

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ ИЗРАИЛЯ

Ф.Д. Гольденберг

Введение. Энергосистема государства Израиль представляет собой изолированную систему. На сегодняшний день она является практически монополией в своей отрасли (на долю других производителей приходится менее процента общего производства электроэнергии). Вопрос о приватизации компании обсуждается и приватизация возможна в ближайшие три-четыре года со всеми вытекающими отсюда проблемами рынка производства, передачи и распределения электроэнергии.

Энергосистема находится в процессе продолжающегося развития: средний за последние десять лет прирост годового максимума нагрузки составляет около 8% , прирост годового потребления – около 6%. В 2002 г. годовой максимум приблизился к 9 ГВт, выработка составила 45млрд. кВт.ч при установленной мощности системы порядка 10 ГВт.

Израиль относится к странам с высоким уровнем электропотребления (около 6000 кВт.ч в год на душу населения) с преобладанием в структуре потребления коммунально-бытового сектора (до 70%).

К основным особенностям энергосистемы страны, кроме ее изолированности, относятся:

- высокий уровень непромышленного электропотребления (до 70%) и, как следствие, высокая неравномерность суточных графиков нагрузок (0,5 – зимой и 0,6 – летом);
- наличие практически равных зимних и летних максимумов, в связи с чем имеет место определенная сложность планирования планово-предупредительных ремонтов оборудования;
- зависимость нагрузки от погоды: в наиболее жаркие/холодные дни изменение температуры на 1° С приводит к изменениям суточных максимумов до 5%, что обуславливает определенные трудности прогноза суточных графиков даже в пределах текущих суток;
- по причине преобладания бытового потребления имеет место высокая скорость изменения потребления в часы утреннего и вечернего подъемов нагрузок и вечернего снижения нагрузок (до 20% суточного максимума в час), порождая проблемы управления частотой и мощностью;
- высокая концентрация потребления – установленная мощность трансформаторов на отдельных подстанциях превышает 200 МВА .

Отмеченные особенности, а также некоторые политические и экономические факторы определили пути развития и управления энергосистемой.

1. Структура системы

Источниками электроэнергии системы являются электростанции традиционного типа на угле и мазуте с агрегатами 75-575 МВт (суммарная мощность крупных агрегатов составляет около трети мощности системы), газотурбинные (топливо – соляр) мощностью 20-160 МВт и комбинированные (газо-паровые) установки (ГПУ) по схеме две газовые турбины – одна паровая и одна газовая турбина – одна паровая с суммарной мощностью каждой ГПУ 370 МВт. ГТУ и ГПУ выполняют функции пиковых и полупиковых агрегатов (их доля в суммарной генерации превышает 30%).

Предполагаемая в ближайшие годы замена жидкого топлива на газ изменит положение ГПУ в суточном графике покрытия нагрузок как по причине более низкой стоимости 1 кВт.ч, производимого ГПУ, по сравнению с агрегатами малой мощности электростанций, так и по условиям контрактов на поставку газа.

Управление пуском/остановом, а также мощностью ГТУ и ГПУ дистанционное, диспетчером системы. Для крупных ГТУ и ГПУ это управление реализуется посредством центрального компьютера установки. По условиям режимов работы системы потребность в ГТУ и/или ГПУ практически ежедневная.

Основные сети системы двух классов напряжений: 400 и 160 кВ, линии 400 кВ – воздушные, линии 160 кВ – как воздушные, так и кабельные (в районах больших городов). Связь сетей 400 и 160 кВ осуществляется посредством автотрансформаторов, оснащенных устройствами РПН, используемых диспетчером системы для управления режимом напряжений и реактивной мощности. Распределительные сети классов напряжений 33, 24 и 13 кВ состоят из воздушных и кабельных линий.

Все подстанции системы, включая подстанции 400/160 кВ, дистанционного управления (персонал для выполнения пуско-наладочных и ремонтных работ централизован). Трансформаторы оснащены устройствами РПН, постоянно работающими в автоматическом режиме поддержания заданных уровней напряжений.

На низкой стороне практически всех трансформаторов установлены батареи конденсаторов, часть из которых оснащены местной автоматикой включения / отключения по заданным критериям (величина реактивной мощности трансформатора, напряжение и др.). В системе используются также батареи конденсаторов на напряжении 160 кВ.

2. Технология и средства диспетчерского управления системой

2.1. Управление нормальными режимами.

