

СОВЕТЧИК ДИСПЕТЧЕРА ПО ЛИКВИДАЦИИ ПЕРЕГРУЗОК В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

**М.Я. КУНО, А.Н. КОНДРАТЬЕВ ООО (“НПЦ Приоритет”),
Ю.И. ЧАЛИСОВ, А.В. МАЛЫШЕВ (ЭНИН им. Кржижановского),
Р.Б. МОРОЗОВИЧ, В.А. СУЛИМОВ (ВНИИЖТ)**

Единое оперативно-диспетчерское управление ЕЭС России обеспечивает надёжное, экономичное и качественное электроснабжение потребителей страны при наиболее эффективном использовании энергоресурсов. ЕЭС России – крупнейшее в мире централизованно управляемое энергетическое объединение.

Являясь высшим органом оперативно-диспетчерского управления, ЦДУ совместно с ОДУ и диспетчерскими службами РДУ обеспечивает в рамках ЕЭС России *долгосрочное планирование режимов (на месяц, год), краткосрочное планирование режимов (на сутки, неделю), оперативное управление* текущими режимами и аварийными режимами по ходу технологических процессов.

Дежурные диспетчеры следят за соблюдением режима и соответствием его заданным планам-графикам и осуществляют их оперативную корректировку при изменении условий работы энергосистем, принимают решения о приёме заявок на вывод из работы, включение в работу основного оборудования электростанций и электрических сетей, руководят также работой по восстановлению нормального режима энергосистем. Главная задача диспетчера – не допустить, чтобы локальные аварийные процессы переросли в системные аварии.

Для обеспечения выполнения диспетчерами сложных задач по управлению энергосистемой созданы и разрабатываются прикладные программы для планирования, оперативного управления, моделирования, оптимизации в режиме реального времени, а также *Советчики диспетчера* с использованием средств искусственного интеллекта.

Советчик диспетчера – программный комплекс, который должен обеспечить диспетчера советом по действиям в ситуациях, для разрешения которых он (СД) был создан за время, определяемое возможностью реализации совета.

Функции “Советчиков диспетчера” должны различаться для каждой диспетчерской службы – РДУ, ЦДУ, ОДУ и других, по крайней мере, из-за различия объектов управления и, соответственно, задач управления. Более того, может оказаться необходимым иметь несколько Советчиков диспетчера в одной диспетчерской службе (например, Советчик по экономичному ведению режима, Советчик по оптимальным переключениям, Советчик диспетчера по ликвидации перегрузок и др.).

НПЦ “Приоритет” разработал программный комплекс “Советчик Диспетчера по ликвидации перегрузок” (далее ПК-СД), основной задачей которого является автоматическая выработка советов за определённое пользователем время по ликвидации перегрузок в оборудовании энергосистемы без отключения нагрузок.

Комплекс программ ПК-СД был создан по инициативе ЦДП ОАО “Мосэнерго” и поставлен в Диспетчерскую службу и в службу Режимов в конце 90-х годов.

При ликвидации перегрузок дежурный диспетчер может воспользоваться готовыми инструкциями или будет действовать согласно своему опыту. Режимы и схема сети в каждом конкретном случае могут отличаться от тех режимов и схем, для которых вырабатывались инструкции или на которых обосновывался опыт. При возникновении режимов с перегрузками диспетчер мог бы взять из архива любой “прошлый” режим в качестве основы и попробовать использовать инструкции, которые были рекомендованы в “архивном” режиме для снятия перегрузки. Вероятность того, что

в результате подобных действий будет восстановлен нормальный режим, мала из-за отличия существующего режима и топологии сети от выбранных для сравнения. Вместе с тем, стоимость ошибки, обусловленной принятием персоналом непроверенного решения, может оказаться высока. Поэтому важно иметь *недорогую* систему, способную проверить адекватность предполагаемых действий и при необходимости быстро дать “совет”. Что касается проверки, то благодаря быстроедействию современной вычислительной техники и развитых средств расчета и анализа режима энергосистемы проблемы в известной степени отсутствуют.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При автоматической или автоматизированной выработке способов снятия перегрузок в элементах энергосистемы требуется затратить минимально возможное время на поиск совета вместе с его проверкой, чтобы иметь достаточно времени для его технической реализации. Желательно получить экономически приемлемые советы: т.е. не должны отключаться потребители. Необходимо заметить, что работу по выработке советов имеет смысл начинать, когда схема энергосистемы уже не изменяется (т.е. все коммутации, обусловленные работой защиты и автоматики, уже завершены).

