

Д. В. ВОЙТИКОВ (НПФ систем автоматизации и управления «Винк», Днепропетровск)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ СХЕМЫ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены методы экспертных систем для автоматизации оперативного контроля состояния схемы контактной сети тягового электроснабжения железной дороги. Обозначены направления исследований по формированию структуры базы знаний.

Ключевые слова: экспертные системы, контактная сеть, электроснабжение.

Введение

В настоящее время на сети железных дорог Украины наиболее широко распространены и находятся в эксплуатации АРМы участковых энергодиспетчеров (АРМ-ЭЧЦ) системы ДИУС «ИРА» [5], разработанной научно-производственной фирмой систем автоматизации и управления «ВИНК» г. Днепропетровск (около 40 АРМ-ЭЧЦ).

Все функции участкового энергодиспетчера, кроме принятия решений практически полностью автоматизированы. Существующие АРМ-ЭЧЦ работают по следующей модели: энергодиспетчер принимает решение и выдает команды и задания, АРМ-ЭЧЦ в автоматизированном или автоматическом режиме выполняет команды и задания в условиях определенности, обеспечивая достаточный уровень безопасности [4]. Такая модель успешно работает в условиях определенности и плановых переключений, что позволяет обеспечить уровень автоматизации более 80%. Однако в аварийных, вынужденных режимах работы контактной сети тягового электроснабжения и в условиях неопределенности такая модель работает неэффективно или вообще не работает.

В настоящее время актуальной задачей автоматизации работы участкового энергодиспетчера является автоматизация принятия решений в аварийных, вынужденных режимах и в условиях неопределенности. Принимаемые энергодиспетчером решения в таких условиях могут быть ошибочными или далеки от оптимальных, могут повлечь за собой усугубление аварии, значительную задержку поездов, повреждение контактной сети или гибель оперативно-ремонтного персонала. Усугубляющими факторами в этих ситуациях является дефицит времени и возникающая у энергодиспетчера операционная или стрессовая напряженность

[4]. При этом, первоочередной задачей при принятии решений энергодиспетчером является оперативная оценка состояния схемы контактной сети и наличие питания на электрических секциях в зависимости от положения коммутируемых электрических связей.

Анализ оперативной работы энергодиспетчера и процесса оперативного управления [4] показывает, что поставленная задача может быть наиболее эффективно решена методами искусственного интеллекта. С помощью этих методов можно проверять, является переключение санкционированным или нет и контролировать правильность переключений в контактной сети.

Настоящая работа посвящена автоматизации процесса принятия решений в существующих АРМ-ЭЧЦ системы ДИУС «ИРА» [6] методами экспертных систем.

Целью данной работы является повышение эффективности и достоверности энергодиспетчерского контроля за состоянием схемы контактной сети.

Применение методов экспертных систем

Проведенный анализ существующих методов искусственного интеллекта показал, что наиболее эффективными и надежными для энергодиспетчерского управления являются методы экспертных систем [1][2]. Экспертные системы состоят из базы знаний и машины логического вывода. База знаний состоит из набора фактов и правил для их обработки. Машина логического вывода определяет, каким фактам соответствуют правила, располагает выполняемые правила по приоритетам и выполняет правило с наивысшим приоритетом. Наличие у экспертной системы базы знаний и машины логического вывода обеспечивают выполнение

следующих основных требований энергодиспетчерского управления:

- возможность определения правил в полном соответствии с правилами эксплуатации контактной сети и правилами техники безопасности;

- достоверность полученных заключений;
- полнота полученных заключений;
- наличие средств объяснения;
- близость к методам, используемым энергодиспетчером, основанным на знаниях, опыте и логическом выводе;

- масштабируемость предметной области;
- независимость от сложности схемы контактной сети тягового электроснабжения;
- достаточно высокое быстродействие.