С 2000 г. основой диспетчерского управления энергосистемой Израиля является система EMS (Energy Management System) разработки компании Сименс (США).

Система построена на компьютерах типа IBM RISC/6000 под операционной системой UNIX. Основой ее являются мощная база данных реального времени SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) и комплекс обслуживающих программ обработки поступающей информации, управления объектами системы, контроля исполнения команд управления, анализа состояния системы, ее визуализации, хранения всей поступающей информации и результатов обработки.

Весь комплекс средств EMS может быть представлен следующими основными элементами (рис.1):

- средства сбора/приема/передачи информации на объектах системы RTU (Remote Terminal Units);
- SCADA;
- средства и устройства отображения состояния системы, средства управления объектами, составляющие основу рабочего места диспетчера;
- комплекс средств анализа состояния системы NA (Network Applications), являющихся советчиком диспетчера;
- комплекс средств управления частотой и мощностью PA (Power Applications), работающих как советчик диспетчера и в режиме управления объектами;
- комплекс средств текущего планирования режимов SA (Scheduling Applications), включающий в себя среди других программы прогноза графиков нагрузок и выбора состава работающих агрегатов;
- комплекс средств системной автоматики нормальных и аварийных режимов (не показан на рис.1).

Важнейшей концепцией построения системы диспетчерского управления, позволяющей снизить или даже переместить на другой, более низкий уровень сложности такие основополагающие задачи управления, как надежность, экономичность и безопасность, является как минимум – полнота и как норма – избыточность информации о системе в реальном времени. В системе Израиля подобная концепция реализуется возмож-

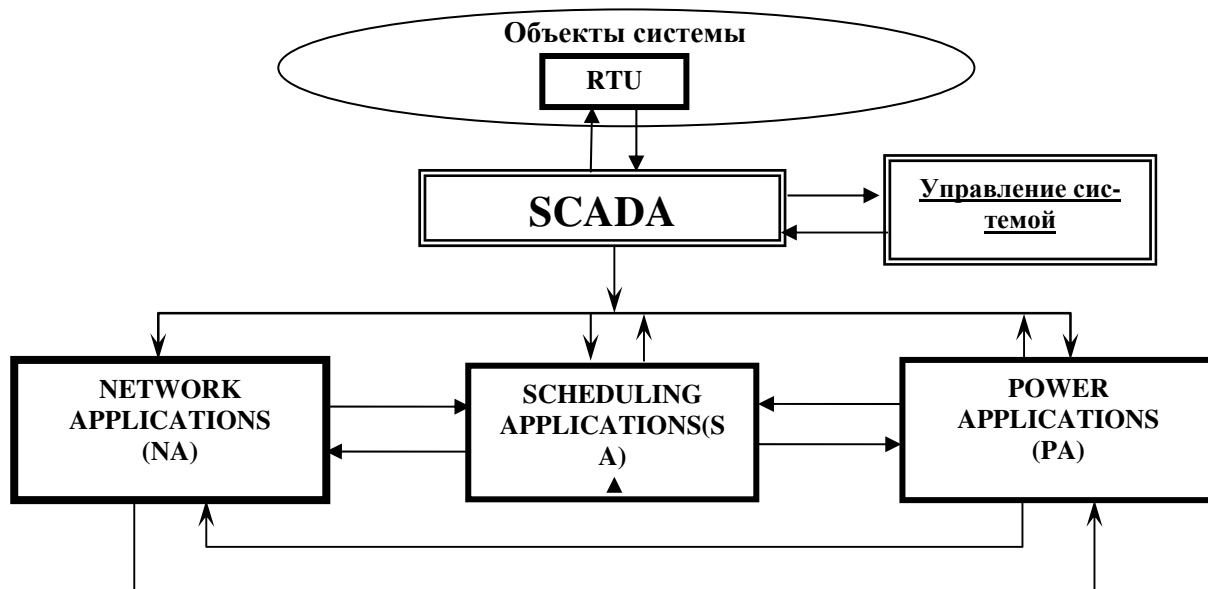


Рис. 1. Основные элементы системы EMS.

ностью получения системой SCADA до 100 тыс. единиц информации типа состояний (индикаций) и до 50 тыс. измерений.