ПК-СД работает с актуальной схемой, используя логический блок при наличии перегрузок. Это позволяет за заданное пользователем время выработать варианты действий по ликвидации перегрузок, проверить их и отсортировать по критериям, выбранным потребителем. Основная идея поиска действий, снимающих перегрузку в некоторой ветви, заключается в технологии “прилить-отлить”, по которой снятие перегрузки можно обеспечить путем уменьшения потока мощности в том узле ЛЭП, куда поток входит – “отлить”, или путем уменьшения потока мощности в узле, из которого поток выходит “прилить”. Способом изменения соответствующих потоков могут быть все доступные оперативному персоналу средства (коммутация, перефиксация, изменение генерации и др.). Реализацией этой простой идеи является программный комплекс ПК-СД. Автоматическая выработка советов программным комплексом типа ПК-СД основана на быстром расчёте режима энергосистемы при изменениях генерации, нагрузки и топологии электрической сети, вырабатываемых логическим блоком.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

ПК-СД использует файл описания энергосистемы в формате ЦДУ (RR-файл) и/или данные ТИ-ТС, обработанные программой актуализации режима. После запуска программы расчета установившегося режима результаты анализируются на предмет поиска перегруженных ветвей. Если таковые находятся, то становится активной возможность подключения модуля “Эксперт” для поиска действий по ликвидации найденных перегрузок.

Возможны различные варианты выработки необходимых действий по ликвидации перегрузок:

- *автоматический* – когда запускается модуль “ЭКСПЕРТ”;
- *комбинированный* – когда часть действий производится пользователем, а другую определяет “ЭКСПЕРТ”;
- *ручной поиск* – когда поиск действий по ликвидации перегрузок производится пользователем.

До запуска модуля “ЭКСПЕРТ” возможны внесения изменений в топологию схемы и в данные (например, изменение генерации, нагрузки, параметров токовых ограничений, параметров ЛЭП и т.д.) вручную.

Модуль “ЭКСПЕРТ” использует следующие инструменты для решения задачи – поиска возможных способов ликвидации перегрузки:

- изменение генерации активной мощности;
- коммутацию ветвей, включая перефиксацию.

НАСТРОЙКА МОДУЛЯ “ЭКСПЕРТ”

Модуль имеет свои настройки, которые могут быть изменены перед запуском:

- Время поиска решения.
- Точность поиска. Опыт работы с ПК-СД показал, что перегрузка в несколько процентов от заданной пропускной способности элемента энергосистемы может оказаться приемлемой, тем более, что сама пропускная способность зависит от многих факторов (температуры, погоды, окружающих условий и т.д.) и определяется не очень точно.
- Выбор инструментов поиска, (приоритет используемых инструментов определяет порядок выдачи советов по ликвидации перегрузки).
- Настройки пределов изменения генерации.

- Возможность подключения некоторых сервисных программ, например: расчёт токов трёхфазных коротких замыканий и сопоставление их с разрывной способностью выключателей, программы разгрузки при отсутствии решений и т.д.
- Возможность включения сортировки решений по критериям, заданным пользователем (по количеству действий, снимающих перегрузку, по величине изменения генерации, по возрастанию превышения допустимой величины трёхфазного ТКЗ, по количеству независимых привязок выбранных пользователем узлов к системообразующему напряжению и т.п.).

Поиск действий, снимающих перегрузку, прекращается если:

- Найдено *решение задачи*, т.е. перечень действий, при выполнении которых перегрузка снижается ниже заданной (поле “Точность” в настройках “Эксперт”-а).
- *Нет решений*, т.е. могут быть найдены только улучшающие решения – действия, уменьшающие перегрузки (при этом отбрасываются действия, переносящие перегрузки на другое оборудование энергосистемы).
- *Истекло время для поиска*. При этом *решение задачи* может быть найдено, не найдено, или найдены *улучшающие решения*.

Вариант, когда модуль “Эксперт” не находит решения, не должен удивлять. Легко представить себе консоль с нагрузкой, превышающей пропускную способность питающей ЛЭП.

Найденные *решения* можно просматривать и либо принять одно из них, либо отказаться от всех и перейти в настройки, изменить параметры настройки и снова запустить модуль “Эксперт”. Если имеются *улучшающие решения* (это означает, что решений за заданное время не найдено), то их можно тоже просмотреть, принять одно из них и снова запустить модуль “Эксперт”, предварительно изменив параметры настройки, если это требуется. В таких случаях могут быть найдены решения с большим количеством действий, необходимых для снятия перегрузок.

При большом количестве перегрузок сначала происходит разбиение всех перегруженных ветвей на взаимонезависимые группы (в пределах заданной точности в настройке “Эксперт”-а). Модуль “Эксперт” применяется к каждой группе при отключённых перегруженных ветвях других групп. *Решением* всей задачи является суперпозиция *решений* для каждой группы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПК-СД ПРИ РАССМОТРЕНИИ ЗАЯВОК НА ВЫВОД ОБОРУДОВАНИЯ В РЕМОНТ

