

УДК 681.5.015

А. Л. ЕРОХИН

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ

Введение

В настоящее время во всем мире бурно развиваются информационные технологии в области инженерных коммуникаций. Уже давно для обеспечения работ с графическим отображением инженерных сетей используются как САД-технологии, так и системы АМ/ФМ (Automatic Mapping/Facilities Management). В связи с тем что задачи становятся более сложными и не ограничиваются только работой с графикой, системы стали интегрироваться с геоинформационными технологиями и технологиями баз данных. Геоинформационные технологии манипулируют пространственно-распределенной информацией, т. е. отражающей материальные объекты на конкретной местности, территории. С помощью таких систем логично было бы организовать оперативное управление любыми ресурсами, с которыми работает человек. Таким образом, необходимым требованием сегодняшнего дня становится синтез новых подходов к организации оперативного управления в отдельных областях человеческой деятельности (инженерные сети, налогообложение, организация выборов и т. д.). Другой особенностью современных процедур управления является управление ресурсами путем манипулирования информацией. Для инженерных сетей – это управление территориальной информацией.

Основные определения

Территориальная информация – это совокупность сведений о физических объектах и человеческих ресурсах, свидетельствующая о мере организации системы. Территориальная информация – класс объектов управления, которые действуют в стохастической среде. Важной является задача исследования системных свойств таких объектов. Необходимо выделять главные задачи управления территориальной информацией:

- построение модели среды, в которой функционирует территориальная информация;
- построение математических моделей процессов возникновения территориальной информации;
- параметрическая идентификация и проверка адекватности модели;
- разработка моделей прогнозирования территориальной информации.

Постановка задачи повышения эффективности управления электрическими сетями

Вопросы оперативного управления потокораспределением в инженерных сетях в условиях неопределенности подробно рассмотрены [1]. Однако указанное исследование выполнено для инженерных сетей типа газо-, нефте- и других продуктопроводов. При попытке применить методы указанного научного направления к электрическим сетям оказалось, что возникают сложности, связанные прежде всего с понятием целевого продукта.

Целевой продукт в электрической сети - это электрический ток по физической природе, а по сути - электрическая энергия, доставляемая от генератора к потребителям. Существенно отличается способ транспортирования такого целевого продукта и особенно методы управления потокораспределением, управления качеством продукта и надежностью всей инженерной сети такого типа.

Электрические сети следует рассматривать как распределенную сеть со сложной вложенностью и неравномерной структурированностью. На рис.1 представлен фрагмент объектной модели электроэнергетической системы.

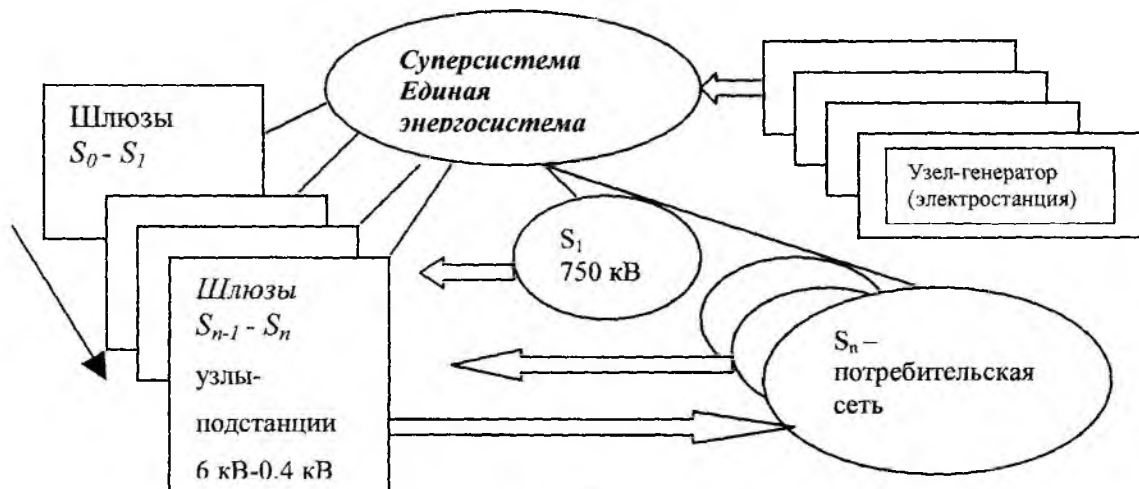


Рис. 1.