Индикации включают положения всех коммутационных аппаратов до уровня линий, отходящих от шин низкого напряжения подстанций; изменения состояний пусковых и выходных органов всех защит и устройств автоматики; положения отпаек устройств РПН трансформаторов; сообщения о нарушениях (близости к пределам) некоторых параметров эксплуатации оборудования (токов, напряжений, реактивных мощностей генераторов в соответствии с их P-Q характеристиками; температур и др.), наличие персонала на необслуживаемых объектах и др.

Измерения поступают со всех элементов системы и представлены в SCADA и на схемах токами, напряжениями, активными и реактивными мощностями, а также метеопараметрами (измерения и прогноз) для некоторых районов страны. Работа всех систем сбора и обработки информации синхронизирована по времени за счет подключения соответствующих устройств к системам GPS.

Основным программным средством, обеспечивающим возможность анализа состояния системы, является программа оценки состояний SE, входящая в состав комплекса программ NA (рис. 2). SE работает с заданной периодичностью (2 мин.) и/или по факту изменения топологии системы (состояния коммутационных аппаратов). Результаты работы SE являются исходной информацией для всех других средств анализа режимов, централизованной автоматики и представлены на схемах сети и ее объектах вместе с реальными измерениями. Высокая степень избыточности индикаций и измерений, достаточно высокая надежность работы средств RTU и каналов связи (для передачи информации используются ВЧ каналы линий электропередачи, телефонные и оптоэлектронные линии связи, радиоканалы) обеспечивают высокую степень надежности и достоверности работы SE. Результаты работы SE, являющиеся «снимком» (SNAPSHOT) системы, хранятся и позволяют при необходимости выполнить анализ любого прошлого режима.

Все остальные средства NA в реальном времени (с периодичностью работы SE) позволяют:

- контролировать уровни токов всех видов коротких замыканий (SCC);
- оптимизировать режим системы по реактивной мощности (VS);

