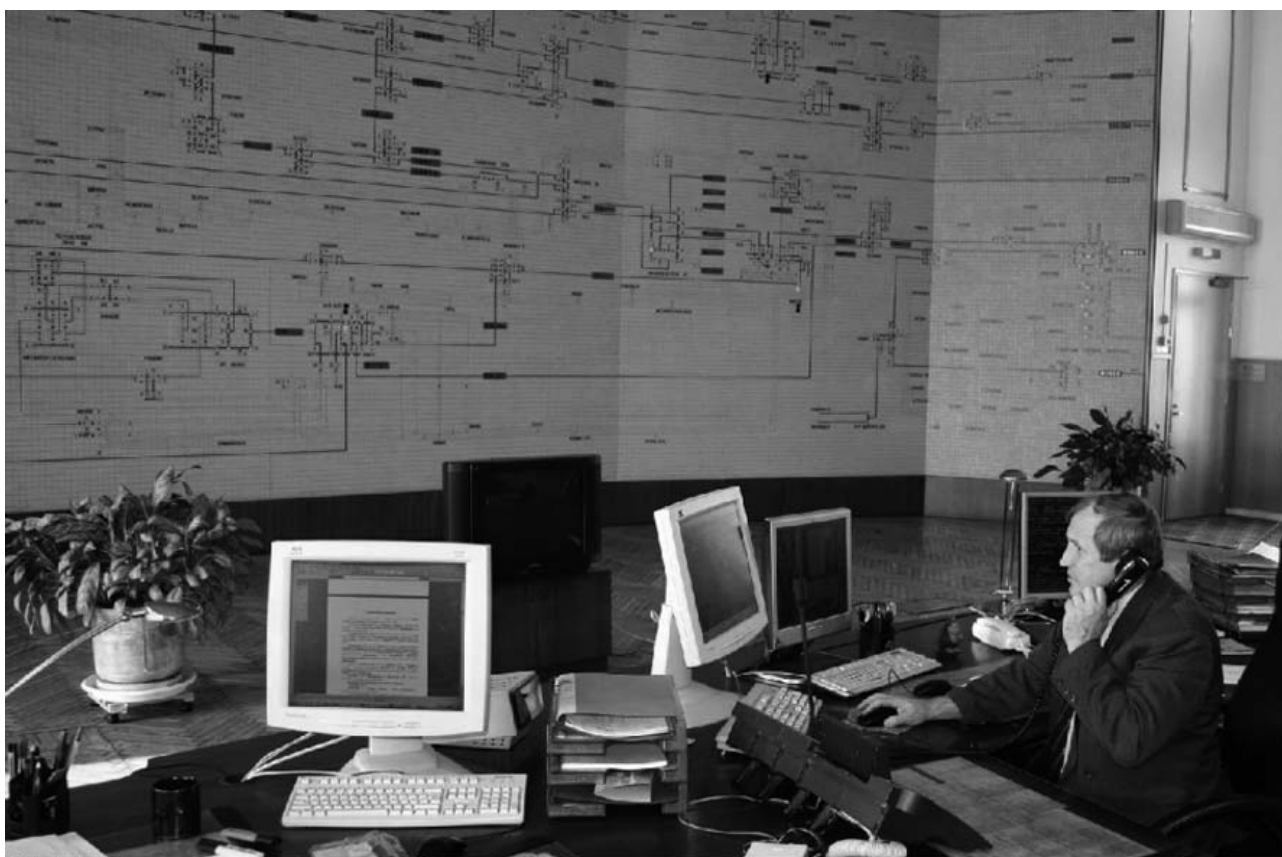


# **Оперативное управление в электроэнергетике**



**№ 1 / 2007**

## **Подготовка персонала и поддержание его квалификации**



**Журнал  
«ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ.  
ПОДГОТОВКА ПЕРСОНАЛА  
И ПОДДЕРЖАНИЕ ЕГО  
КВАЛИФИКАЦИИ»  
№1/2007**

Редакционный совет:  
Будовский В.П., к.т.н.  
Воронин В.Т., к.т.н.  
Кононов Ю.Г., д.т.н.  
Мисриханов М.Ш., д.т.н.