Сеть состоит из неравноправных узлов. Выделим узлы-генераторы, узлы-подстанции и узлы-потребители. Система представляет собой суперсистему S_0 и подсистем S_1, S_2, \dots, S_n , подчиненные суперсистеме. В нашем случае суперсистемой является единая энергосистема государства. В качестве подсистем низших уровней будем рассматривать электрические сети областей. Суперсистема должна влиять на подсистемы низших порядков для достижения целей, заданных для всей системы. Такими целями являются: бесперебойное снабжение целевым продуктом узлов-потребителей, оперативное управление перераспределением целевого продукта.

Рассмотрим кратко классификацию подсистем S_1, S_2, \dots, S_n . Каждая из них рассматривается как некоторая качественная единица со своими специфическими особенностями. Существуют следующие классы сетей по напряжению – 750, 500, 330, 220, 110, 35, 10, 6, 0,4 (трехфазная потребительская сеть), 0,22 кВ (однофазная потребительская сеть). Лучше всего структурированы и управляемы сети 750 и 330 кВ, поскольку наиболее крупномасштабны. Управление такими сетями – происходит на уровне министерства. Областные энерго-снабжающие компании занимаются управлением в основном сетями 110 и 35 кВ. В каждом классе сетей имеются свои узлы-генераторы. Они представлены генерирующими предприятиями (электростанциями). Узлы-подстанции (ПС) перерабатывают целевой продукт (электрическую энергию). Сложность управления такой совокупностью усугубляется тем, что все сети взаимодействуют между собой и это взаимодействие возможно только при достижении определенного качества целевого продукта. Потоки целевого продукта управляются диспетчерскими службами, главной задачей которых является безаварийная работа и недопущение развала всей энергосистемы. Методы обеспечения безаварийности в основном "топорные", ручные, с участием диспетчера. Об оптимальном, эффективном управлении потоками целевого продукта вообще речь не идет.

Методы оперативного управления в действующих электросетях представлены в основном методами диспетчерского управления. Практически используются система SCADA (в масштабах энергосистемы страны и региона), САД-системы (энергосистемы регионов). Все существующие технологии хорошо отработаны, однако не подходят для использования в качестве систем поддержки принятия решений при управлении электрическими сетями в нештатных ситуациях, поэтому актуальной является задача разработки новых подходов, методов и алгоритмов оперативного управления электрическими сетями.

Рассмотрим проблемы управления территориально распределенной информацией на примере сетей электроснабжения (далее электрических сетей). Особенности таких сетей являются:

- взаимозависимость всех компонент системы. Все генерирующие устройства и потребители связаны в такой инженерной сети;
- значительные трудности в оперативном учете и регулировании потока целевого продукта;
- сложность управления авторизацией доступа потребителей в инженерную сеть;
- сложность в оперативном принятии решения при нештатных ситуациях, поскольку электрические сети – это непрерывное производство;
- опасность необратимого развала энергосистемы при авариях (коротких замыканиях и системных отказах). Развал энергосистемы наступает после падения частоты тока в сети ниже определенной отметки. При этом стандарты нижней и верхней границ изменения частоты различны в разных государствах. В связи с этим оперативно поддержать разваливающуюся энергосистему подключением к другой практически не удастся.

Задачу управления всеми ресурсами инженерной сети типа "электрическая сеть" можно свести к задаче управления потоками информации, распределенной территориально. Такая аналогия напрашивается сама собой, если сравнить целевой продукт в электрической и в информационной сетях.

Вследствие этого возникает необходимость создания распределенной системы поддержки принятия решений в энергосистеме. Эта система должна прийти на смену устаревшим системам оперативного управления, основанным на "ручной" и "полуручной" диспетчеризации. Задачами новой системы должны стать как регистрация штатных и нештатных событий в системе с возможностью визуализации для пользователей, так и оперативная оценка значимости отдельных составляющих возникшей ситуации, генерация возможных решений, оценка последствий и эффективности этих решений (количественные и качественные характеристики), выбор наиболее оптимального из решения (исходя из полученных характеристик).

Рассмотрим различные методы использования в системах оперативного управления инженерными сетями:

1. Методы физической геометрии. Использование геометрии, объективно связывающей параметры протекающих в реальных телах физических процессов с их геометрической формой, позволяет решить эту проблему. Аналитическая технология определения физических параметров протекающих в реальной системе процессов дает возможность получить результаты обработки исходной информации требуемой точности и создать адекватную математическую модель процесса (CAD и другие технологии). На сегодняшний день это уже технологии низшего уровня.