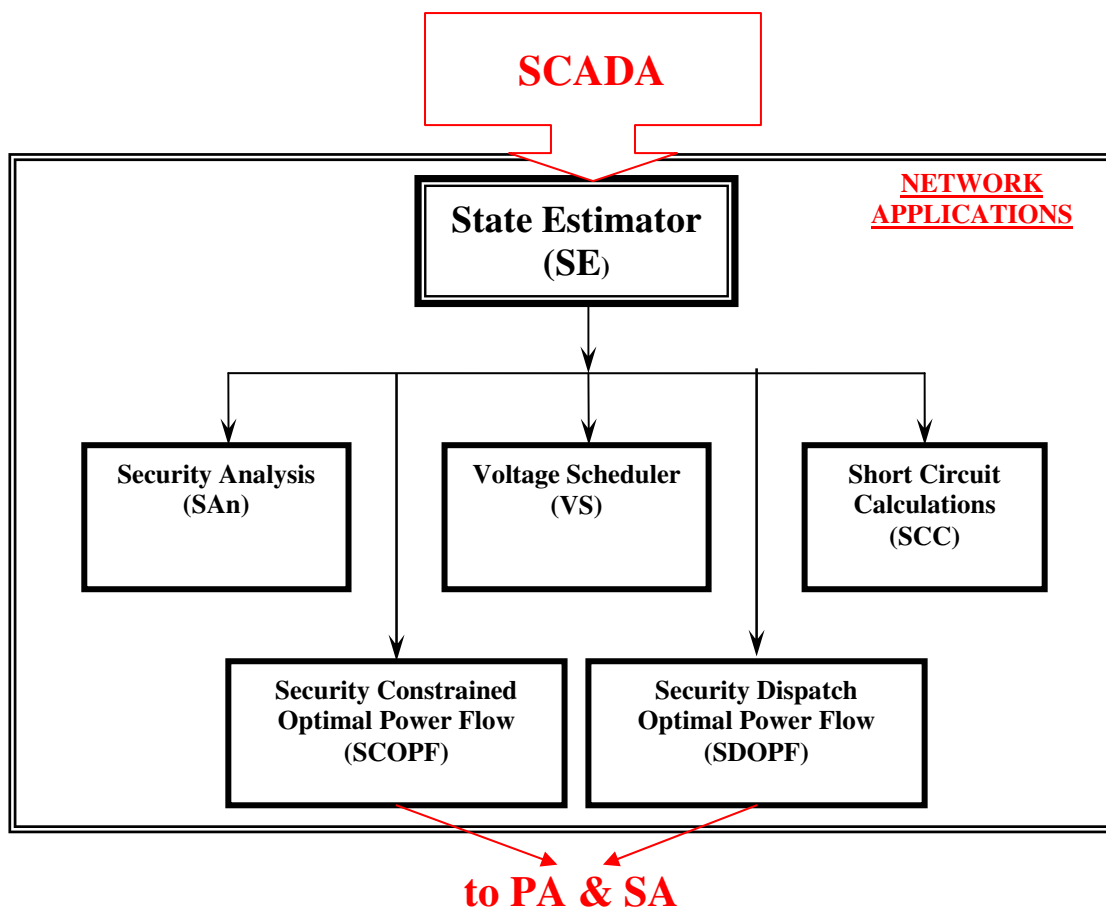


Рис. 2. Структура комплекса анализа режимов в реальном времени.

- анализировать результаты возможных аварий (SAn) – списки аварий (отключений линий, трансформаторов связи) предварительно готовятся службой режимов;
- формировать ограничения по условиям перетоков по линиям/ автотрансформаторам и в сечениях сети (SCOPF, SDOPF) для задачи оптимального распределения нагрузок.

Комплекс NA представлен в EMS дважды: для решения задач в реальном времени и анализа архивированных режимов.

Комплекс PA служит для решения задач управления генерацией, включая управление частотой и мощностью (LFC) с учетом оптимального распределения нагрузок (ED, CED), требований величины вращающегося резерва мощности (RM), ограничений по контрактным перетокам мощности/энергии (ITS, EA). Программные средства: LFC, ED, RM и PCM составляют комплекс Automatic Generation Control (AGC) (рис.3). Цикл работы AGC – 4 сек.

С помощью программы PCM осуществляются расчеты расходов всех видов используемых топлив и их стоимости за текущий час и прошедшие 24 ч.

Программа RM в реальном времени ведет расчеты всех видов резервов мощности (вращающийся, оперативный, 10- и 30-минутный), а также уровня снижения частоты при аварийном отключении наиболее загруженного агрегата системы или любой группы агрегатов системы (по запросу персонала) с учетом работы системы АЧР. Расчеты реальных нагрузок всех очередей АЧР выполняются с помощью программы мониторинга работы АЧР UFLS (Under Frequency Load Shed).

Среди средств автоматического управления нормальными режимами определенный интерес может представить средство управления включением/отключением батарей статических конденсаторов ACC (Automatic Capacitor Control). Наличие в системе