Главный редактор:  
Будовский Валерий Павлович

тел.: +7 (8793) 34-83-70  
+ 7 (495) 921-99-98

e-mail: b\_v\_p@mail.ru  
http://oue.promtransizdat.ru

Издательский дом «ПАНОРАМА»  
107031, Москва, а/я 49

По вопросам подписки  
тел. +7(495) 921-99-98,  
621-99-98, 925-96-11  
+7 (906) 721-13-79

Подписано в печать 20.11.06.  
Формат 60x88/8.  
Бумага офсетная.  
Печ. л. 8.  
Печать офсетная.  
Заказ №

*На первой странице фотография  
диспетчерского пункта Филиала  
ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС» ОДУ Центра*

## Содержание

К читателям ..... 3

### РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

Некоторые итоги реформы электроэнергетики ..... 4  
Системные услуги на рынке электроэнергии ..... 10

### АВАРИИ, АВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ И ИХ ЛИКВИДАЦИЯ

Диспетчерские задачи ..... 16

### РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И ПРОТИВОАВАРИЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

О качественных особенностях современных  
цифровых фиксирующих индикаторов. .... 18

### ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Расчет условно-постоянных потерь электрической  
энергии в электрической сети ..... 21  
Некоторые новые задачи, решаемые  
в рамках ПВК «АНАРЭС-2000» ..... 27  
Визуальные средства обеспечения надежной работы  
диспетчерского персонала энергосистем ..... 30

### ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ

Проблемы современного энергетического  
тренажеростроения через призму терминологии ..... 35  
Новое поколение программных средств в энергетике —  
режимный диспетчерский тренажер «Финист» ..... 52

### ДИСПЕЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗА РУБЕЖОМ

Имитация реальности. Тренажер для диспетчеров  
электросетей. .... 56  
Взгляд в будущее. Перспективы управления  
энергосистемами ..... 59

**БИБЛИОГРАФИЯ** ..... 63

**ОТВЕТЫ НА ДИСПЕЧЕРСКИЕ ЗАДАЧИ** ..... 64

### **К читателям**

#### **Уважаемые коллеги!**

Настоящий номер нашего журнала содержит уже ставшие традиционными статьи, посвященные расчетам потерь электрической энергии, вопросам современного тренажеростроения, диспетчерским задачам и библиографии в области подготовки персонала.

В рубрике «Релейная защита и противоаварийное управление» авторы статьи делятся своим опытом эксплуатации современных цифровых регистрирующих приборов.

В настоящем номере мы открываем нашу очередную рубрику «Рынок электроэнергии и мощности», где приводим отдельные главы аналитического отчета «Института проблем естественных монополий» на тему «Состояние энергетики РФ».

Знание мирового опыта обеспечения надежного функционирования электроэнергетики является важным условием качественной подготовки оперативного персонала, в этой связи обращаем внимание читателей на статьи специалистов известной фирмы АББ, посвященные как новым подходам в тренажеростроении, так и развитию современных средств управления энергосистемами.

**Редакция журнала  
«Оперативное управление в электроэнергетике»**

## Некоторые итоги реформы электроэнергетики

*Предлагаем внимаю наших читателей отдельные главы аналитического отчета «Института проблем естественных монополий» на тему «Состояние энергетики РФ» за 2005 год.*

### АМЕРИКАНСКИЙ ОПЫТ РЕФОРМИРОВАНИЯ ОТРАСЛИ

Сравнение энергоаварии США 2003 года и российской 2005 года не совсем корректно в силу того, что в основе российской и американской энергосистем лежат различные принципы и идеология построения. Одной из главных причин аварии в 2003 году является децентрализация электроэнергетики США. Однако децентрализация американской электроэнергетики возникла не в результате реформы и разделения вертикально-интегрированных компаний (ВИКов). Американская энергосистема изначально строилась как децентрализованная, и нынешняя модель американской электроэнергетики есть результат ее столетнего эволюционного пути развития.