База знаний экспертной системы хранится отдельно от всего комплекса программ АРМа

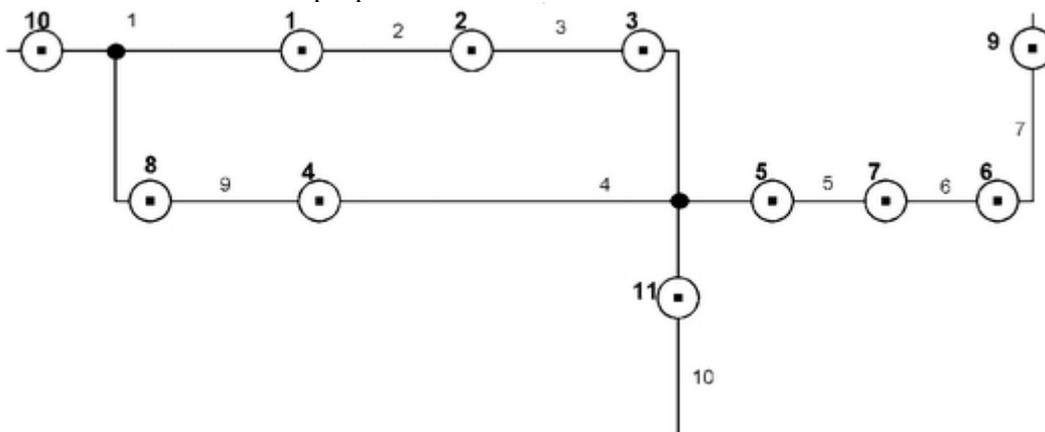


Рис. 1. Графическая модель фрагмента схемы контактной сети

Для формализации схем контактной сети и формирования базы знаний проведен общий анализ схем на пяти участках электроснабжения с крупными узловыми станциями (на Приднепровской и Южной железных дорогах). Редактор схем АРМа ЭЧЦ был доработан для обеспечения автоматической разбивки схем на секции. Идентифицированы и классифицированы основные известные элементы схемы контактной сети:

- секции;
- коммутационные электрические связи КЭС (автоматы, разъединители, выключатели, снимаемые шунты);
- электрифицированные железнодорожные пути;
- изоляторы;
- воздушные промежутки;
- стрелки и съезды.

Для секций и коммутационных электрических связей сформированы структуры представления в базе знаний экспертной системы.

ЭЧЦ. Наполненная и проверенная база знаний может тиражироваться на другие энергодиспетчерские участки электроснабжения.

Предметная область экспертной системы и исходные данные

Источником информации для формирования базы знаний экспертной системы в рамках решаемой задачи является схема контактной сети тягового электроснабжения. АРМ ЭЧЦ использует схему, подготовленную в редакторе, который входит в состав АРМа. Схема представляет собой набор известных фрагментов – графических представлений элементов контактной сети.

На рис. 1 представлена графическая модель фрагмента схемы контактной сети.

Анализ схем показал, что каждая такая схема АРМ ЭЧЦ содержит порядка 300...1000 разъединителей и 240...700 электрических секций. Чтобы сократить количество ошибок при вводе схемы, в графическом редакторе АРМ ЭЧЦ были разработаны дополнительные функции для анализа схемы и выявления возможных графических и логических ошибок и неточностей.

Взаимодействие АРМа ЭЧЦ с экспертной системой

Одним из требований к экспертной системе энергодиспетчера является минимизация диалога с человеком. Для этого экспертная система должна максимально получать оперативную информацию от АРМа ЭЧЦ. Это одна из важных отличительных особенностей экспертной системы энергодиспетчера. АРМ автоматически получает сигнализацию от средств телемеханики и передает в экспертную систему изменившуюся информацию.

Диалог диспетчера с экспертной системой также ведется через АРМ ЭЦЦ. Энергодиспетчер дает приказы АРМу на включение, отключение, блокировку на переключение разъединителей. Вся информация, произведенная в результате таких действий, поступает в базу знаний экспертной системы. В дальнейшем разрабатываемая экспертная система, на основании полученных фактов, будет формировать заключение о допустимости или недопустимости действий энергодиспетчера. Заключение экспертной системы основывается на анализе всей схемы контактной сети, что гарантирует достоверность заключения. Благодаря такому контролю со стороны экспертной системы, энергодиспетчер получит информацию о возможных последствиях ошибочного действия и может отказаться от утверждения команды.

Обмен данными между АРМом ЭЦЦ и экспертной системой осуществляется через файл.

Формирование базы знаний

Для создания базы знаний выбран язык CLIPS, разработанный в Космическом центре NASA. При разработке этого языка ставилась задача обеспечить полную переносимость и простую интеграцию с внешними системами [1]. Эти требования и стали ключевыми при выборе инструментария для стыковки с АРМом ЭЦЦ. В комплект CLIPS входит динамически подключаемая библиотека, которая была использована для стыковки АРМа ЭЦЦ с экспертной системой.