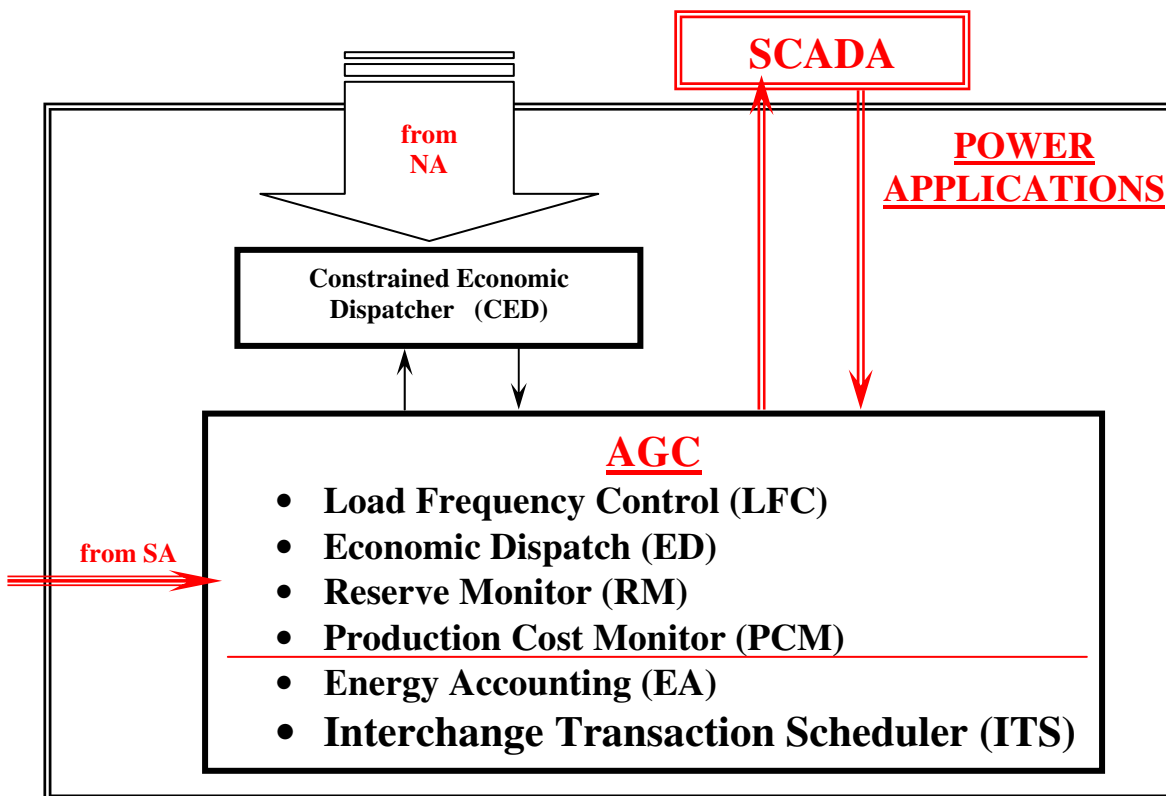


Рис. 3. Структура комплекса управления генерацией.

более 200 батарей конденсаторов создает некоторые проблемы их эффективного использования: обеспечения надлежащего уровня компенсации реактивной мощности в системе с учетом скорости изменения нагрузок в утренние и вечерние часы (см. выше) и возможных скачков напряжений «вверх» и «вниз», соответственно, при включении и отключении конденсаторов. Система АСС обеспечивает напряжения в допустимых пределах управлением РПН трансформаторов перед включением/отключением конденсаторов при контроле всех других условий их использования и запрет на работу выключателей батарей при наличии персонала на подстанции (по условиям техники безопасности запрещено дистанционное управление коммутационной аппаратурой при наличии персонала на подстанции).

2.1.1. Методы и алгоритмы решения комплексов NA, PA и SA.

Все задачи анализа режимов (включая оценку состояний, выбора составов агрегатов, оптимального распределения нагрузок, прогноза нагрузок и др.) построены на классических методах и алгоритмах: методы Ньютона-Рафсона и Гаусса, метод множителей Лагранжа со штрафными функциями, множественная полиномиальная регрессия и т.п. Несмотря на «классику», задачи решаются быстро. Случаи несходимости расчетов и другие причины неполучения решений или неприемлемости результатов достаточно редки.

Приемлемая надежность работы всех указанных программных средств обеспечивается, по нашему мнению, за счет реализации концепции, упомянутой выше: избыточность информации с объектов системы, надежность систем сбора и передачи этой информации в систему диспетчерского управления.

2.2. Противоаварийная автоматика.

Кроме традиционных средств автоматики (АПВ, АЧР, локальных систем отключения нагрузок при перегрузках линий/трансформаторов связи и при низких напряжениях на шинах) в энергосистеме Израиля применяется централизованная автоматика отключения нагрузок по факту перегрузок элементов или низких напряжений. Эти сис-

темы построены на основе SCADA, позволяют относительно легко дозировать отключаемую нагрузку, осуществляя отключения на некоторых подстанциях по пути передачи мощности, менять контролируемые элементы.

Еще одним представителем централизованной автоматики является функция VR (Voltage Reduction), назначение которой – снизить потребление на подстанции/в системе за счет снижения напряжений посредством изменения уставок блока управления РПН трансформаторов. Быстрое изменение положения анцапф РПН в этом случае реализуется с помощью специальной функции блока РПН Voltage Cheater. Функция VR применяется в основном для уменьшения общего потребления в системе в случаях дефицита генерации.

2.3. Средства анализа аварийных процессов.

Для анализа аварийных процессов на объектах используются специальные локальные системы цифровой записи параметров аварий (частоты, фазных токов и напряжений в сети; на электростанциях, дополнительно, активных и реактивных мощностей агрегатов, а также их тепломеханических параметров). По завершении аварии данные переносятся в сервер и посредством компьютерной сети становятся доступными пользователям. При отсутствии локальных устройств записи параметры аварий хранятся в памяти цифровых защит.

3. Средства планирования режимов

Система EMS, принципы построения и функционирования которой изложены выше, предназначена обычно для решения задач управления в реальном времени. Для целей планирования текущих режимов службой режимов используются другие инструменты, как приобретенные (PSSE, TPLAN компании РТИ-США), так и разработанные сотрудниками службы.

Одной из таких разработок является программа для расчетов режимов для суточного графика нагрузок. Основной предпосылкой разработки являлось приближение к технологии ведения режима диспетчером.