При рассмотрении заявок на вывод оборудования в ремонт, как правило, нет ограничений по времени поиска решений и, поэтому можно из множества предлагаемых решений выбрать решение, обеспечивающее выполнение выбираемых пользователем критериев качества режима (например, надежности, минимума потерь и т.п.). Например, в ОАО “Мосэнерго” в качестве одного из критериев надежности было предложено использовать количество привязок выбранных заранее узлов к системообразующему напряжению (некоторый эквивалент критерия N-1). Кроме этого, обычно есть несколько заявок, связанных с переключениями или отключением различного оборудования. Если рассматривать каждую заявку отдельно, то возможна ситуация, когда изменения в схеме, предложенные ПК-СД, связанные с выполнением одной отдельной заявки, могут противоречить выполнению другой. Такие заявки необходимо разносить по времени. С помощью ПК-СД можно рассматривать варианты с выполнением нескольких заявок и получать советы, в которых снимаются возможные противоречия и выполняются все требуемые ограничения. Советы могут быть отсортированы по заданным критериям, определенными пользователем. При работе с заявками может оказаться полезным интерактивный графический интерфейс. Создать такой интерфейс можно с помощью разработанного в НПЦ “Приоритет” специализированного графического редактора, позволяющего создавать и корректировать схемы станций и подстанций, а также схему энергосистемы. При этом на схемах могут отображаться данные ТИ-ТС или результаты расчетов.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПК-СД С СИСТЕМОЙ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Упрощённая схема взаимодействия диспетчерского управления с ПК-СД представлена на рис. 1.

ПК-СД легко встраивается в существующую систему диспетчерского управления. Динамическая библиотека SD.dll предоставляет функции для взаимодействия оперативного персонала (клиента) с экспертной системой и самой экспертной системой. Также в состав

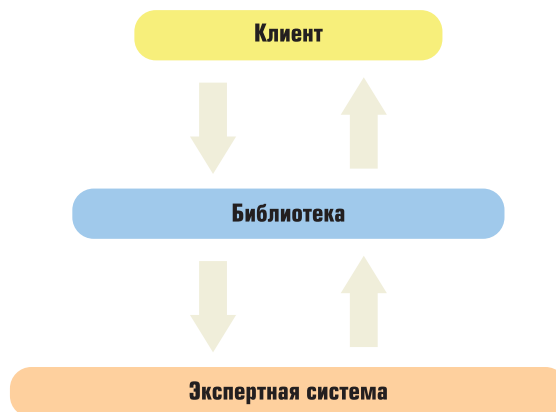
комплекса включено тестовое приложение SDTest.exe для проверки и тестирования работоспособности комплекса. С поставляемой библиотекой должно взаимодействовать клиентское приложение.

Клиентское приложение загружает библиотеку, подготавливает все необходимые данные, после чего вызывает функцию поиска решений библиотеки, передавая ей подготовленные данные и параметры, управляющие поиском решений. В библиотеке функция проверяет поступившие данные, после чего инициализирует и запускает экспертную систему. Время работы, а также методы поиска, задаются клиентским приложением через параметры, упомянутые выше. По истечении времени, отведённого на поиск, экспертная система завершает свою работу.

Результатом её работы могут быть: советы, снимающие перегрузку, советы, уменьшающие перегрузку, отсутствие решений. Найденные решения сохраняются и передаются клиентскому приложению, после чего экспертная система деинициализируется и функция завершает свою работу. Взаимодействие ПК-СД с комплексом СК-3000 было осуществлено в Московском РДУ. В 2008 году ПК-СД был внедрён в Московском РДУ под именем СППРОП (СД) – Система Поддержки Принятия Решений Оперативным Персоналом.

Вывод

Программный комплекс ПК-СД может существенно облегчить работу как дежурных диспетчеров, так и персонала, рассматривающего заявки на вывод оборудования в ремонт, по поддержанию энергосистемы в режиме наивысшей готовности и, что самое главное – исключить возможность совершения персоналом неумышленных действий, наносящих ущерб энергосистеме. Он позволяет оперативному персоналу принимать обоснованные



▲ Рис. 1. Упрощённая схема взаимодействия диспетчерского управления с ПК-СД

расчётом решения по ликвидации перегрузок и моделировать работу системы при расследовании возникновения нежелательных режимов её работы.

В заключение авторы приносят глубокую благодарность начальнику службы режимов ОАО “Мосэнерго” Павликову Владимиру Степановичу, начальнику ЦДС ОАО “Мосэнерго” Савинову Виктору Николаевичу и инженеру службы режимов ОАО “Мосэнерго” Гусеву Евгению Андреевичу, без руководства и помощи которых эта работа не была бы выполнена.

Список литературы

1. Программный комплекс “Советчик Диспетчера энергосистемы” (СД) – Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2002610226.
2. Куно М.Я. Доклад “Применение искусственного интеллекта для ликвидации перегрузок в электрических сетях” – VIII Международная научно-техническая конференция “Интеллектуальная электроэнергетика. автоматика и высоковольтное коммутационное оборудование”.

*Куно Михаил Яковлевич – зам. директора,
Кондратьев Андрей Николаевич – ведущий инженер
ООО “НПЦ Приоритет”,*

*Чалисов Юрий Иосифович – с.н.с.,
Мальшев Анатолий Викторович – ведущий инженер
ЭНИИ им. Кржижановского*

*Морозович Борис Рувимович – зав. лабораторией,
Сулимов Валерий Александрович – ведущий технолог
ВНИИЖТ.*