2. Методы распознавания образов. Чаще всего применяется эталонный подход. Если программа находит в эталонном наборе признаков похожий признак, то событие в системе идентифицировано и ему присвоено соответствующее значение кода. Признаки, которые нужно идентифицировать, измеряются и сравниваются с геометрическими параметрами. Если пользователь (диспетчер, эксперт) исправит неправильно распознанные аварии и запишет эти исправления в виде "обученных" данных, то программа сможет использовать эти данные в будущих процессах распознавания.

3. Методы экспертных систем. В терминах экспертных систем в рассматриваемой предметной области имеются следующие типы знаний: понятийные, конструктивные, процедурные, фактографические и метазнания. Понятийные знания – это набор понятий, которыми пользуются при решении конкретной задачи – 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 решения при аварии в электроэнергетике.

4. Методы нечетких множеств и нечеткой логики [2]. Это процесс принятия решения, при котором условия и правила не должны выполняться стопроцентно. При идентификации учитывается даже относительно нечеткая выраженность признаков. Преимущества нечеткой логики перед классическим подходом заключается в упрощении аналитического описания процесса. С помощью методов нечеткой логики можно комбинировать различные результаты нескольких способов контроля. Это повышает вероятность распознавания и дальнейшего принятия решения в критических случаях, например, при нечетко выраженных причинах аварии в энергосистеме. Алгоритмические способы решения проблемы, такие, как распознавание образов работают по раз и навсегда установленным четким правилам: в обучающихся системах создаются дополнительные временные правила, которые, тем не менее, формулируются совершенно однозначно. Нечеткая логика учитывает тот факт, что мозг может прийти к приемлемому решению проблемы даже без однозначных параметров. Для этого результаты исследования технологий низшего уровня сначала преобразуются в нечеткие, постепенно изменяющиеся параметры, так называемые лингвистические (вербальные) переменные. В системах с нечеткой логикой эти переменные объединяют несколько точных анализируемых параметров. Такой комплекс параметров называется также нечетким множеством. Каждому такому множеству присваивается собственное имя переменной.

Система управления электрическими сетями должна обеспечивать надежность выработки решения с учетом неполноты информации. Одним из таких подходов является использование нечетких множеств для анализа надежности систем на основе нечетких вероятностей возникновения отказа в рамках теории нечетких множеств. Использование нечетких вероятностей в качестве исходных данных во многих случаях имеет большое число недостатков. Нечеткий характер результатов создает ситуации, которые трудно объяснить с физической точки зрения. Например, для монотонных систем увеличение нечеткой вероятности отказа элемента может привести к уменьшению нечеткой вероятности отказа всей системы, что по определению монотонности невозможно. Данный парадокс связан не с физической природой монотонных систем, а с проблемами математических моделей, используемых для их анализа. Основная идея другого подхода заключается в том, что вместо случайных величин, таких, как время до отказа или время восстановления, используются нечеткие переменные. Разработка математической модели функционирования сложных систем и ее анализ, как правило, сталкиваются с необходимостью учета тех типов неопределенностей, которые встречаются при описании систем и зависят от источника получения информации. Выбор математического аппарата для анализа надежности определяется наличием, видом и источником информации о надежности элементов и системы. Ряд задач анализа надежности не могут быть решены в рамках классической теории вероятностей. Даже если решение существует, то степень доверия к нему может быть достаточно низкой. Использование нетрадиционных подходов является не только выходом из данной ситуации, но и более оправдано. К таким подходам можно отнести использование теории нечетких множеств. В основе теории интервальных средних лежат понятия классической теории вероятностей, и в то же время эта теория является обобщением вероятностных моделей. Теория возможностей является частным случаем теории интервальных средних [3].

Новейшие технологии

ГИС-системы поддержки принятия решений (ГИСППР). В настоящее время наблюдается повышенный интерес к системам пространственно-временного представления информации, что связано с самим естеством человека ("мы все живем на географической карте"). Появились новые формы анализа данных, основанные на интегрально-интеллектуальном подходе. ГИС – это наиболее современная на сегодняшний день информационная технология, позволяющая в удобном для человека виде хранить, визуализировать и обрабаты-

вать весь массив разноструктурных данных об окружающем мире. ГИС произвели такую же революцию в информационных технологиях, как в свое время появление электронных таблиц и реляционных баз данных. ГИС позволяет эффективно использовать изображения и картографическую информацию, что дает значительные преимущества при выборе оптимального решения. ГИС – это программно-аппаратные средства для сбора, обработки, отображения, анализа и передачи информации о пространственно распределенных объектах и явлениях. ГИС использует электронные карты (2D и 3D) и связанные с ними базы данных актуализированной информации.