В подобной технологии каждый режим системы не является независимым – он имеет свою «историю» и свое «будущее», зависящее от:

- последующих, по отношению к расчетному моменту времени, значений нагрузок прогнозируемого графика;
- разного рода технологических ограничений (как, например, ограничения по условиям экологии, минимального числа часов непрерывной работы крупных ГТУ и ГПУ в суточном графике и др.).

Переход от режима к режиму осуществляется диспетчером с учетом «преемственности» состояний коммутируемого в течение суток оборудования (конденсаторов, ГТ, положений РПН автотрансформаторов и т.п.) и их параметров и при минимальном количестве управляющих воздействий, обеспечивающих допустимость всех параметров режима.

В указанной программе реализован принцип минимизации управляющих воздействий при переходе от точки к точке суточного графика с вводом параметров в допустимую область или оптимизацией режима.

В общем случае планирование режимов в энергосистеме Израиля имеет две стадии: сезонное – на периоды зимнего и летнего максимумов нагрузки, текущее – неделя, сутки.

Основой сезонного планирования является прогноз максимальных нагрузок в соответствующий период. Этот вид прогноза основан на данных по развитию (по отношению к предыдущему подобному периоду) отраслей хозяйства страны, в целом, и на отслеживании ввода нового и демонтажа старого относительно энергоемкого электрооборудования (кондиционеров, стиральных и сушильных машин, холодильников и т.п.)

в коммунально-бытовом секторе (включая учреждения систем образования, здравоохранения, торговли и др.), в частности.

Период возможных максимальных нагрузок длится не менее двух месяцев зимой и около трех месяцев летом при примерно равных значениях зимнего и летнего максимумов. В связи с этим определение как величины, так и продолжительности разных уровней максимальных нагрузок является весьма важным фактором принятия решений по планированию ремонтных и других видов работ генерирующего и сетевого оборудования и вводу новых объектов.

Существенные различия для зимнего и летнего периодов допустимых токов линий по условиям термической стойкости и степени участия разных секторов электропотребления в формировании нагрузки систем определяют необходимость проверок настроек устройств системной противоаварийной автоматики (АЧР, автоматическое отключение нагрузки по факту перегрузки линий и т.п.) для каждого из сезонов.

По результатам анализа режимов составляется список возможных аварийных ситуаций (отключений) системы. Этот список используется программой Security Analysis (см. выше).

При текущем планировании режимов решаются задачи прогноза графиков нагрузок на основе данных метеопрогнозов, покупаемых у метеокомпании по соответствующим договорам. Метеопрогнозы содержат почасовую информацию основных метеопараметров (температура, влажность, скорость и направление ветра, уровень солнечного излучения) на 48 ч, а также информацию об основных тенденциях изменения погоды (температура, дожди, грозы, снег, туман и т.п.) за тот же период и дополнительно на последующие трое суток.

На основе прогноза графиков нагрузок решаются задачи:

- выбора составов работающих агрегатов и оптимального распределения нагрузок с учетом появляющихся технологических ограничений;
- разрешений заявок по текущим плановым и внеплановым отключениям (результаты передаются службам, организующим и выполняющим соответствующие работы);
- рекомендаций диспетчерской службе в случае "особых" режимов.

В реальном времени ведется корректировка прогноза нагрузок по реальным метеопараметрам и нагрузкам и соответствующая корректировка оптимального распределения нагрузок.

Заключение

1. Определенная новизна технологии управления, реализованная в диспетчерском управлении энергосистемой Израиля, состоит, по нашему мнению, в:

- полноте и достоверности информации об объектах и процессах в системе, доступной для анализа на соответствующем уровне иерархии принятия решений;
- полноте, достоверности и наглядности отображения информации для диспетчерского персонала;
- надежности работы средств анализа режимов на основе указанной информации;
- возможности создания на такой информационной базе централизованной автоматики, позволяющей более полно, чем локальные устройства, решать задачи управления.

2. В целом, с учетом указанных факторов возможно обеспечить более надежное, экономичное и безопасное управление системой.

3. Предлагаемый в статье материал не имел целью подробно описать средства и функции используемой в Израиле системы диспетчерского управления, а лишь то, что мы посчитали некоторой технологической новизной в системе управления.

Об авторе.