Электроснабжение в США, как и во всех странах, начиналось с крупных городов. Частные компании получали соответствующие лицензии от местных властей и начинали обслуживание отдельных районов или городов, где энергокомпании сооружали собственные сети и электростанции. Постепенно лицензионная территория компаний разрасталась, захватывая все новые и новые районы. И, в какой-то момент, лицензионные территории различных компаний начали встречаться, образуя общие границы. Пересечений лицензионных территорий не происходило, т.к. компании охраняли свой бизнес и не допускали в свою зону чужаков. Чтобы усилить защиту бизнеса, энергетические компании не объединяли свои сети, и каждая территория была энергетически автономной.

Конкурентная борьба, развернувшаяся между энергетическими компаниями в первые десятилетия XX века, заключалась в захвате акций и присоединении других компаний. Борьба была чрезвычайно жесткой: образующиеся энергетические холдинги, владевшие акциями нескольких энергокомпаний, выкачивали из них практически всю прибыль и устанавливали предельно возможные цены на электроэнергию для потребителей. Конец этой борьбы был положен в 1935 г. принятием федерального закона Public Utility Holding Company Act (PUHCA). Акт законодательно устанавливал государственный контроль над энергетическими холдингами, посредством надзора за их деятельностью со стороны Комиссии по ценным бумагам (Securities and Exchange Commission (SEC)). Именно PUHCA положил начало формированию вертикально-интегри-

рованных энергетических компаний в том виде, в котором они существуют сегодня. Все другие компании законом исключались из участия в энергетическом бизнесе.

Особо стоит отметить, что федеральное регулирование электроэнергетической отрасли в США всегда было затруднено из-за значительной политической и экономической автономии штатов. Поэтому многие относительно небольшие энергетические компании попадали под действие регулирующих органов штатов (State Public Utility Commissions (PUCs)), которые, в отличие от SEC, более либерально относились к их деятельности. Именно в компетенцию PUCs входит установление тарифов на электроэнергию, комиссии дают разрешение на постройку новых электростанций и утверждают инвестиционные программы энергокомпаний. Необходимо также отметить, что Федеральная энергетическая комиссия США, называвшаяся тогда Federal Power Commission, была образована в соответствии с PUHCA. Однако в то время компетенция FPC ограничивалась регулированием торговли и передачи электроэнергии между штатами.

До конца 1970-х годов электроэнергетика США была представлена в основном энергетическими ВИКами, законодательно признанными естественными монополиями и занимавшимися производством, передачей, распределением и продажей электроэнергии потребителям. Находясь под защитой регулирующих органов, энергокомпании уже не опасались конкуренции и могли сотрудничать друг с другом. В те десятилетия началось подключение и синхронизация работы электросетей отдельных компаний. Причины этого были чисто технологические, компании повышали надежность снабжения электроэнергией. В результате в США образовались три энергосистемы: Восточная, Западная и Техасская. При этом слабая электрическая связь присутствует лишь между Западной и Восточной энергосистемами. Техасская энергосистема изолирована от двух других. Но и внутри энергосистем передача электроэнергии затруднена, чаще всего из-за недостаточной пропускной мощности магистральных линий.

Наличие энергетических ВИКов в США не спасло страну от масштабного блэ-каута, произошедшего в декабре 1965 г. В результате аварии обесточенными на несколько дней оказались районы на северо-востоке США и юго-востоке Канады. То есть авария 1965 года произошла примерно на той же территории, что и авария 2003 года.

Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA), принятый в 1978 году, являлся частью более общего документа National Energy Act, который появился в результате энергетического кризиса 1970-х годов и являлся законодательной базой для решения проблемы надежного обеспечения энергией потребителей США. PURPA не предусматривал, как это сказано в статье, разделение сфер производства, передачи и сбыта электроэнергии в США, но он положил начало развитию независимой электрогенерации в стране. PURPA устанавливал критерии для так называемых квалифицированных мощностей (qualifying facilities (QF)), у которых энергетические ВИКи должны были покупать электроэнергию для ее дальнейшей перепродажи, в случае, если стоимость электроэнергии у QF была ниже стоимости производства электроэнергии у самих энергокомпаний или у альтернативных поставщиков. В результате, в США в 1980-х годах стала развиваться независимая электрогенерация, финансовой базой которой явились долгосрочные контракты с электрическими ВИКами. Благодаря PURPA также появились зачатки оптового рынка электроэнергии. Стоит отметить, что деятельность QF не квалифицировалась как естественно-монопольная, поэтому цены на их электроэнергию не регулировались государством. Для электрических ВИКов PURPA не отменял государственное регулирование их деятельности и затратный принцип формирования тарифов на электроэнергию.

Следующим этапом развития американской электроэнергетики было принятие в 1992 году Energy Policy Act (EPACT), который, в частности, предписывал приемнику Federal Power Commission, которая теперь называется Federal Energy Regulation Commission (FERC), регулировать деятельность электрических ВИКов в плане обеспечения свободного доступа третьих лиц к принадлежащим компаниям магистральным линиям электропередачи.

Таким образом, децентрализованная модель электроэнергетической отрасли США является следствием ее эволюционного развития. В отрасли действует более 5000 компаний. Наибольшее число компаний работает в сфере распределения электроэнергии (более 2000) и ее производства (почти 2000 генерирующих компаний). Большое количество генерирующих компаний является прямым следствием PURPA, поощрявшим развитие независимой генерации. Что касается распределительных компаний (бизнес-аналоги российских МУПов «Электрические сети»), то в подавляющем большинстве это мелкие компании, обслуживающие небольшие населенные пункты и влияние каждой из них, как отмечают эксперты, на энергоснабжение на федеральном или даже штатном уровне крайне незначительно.

Основу американской электроэнергетики по-прежнему составляют частные вертикально-интегрированные компании. Их насчитывается около 140. На долю компаний приходится более 70% мощностей линий электропередачи, почти 80% установленных

генерирующих мощностей и около 70% всей производимой в стране электроэнергии.

Государственных ВИКов в США примерно 135 (при этом федеральных ВИКов всего 3). Еще к ВИКам относятся мелкие сельские кооперативы числом около 20. Магистральными линиями электропередачи, помимо частных ВИКов, владеет еще около 250 компаний.

Дополнением к портрету американской электроэнергетики эксперты считают то, что в стране не существует единой системы диспетчерского управления. В США действует около 150 региональных диспетчеров (Control Areas Operators), большинство из которых принадлежит частным ВИКам.

Вопрос о дерегулировании рынка электроэнергии в США встал еще в середине 1980-х годов. Созданные квалифицированные мощности продемонстрировали, что электроэнергию не обязательно производить в рамках ВИКов или на той же территории, где происходит ее потребление. Как оказалось, электроэнергию можно купить не у того, к чьим проводам прикреплен потребитель, а у того, кто просит за нее наименьшую цену. И вопрос о транспорте электроэнергии от производителя к потребителю снимался при обязательном предоставлении владельцем магистральных линий свободного доступа третьим лицам.

## ВЫВОДЫ И ТЕНДЕНЦИИ

Как подчеркивают эксперты, переход к свободному рынку электроэнергии в отдельных штатах США начался в середине 1990-х годов. В некоторых штатах (Пенсильвания) опыт был удачен, а в некоторых (Калифорния) — катастрофический. Однако, как показал опыт дерегулирования рынка электроэнергии в США и других странах, причинами неудач было не разделение ВИКов (в США как раз такого разделения не проводилось), а главным образом непродуманность механизма рыночных торгов. Кроме того, ВИКи действительно оказались плохо совместимыми с рынком из-за возникающего конфликта интересов между различными сегментами бизнеса в рамках компании. При переходе к свободному рынку электроэнергии ВИК одновременно осуществляет естественно-монопольную деятельность (передача и распределение электроэнергии) и конкурентную (генерация и продажа электроэнергии).

Эксперты отмечают, что недостаток инвестиций в естественно-монопольную инфраструктуру и ведет к снижению надежности электроснабжения.

