энергосистемами*. Темат. вып.: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 173 с. (Тр. Ин-та инж. по электротехнике и радиоэлектронике; Т. 75, № 12). 2. *Kamstrup J., Klitko A. and others. Ukraine: Energy & Economy. EC Energy Centre in Kiev, 1996. 128 p.* 3. *Уотермен Д.* Руководство по экспертным системам: Пер. с англ./ Под ред. В.Л. Стефанюка. М. 1989. 280 с. 4. *Программно-аппаратное обеспечение, фонд цифрового материала, услуги и нормативно-правовая база геоинформатики. Ежегодный обзор. Вып. 3. Том 1. (1996-1997). Приложение к "Информационному бюллетеню" ГИС-ассоциации. 1998. 206 с.*

Поступила в редколлегию 10.02.99

Рецензент: д-р техн.-наук Зацеркляный Н.М.

Чебатарев Станислав Иванович, канд. техн. наук, профессор кафедры геодезии и геоинформационных технологий Харьковской Государственной Академии городского хозяйства. Научные интересы: геоинформационные технологии. Увлечения и хобби: компьютерная графика. Адрес: Украина, Харьков, Пр. 50-летия СССР, 27, тел. 50-30-80, 40-94-46, 47-76-55.

Гриб Олег Герасимович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электроснабжения городов Харьковской Государственной Академии городского хозяйства. Научные интересы: управление в энергетике. Увлечения и хобби: охота, путешествия. Адрес: Украина, Харьков, Пр. 50-летия СССР, 27, тел. 50-30-80, 40-94-46, 47-76-55.

Ерохин Андрей Леонидович, канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Университета внутренних дел Украины. Научные интересы: системы принятия решений, современные компьютерные технологии. Увлечения и хобби: компьютер, радиолюбительство, музыка. Адрес: Украина, Харьков, Пр. 50-летия СССР, 27, тел. 50-30-80, 40-94-46, 47-76-55.

УДК 519.21

СТАБИЛИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРОЦЕССОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ БЛУЖДЕНИЯХ

РОДЗИНСКИЙ А. А.

Описывается несколько схем случайных блужданий с постоянным и изменяющимся числом состояний. Время перехода из одного состояния в другое предполагается дискретным; длительности переходов, вообще говоря, различны. Рассматривается случай, когда длительности переходов в совокупности образуют сходящийся ряд. Эта ситуация при определенных условиях позволяет произвести стабилизацию основных характеристик процесса блужданий за конечный промежуток времени. Приводятся примеры применения рассмотренных схем блужданий.

В настоящее время при рассмотрении многих процессов часто используют подход, основанный на теории марковских процессов. В ряде случаев решение задачи удается получить при рассмотрении соответствующим образом выбранного процесса случайных блужданий.

1. Рассмотрим простейший вариант случайного блуждания по целочисленным точкам числовой прямой. Пусть частица переходит из точки $x = i$ в $x = i + 1$ с вероятностью p_i ($0 < p_i < 1$) и с вероятностью $q_i = 1 - p_i$ попадает в точку $x = 0$. Здесь состояниями являются целочисленные точки прямой $x = 0, 1, 2, \dots$; все состояния сообщающиеся.

Пусть в начальный момент времени частица находится в точке $x = 0$. Вероятность цепочки переходов $0 \rightarrow 1 \rightarrow \dots \rightarrow n \rightarrow \dots$ равна

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_0 p_1 \dots p_n. \quad (1)$$