Гольденберг Феликс Данилович. В 1968 г. окончил Ленинградский политехнический институт, в 1972 г. защитил кандидатскую диссертацию в том же институте. Работал в Омском политехническом институте (1972-1979 гг.), Отделе энергетической кибернетики АН Молдавии (1979-1991гг.). Доцент – с 1976 г., старший научный сотрудник – с 1980 г. Область научных интересов – режимы энергосистем (анализ, оптимизация, планирование, средства и методы расчета, управление), надежность энергосистем (методология принятия решений по обеспечению надежности, методы расчета). В 1980-1990 гг. участник совместных с ЭНИН им. Г.М. Кржижановского, СЗО Энергосетьпроект (г. Санкт-Петербург), Энергосетьпроект (г. Москва) и других организаций Минэнерго и АН СССР исследований и разработок. Автор 45 публикаций, включая монографию. С 1993 г. – сотрудник, с 1998 г. – главный специалист Диспетчерского управления энергосистемой Израиля.

ДИСКУССИЯ

Г.В. Меркурьев. Доклад хороший, дает широкую картину современного диспетчерского управления энергетикой небольшой страны. Технология современна. Больше всего впечатляют условия регулирования частоты при резко-переменном графике работы, широкая автоматизация технологических процессов. Очень интересно было бы узнать принципы и алгоритмы советчиков диспетчера по управлению режимом системы и переключениям в сетях.

Ф.Д. Гольденберг. Уважаемый Геннадий Васильевич!

Спасибо за оценку моего доклада. Постараюсь ответить на Ваш вопрос, касающийся принципов и алгоритмов советчиков диспетчера. Вопрос весьма широк, требует согласования определений. В связи с этим я попытаюсь дать лишь общую картину. Если у Вас будут дополнительные вопросы, с удовольствием постараюсь на них ответить. В системе EMS существует комплекс средств, попадающих, по моему мнению, под определение советчик диспетчера.

1. Средства визуализации состояния системы. На мнемосхеме сети и экранах дисплеев существует определенная система окраски элементов системы (линий, трансформаторов, условных обозначений подстанций и др.) и значений измеренных параметров режима, отображающая:

- условия режима – параметры (токи, мощности, напряжения) в норме, вблизи пределов, за пределами и т.д.;
- достоверность измерений (исправность каналов передачи информации) – в случае проблем с измерениями они заменяются результатами расчетов программы оценки состояний;
- наличие оперативного персонала на подстанциях.

На дисплее сообщений системы – LOGGER (сообщений о работе защит, автоматики и т.д.) изменяется цвет записи сообщения при отметке о принятии его диспетчером.

2. Средства блокировки ошибочных действий диспетчерского персонала. Эти средства выполнены на основе SCADA и осуществляют контроль по заложенным правилам состояний выключателей, разъединителей, заземляющих аппаратов, наличия персонала на соответствующем объекте при выполнении диспетчером переключений.

3. Средства ведения режима. К таким средствам относятся экраны, на которых представлены:

- прогнозный и реальный график нагрузок;

- корректируемые автоматически на 6 ч вперед с резолюцией 20 мин. оптимальные нагрузки агрегатов, включая пуски/остановы газовых турбин и комбинированных установок;

- величины всех видов резервов и результаты расчета аварийного отключения наиболее нагруженного агрегата (минимальная частота, работа АЧР);

- уровни токов всех видов коротких замыканий.

4. Советчики диспетчера по оптимизации режимов. К таким средствам могут быть отнесены оптимизационные программы реального времени:

- оптимизации режима по реактивной мощности по критерию минимума потерь активной мощности с указанием управляющих воздействий (реактивные мощности агрегатов, положение РПН, включение/отключение конденсаторных батарей),

- управляющие воздействия по изменению режима в случаях перегрузки линий/трансформаторов связи.

5. Советчик аварийных ситуаций. К таковым может быть отнесена программа Security Analysis, просчитывающая в реальном времени аварийные режимы (список ситуаций составляется заранее и он может быть достаточно велик). Результатом работы программы являются списки (экраны) перегруженных элементов и подстанций с проблемами напряжений.

К другим подобным средствам могут быть отнесены и осваиваемые в настоящее время экспертные системы по интеграции и анализу аварийных сообщений и восстановлению системы после системных аварий.

Так же, как советчик диспетчера может рассматриваться средство, позволяющее взять из архива любой “прошлый” режим в качестве основы для моделирования других, представляющих интерес для диспетчера, режимов.