Автоматизированных средств построения таких систем из картографического представления для электрических сетей не существует вследствие стохастичности поведения таких сетей на детальных уровнях представления, в сетях уровней S_1, \dots, S_n . Здесь возникают субграфы и концентрируются наиболее сложные топологические взаимоотношения узлов сети.

Решение задачи комплексной информатизации предприятий инженерных сетей лежит в области интеграции разного уровня программных средств, как геоинформационных технологий, так и программных средств других информационных технологий. Из других технологий в первую очередь это технологии баз данных, особенно нового поколения объектно-реляционных СУБД, или универсальных серверов, реализующих общий подход к хранению и пространственным, и непространственным данным. Это разработки Oracle, Informix, IBM (DB2). Также это технологии статистического анализа и экспертных систем. Но при этом принципы и подходы геоинформатики имеют ведущее значение и являются системообразующими.

К задачам ГИСППР можно отнести:

- создание точной электронной карты (сканирование карт, оцифровка карт, сшивание растров) и связывание объектов на карте с информацией в базах данных;
- наглядное представление данных в виде карт, диаграмм, графиков, схем;
- анализ пространственных данных;
- моделирование ситуаций;
- поддержка принятия управленческих решений как в штатных, так и в чрезвычайных ситуациях;
- перспективное планирование развития отраслей, городов, регионов;
- интегрирование информации различной природы и из разных источников;
- взаимодействие с другими информационными системами;
- разработка пилот-проектов геоинформационных баз данных, выполнение геоэкоинформационных исследований.

В новом подходе к управлению электросетями целесообразно использовать нечеткие логические выводы.

Рассмотрим возможную структуру ГИСППР.

ГИСППР может быть реализована в виде следующих вариантов:

1) решения генерируются несколькими экспертными системами, которые находятся в одном узле, но используют различные методы оценивания ситуации и выработки решения. Вследствие этого высока вероятность получения антагонистичных решений. Такой вариант требует наличия лица, принимающего решение (ЛПР), которое и разрешит конфликт решений;

2) решения генерируют экспертные системы, которые находятся в различных узлах данной инженерной сети, но используют аналогичные технологии оценивания ситуации и выработки решения. В этом случае ситуация "просматривается" с разных углов зрения. Вероятность конфликта резко снижается, и в идеале можно обойтись без ЛПР.

Второй способ построения ГИСППР хорошо подходит для нашей предметной области. Электрические сети структурно состоят из подсетей с узлами в виде подстанций. Каждый узел оборудован аппаратурой для слежения за параметрами участка сети до следующего узла. Все узлы в сети авторизованы. При возникновении нештатной ситуации узлы приводят в действие

автоматику аварийного отключения данного участка сети (два узла – с двух сторон). Узлы можно наделять свойствами вырабатывать решения о причинах аварии и рекомендуемых действиях ремонтных бригад. Проблема повышения эффективности принятия решений при аварийных ситуациях в электрических сетях требует решения следующих задач:

- исследование методов и средств фиксации аварийных событий в электрических сетях;
- исследование характеристик информационных параметров режимов работы сети;
- исследование методик измерения информационных параметров сети;
- разработка компьютерной системы фиксации аварийных событий;
- разработка методов и средств анализа аварийных событий;
- разработка методики анализа информационных параметров сети при аварийных ситуациях;
- разработка средств визуального анализа аварийных ситуаций;
- разработка алгоритмов распознавания вида аварии методами экспертных оценок;
- информационное обеспечение автоматического определения места повреждения ЛЭП;
- разработка системы поддержки принятия решений относительно электрических сетей в аварийных ситуациях;
- разработка логической схемы принятия решений в аварийных ситуациях;
- разработка структурной схемы системы пространственно-временного анализа событий в электрических сетях;
- разработка программного обеспечения системы поддержки принятия решений в аварийных ситуациях на основе геоинформационных технологий.

Исследуемая система распределена пространственно и функционально. Вследствие распределенности она должна быть построена по модульному принципу.

Рассмотрим этапы разработки программного обеспечения современной системы принятия решений для электроэнергетики:

- идентификация (исследуются проблема, ресурсы, цели);
- неформальное (вербальное) описание проблемы;
- концептуализация (выделение ключевых понятий системы, отношений и характеристик);
- формализация проекта;
- разделения проекта на модули;
- разработка методик нечеткого принятия решений при нештатной ситуации, определения места аварии в сети, предсказания аварии;
- выполнение проекта (алгоритмизация, выбор языков программирования и инструментальных средств. кодирование, отладка модулей);
- интеграция модулей в ГИС-систему;
- тестирование;
- опытная эксплуатация (проверка пригодности ГИСППР-проекта для конечного пользователя);
- ведение и модификация проекта.