В рамках разработки структуры базы знаний проводились исследования влияния структуры базы знаний на достоверность заключений. Исследования показали, что база знаний чувствительна к выбору структуры и требует понимания происходящих внутри процессов от инженера по знаниям. Кроме того способ описания правил на языке CLIPS может сильно повлиять на производительность системы и на объем использования оперативной памяти.

Анализ показал, что язык CLIPS [1] предоставляет несколько способов по формированию структуры базы знаний:

- простые правила с заранее определенными приоритетами;
- правила с дополнительными условиями, исключающими конфликты между правилами;
- правила, описанные с учетом выбранной стратегии разрешения конфликтов;
- группировка правил в модули и управление последовательностью выполнения правил,

используя специальные механизмы языка CLIPS.

Проведенные экспериментальные исследования влияния структуры базы знаний на достоверность заключения показали, что достоверность заключения зависит от порядка выполнения правил машиной логического вывода. На этот порядок можно повлиять путем установки приоритет правил, выбором стратегии разрешения конфликтов, устранение конфликтов с помощью дополнительных условий и группировкой правил в модули. Проведенные исследования выявили следующие особенности:

1) простые правила с заранее определенными приоритетами удобно применять в простых экспертных системах, в которых основными требованиями выступают быстроедействие и простота. Приоритеты правил в такой структуре делают базу знаний похожей на программу на алгоритмическом языке, где указывается порядок, в котором должны выполняться правила;

2) правила с дополнительными условиями, исключающими конфликты и определяющие порядок выполнения правил, удобно применять в системах с небольшим их количеством. Основное условие определяет, в каком случае сработает правило, а дополнительные условия определяют приоритет по отношению к другим правилам;

3) правила, описанные с учетом выбранной стратегии разрешения конфликтов, подходят для систем с очень малым количеством правил, сложны в разработке и требуют тщательной проверки после завершения разработки. Как показали исследования, применяя этот способ, есть большая вероятность совершить ошибку;

4) группировка правил в модули позволяет создавать сложные экспертные системы с большим количеством правил. Этот подход позволяет выделять правила по их назначению, например, одна группа правил определяет разрыв в цепи питания и составляет список отключившихся секций, другая группа следит за включением разъединителей и составляет список включившихся секций. Внутри модуля правила также могут конфликтовать между собой, поэтому нужно применять один из трех вышеперечисленных способов разрешения конфликтов или их комбинацию. Данный подход требует от инженера по знаниям определения порядка запуска правил, а появившиеся новые знания требуют пересмотра этого порядка.

Проведение испытаний

Проведены испытания производительности работы экспертной системы на реальных схе-

мах контактной сети. Испытания проводились на компьютере с процессором Intel® Core 2 Duo 2.2 ГГц. и 1 Гб ОЗУ. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Время обработки схем

Количество разъединителей	Количество секций	Состояние разъединителей		Время обработки, с			
		Отк.	Вкл.	Загрузка	Обработка	Поиск отключенных секций	Всего
531	537	54	477	0,031	0,063	0,062	0,156
528	418	70	458	0,031	0,078	0,031	0,140
367	239	31	336	0,016	0,062	0,031	0,109
1 066	705	178	888	0,031	0,156	0,078	0,265
341	239	48	293	0,015	0,141	0,015	0,171

Система показала достаточное для решения поставленной задачи быстродействие.

Были проведены испытания системы при использовании механизма объяснения логического вывода. Исследования показали, что включение этого механизма существенно замедляет работу на этапе инициализации. Для проведения испытаний каждому правилу было назначено по две строки объяснений. На выполнение самой большой схемы ушло 3,3 секунды. Был сформирован файл отчета размером 1,2 Мб, содержащий 17822 строки. В штатном режиме, после загрузки будут выполняться только те правила, под условия которых подпадают изменившиеся факты, поэтому время, затраченное на запись объяснений, будет заметно меньше.

Пригодность базы знаний экспертной системы во многом зависит от знаний эксперта предметной области и правильной интерпретации знаний инженером по знаниям. Иногда различные эксперты расходятся во мнениях по поводу правильности того или иного способа действий. Реализовав знания одного из них, инженер по знаниям рискует получить недоверие к экспертной системе со стороны другого эксперта. Это следует учитывать при проектировании базы знаний и работать с группой экспертов при применении экспертных методов в энергодиспетчерском управлении.