Такова общая картина средств советчика диспетчера нашей системы, при определенной условности перечня и его классификации.

И.Н. Колосок. Очень интересный и информативный доклад, впечатляет объем телеинформации – 50 тыс. телеизмерений!

А какова размерность расчетной схемы для задачи оценивания состояния – количество узлов и связей?

Как долго и насколько сложно проходила адаптация системы SCADA/EMS к условиям энергосистемы Израиля?

Ф.Д. Гольденберг. Уважаемая Ирина Николаевна!

Спасибо за оценку моего доклада. Постараюсь ответить на Ваши вопросы.

Первый вопрос: размерность расчетной схемы.

Оценивание состояния является лишь одной из задач всей системы EMS. С учетом особенностей системы и концепции управления (отсутствие дежурного персонала на подстанциях, обилие средств управления режимами: РПН трансформаторов, конденсаторные установки и концентрация управления – до уровня низкой стороны трансформаторов) основным ее назначением является представление диспетчеру информации о всех элементах системы и возможности управления этими элементами. Необходимость столь полного представления информации диспетчеру обусловило то, что в расчетной схеме много “висячих” ветвей и в силу этого отношение количество узлов / количество ветвей близко к единице. Всего в расчетной схеме порядка 1000 узлов и 1000 ветвей. Именно схемой такого объема в формате PSSE или EEEI представляются результаты работы SE (State Estimator) для последующего анализа вне системы EMS.

Второй вопрос: адаптация системы SCADA/EMS.

Как уже отмечалось, и я попытался показать это в докладе, система EMS многофункциональна, многофункциональна и SCADA. Большая часть функций была работоспособна с момента ввода системы в эксплуатацию в 2000 г. Некоторые функции ос-

ваиваются и вводятся в эксплуатацию до сих пор. В частности, весь блок функций NA был введен в эксплуатацию с момента установки системы. Вводу в эксплуатацию системы предшествовали этапы обучения персонала диспетчерского управления, освоение и приемка нами каждой из функций, как у производителя системы (SIEMENS), так и у нас после поставки системы: процесс продолжался около двух лет. Создавалась система по нашим техническим условиям и для нашей системы с учетом ее развития.

Б.В. Панков. В разделе 2.2. доклада отмечается, что “представителем централизованной автоматики является функция VR (Voltage Reduction), назначение которой снизить потребление на подстанции/системе за счет снижения напряжений посредством изменения уставок блока управления РПН трансформаторов ... Функция VR применяется в основном для снижения общего потребления в системе в случаях дефицита генерации”.

Известно, что в 1980-1990-х гг. проводились исследования по оценке экономического ущерба от снижения напряжения в узлах нагрузки и отдельных потребителей. Поэтому не ясно, как снижение напряжения сказывается на технологическом процессе промышленных предприятий, коммунальных и бытовых потребителей?

Ф.Д. Гольденберг. Уважаемый Борис Васильевич!

Постараюсь ответить на Ваш вопрос, касающийся функции VR.

Снижение напряжений, как и снижение частоты в системе с целью снижения электропотребления при дефиците генерации, имеет альтернативой только отключение потребителей. Вторая мера приводит к существенно большему ущербу. Я подчеркну, что речь идет не о планируемых дефицитах генерации, когда отключения могут быть согласованы с потребителями в виде особых соглашений, а оперативных, обусловленных потреблением выше прогнозного и/или аварийными отключениями агрегатов. Такие ситуации у нас случаются крайне редко и не всегда они прогнозируемы даже с заблаговременностью в несколько часов.

О самой функции VR: ее работа обеспечивает, по существу, изменение уставок блока управления РПН трансформаторов на заранее определенную величину, которая установлена на уровне 3%, что, как правило, не приводит к нарушениям норм качества электроэнергии у потребителей. Потребление же уменьшается в соответствии со статическими характеристиками нагрузок.

Говоря об ущербе от снижения напряжения, следует учесть, что до 70% потребителей нашей системы – это коммунально-бытовое потребление, в котором преобладающие нагрузки – термостатированные системы кондиционирования, нагрева, охлаждения. Ущерб от снижения напряжения у таких потребителей практически нулевой, а суммарное потребление возвращается к уровню нормального напряжения через 30-50 мин. У потребителей других видов при указанных снижениях напряжений нарушения в технологии, по нашей информации, не проявляются (жалоб/судебных исков от них не поступало).