На рис. 2 приведен фрагмент работы разрабатываемой ГИСППР электрических сетей региона на примере Харьковской области. Наиболее значимым с научной точки зрения станут модули определения места (точных координат) аварии на линии, предсказания аварийной ситуации. При разработке алгоритмов указанных модулей использованы методы распознавания образов и нечеткой логики.

Выводы

Разработка ГИСППР позволит повысить оперативность управления муниципальным хозяйством, отказаться от услуг избыточного количества специалистов, обеспечить научно

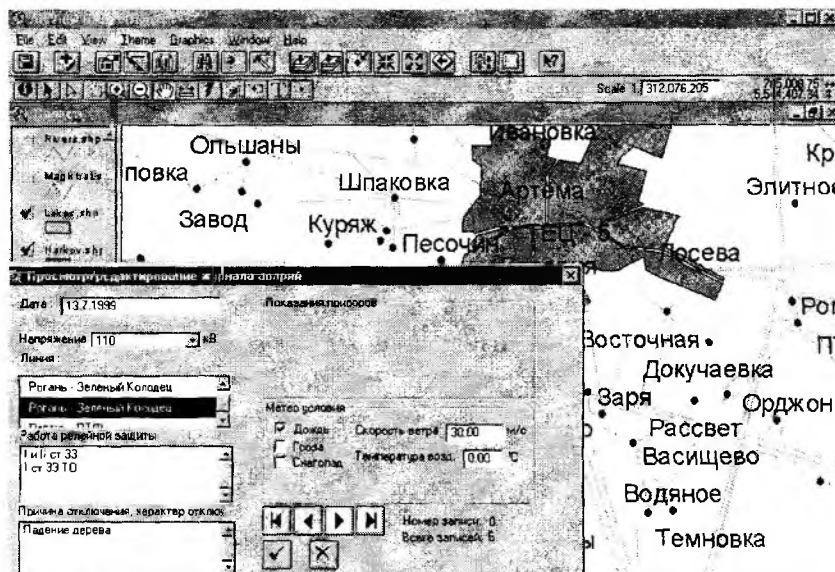


Рис. 2.

обоснованное манипулирование материальными ресурсами региона. ГИС позволит моделировать и прогнозировать чрезвычайные ситуации в регионе и принимать верные управленческие решения.

В настоящее время многим предприятиям, связанным с инженерными коммуникациями, ГИСППР необходима как решение, нацеленное на перестройку трех основных процессов: строительство, управление коммуникациями, эксплуатация сетей. ГИСППР-технология, специализированная для электроэнергетики, необходима не только для работы непосредственно с коммуникациями, но и для управления работами по распределенному строительству электрических сетей, учету и прогнозу электропотребления, прогнозированию отключений, оптимизации плановых и веерных отключений, предсказанию обычных отказов и недопущению системных аварий. Действия органов государственной и местной власти, силовых структур, аварийных служб должны быть согласованы путем использования ГИС управления муниципальными территориями. При возникновении чрезвычайной ситуации ГИСППР поможет выработать оптимальный сценарий действий всех служб. Применение ГИС-системы управления территориями позволит выработать рекомендации по внесению изменений в массив нормативных документов как на региональном, так и на государственном уровнях (законы, ведомственные инструкции по действиям персонала в чрезвычайных ситуациях).

Мы находимся в разгаре эволюции, которая качественно изменит наши представления и возможности по отображению явлений реального мира. Понятия пространства и времени в геоинформационных системах, использующиеся в качестве взаимосвязей с характеристиками и свойствами объектов, с процессами и событиями на заданной территории, позволяют моделировать окружающий мир максимально правдоподобно. Применение же таких систем для поддержки принятия решений позволит выйти на качественно новый уровень управления сложными системами.

Список литературы: 1. *Тевяшев А.Д.* Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях в условиях неопределенности: Дисс. ... д-ра техн. наук. Х.: Харьковский институт инженеров коммунального строительства, 1984. 2. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с фр. М.: Мир, 1976. 165 с. 3. *Гуров С.В., Уткин Л.В.* Надежность систем при неполной информации. С.-Пб., 1999. 4. *Трахтенгерц Э.А.* Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. М.: СИНТЕГ, 1998. - 376 с.

Поступила в редколлегию 29.11.2000