Важным аспектом успешной эксплуатации экспертной системы является возможность ее обучения. Проблема состоит в том, чтобы формализовать знания, т.е. перевести знания на язык описания базы знаний. На текущий момент это может только инженер по знаниям. Чтобы добавить новое правило, инженер должен тщательно изучить взаимодействие новых

правил с уже существующими правилами в базе знаний. На сегодняшний день для поставленной задачи еще не разработаны средства, позволяющие удобно наполнять базу знаний без учета ее структуры. Кроме того, из проведенных исследований стало очевидно, что способ формирования базы знаний значительно влияет на сложность обучения экспертной системы.

Выводы

1. Применение методов экспертной системы совместно с АРМом энергодиспетчера повышают эффективность управления тяговым электроснабжением контактной сети, так как ЭС может быстро проанализировать состояние схемы контактной сети и сообщить энергодиспетчеру об обнаруженных нарушениях.
2. Экспертная система нуждается в дальнейшем развитии для реализации контроля над действиями диспетчера с целью предотвратить его ошибочные действия.
3. Достоверность заключения экспертной системы зависит от порядка выполнения правил. На этот порядок можно повлиять путем установки приоритетов, используя стратегии разрешения конфликтов и группируя правила в модули.
4. Развитие экспертной системы во многом зависит от выбора структуры базы знаний, что требует дальнейших исследований в этой области.
5. Для экспертной системы, применяемой в области управления тяговым электроснабжением, важным аспектом является ее обучение. Дальнейшие исследования

должны быть направлены на поиск эффективных способов обучения экспертной системы.

6. Методы экспертной системы позволяют делать достоверное заключение за приемлемо короткий промежуток времени, даже при очень больших и сложных схемах контактной сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джарратано, Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование [Текст] / Д. Джарратано, Г. Райли : пер. с англ. – М. : изд. дом «Вильямс», 2006. – 1152 с.

2. Джексон П. Введение в экспертные системы Introduction to Expert Systems [Текст] / П. Джексон. – 3-е изд. – М. : изд. дом «Вильямс, 2001. – С. 624. – ISBN 0-201-87686-8.

3. Субботін, С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень [Текст] : навчальний посібник / С. О. Субботін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2008. – 341 с. – ISBN 978-966-7809-87-4

4. Иванов, В. В. Оперативное управление участком энергоснабжения электрифицированных железных дорог [Текст] / В. В. Иванов, Е. Е. Бакеев. - М. : Транспорт, 1986. – 132 с.

5. Иванов, В. В. Многоуровневая интегрированная система энергодиспетчерского управления и телеконтроля тяговым электроснабжением железной дороги [Текст] / В. В. Иванов // Сб. тр. 7th International scientific conference of railway experts. Югославия. 4-6 октября 2000. – С. 94-97.

6. Иванов, В. В. Создание и результаты внедрения энергодиспетчерской многоуровневой информационно-управляющей системы нового поколения с применением современных информационных и компьютерных технологий [Текст] / В. В. Иванов // 67 международ. науч.-практ. конференция «Проблемы и перспективы развития ж.-д. транспорта». – Д., 2007. – С. 109.

7. Шикин, Е. В. Компьютерная графика, полигональные модели [Текст] / Е. В. Шикин, А. В. Борсков. – М. : Диалог МИФИ, 2000. – 461 с. ISBN 5-86404-139-4

Поступила в редколлегию 02.09.2011.

Принята к печати 08.09.2011.

Д. В. ВОЙТИКОВ

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ СХЕМИ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦІ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

Розглянуто методи експертних систем для автоматизації оперативного контролю стану схеми контактної мережі тягового електропостачання залізниці. Позначені напрямки досліджень по формуванню структури бази знань.

Ключові слова: експертні системи, контактна мережа, електропостачання.

D. V. VOYTIKOV

AUTOMATION OF OPERATIVE CONTROL OF THE STATE OF CHART OF CONTACT NETWORK OF HAULING ELEKTROSNABZHENIYA OF RAILWAY ON BASIS OF METHODS OF CONSULTING MODELS

It is considered the methods of expert systems for automation of the operative control of a condition of the scheme of a contact network of traction electrosupply of the railway. It is designated the directions of researches on formation of structure of the knowledge base.

Keywords: expert systems, contact network, electrosupply.