## РАЗВИТИЕ РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В отличие от США, электроэнергетика в России развивалась централизованно. Другого пути в условиях плановой экономики не существовало. В результа-

## РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

те в СССР была создана единая энергосистема, охватывающая практически всю территорию страны, синхронизирующая работу всех энергетических объектов. Единая энергосистема позволяла оптимизировать работу электростанций. Например, часть крупных электростанций, обеспечивающих базовую нагрузку, последовательно, с востока на запад, переключались на обслуживание регионов по мере прохождения в этом направлении пиков нагрузки. Таким образом, удавалось минимизировать потери, связанные с остановкой базовых генераторов и запуском пиковых генераторов. Кроме того, единая энергосистема позволяла перебрасывать дешевую электроэнергию из Сибири (гидроресурсы и Канско-Ачинский ТЭК) в европейскую часть страны.

С распадом СССР и началом экономических преобразований начались процессы дезинтеграции единой энергосистемы России. Первоначальный план создания РАО ЕЭС предусматривал, что к компании отойдут все крупные электростанции в стране (за исключением атомных), а также все магистральные линии электропередачи. В собственности АО-энерго останутся распределительные сети и небольшие электростанции (преимущественно теплоэлектроцентрали), работающие на местный рынок. Однако слабость федерального центра в начале 1990-х привела к тому, что многие регионы заполучили в свои АО-энерго активы, предназначенные для РАО ЕЭС. Более того, несколько АО-энерго («Башкирэнерго», «Татэнерго», «Иркутскэнерго»), благодаря сепаратистским действиям региональных руководителей, не вошли в состав холдинга РАО ЕЭС. Работа Единой энергосистемы оказалась нарушенной из-за того, что часть ЛЭП, связывающих страну, оказались на территории других государств.

Сложившая в 1990-е годы структура российской электроэнергетики по экономической эффективности уступала электроэнергетической отрасли СССР. Поступление дешевой сибирской электроэнергии в европейскую часть страны практически прекратилась из-за недостатка транспортных мощностей. В то время, как крупные федеральные электростанции оставались незагруженными, региональные станции, производство на которых дороже, чем на крупных станциях, работали с полной нагрузкой, т.к. это давало регионам дополнительные налоговые поступления.

### ВЫВОДЫ И ТЕНДЕНЦИИ

Как считают эксперты-сторонники реформы, смысл реформы электроэнергетики, которую начало РАО ЕЭС, — усилить централизацию энергосистемы и создать экономические стимулы для повышения эффективности отрасли. Для реализации первой цели предполагается объединить все магистральные сети в рамках единой Федеральной сетевой компании, вывести из подчинения АО-энерго региональные диспетчерские управления и ввести их организа-

ционно в структуру центрального диспетчера. Это позволит восстановить Единую энергосистему страны и регулировать деятельность предприятий электроэнергетики из единого центра.

Для повышения экономических стимулов планируется ввести конкуренцию на оптовом, а в перспективе, полагают эксперты, и розничном рынке электроэнергии.

Для предотвращения возможных конфликтов интересов предполагается разделение вертикально-интегрированных региональных и федеральной (РАО ЕЭС) энергетических компаний по видам деятельности.

### ПРОБЛЕМЫ КОНКУРЕНТНОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Утверждение, что маржинальная цена на рынке электроэнергии всегда выше среднееотпускного тарифа, является ложным. Маржинальная стоимость электроэнергии выше усредненного тарифа в часы пиковых нагрузок и ниже в часы базовых нагрузок.

Идеология, лежащая в основе конкурентного рынка электроэнергии — заставить потребителей платить истинную стоимость электроэнергии, которая и есть маржинальная цена, т.е. стоимость производства последнего киловатт-часа электроэнергии. В течение суток спрос на электроэнергию все время меняется, обычно существует два пика потребления — утренний и вечерний. Ночью и ранним утром, в период базовой нагрузки, спрос на электроэнергию минимальный. Так как электроэнергию нельзя складировать, то в сети должен постоянно поддерживаться баланс спроса и предложения, т.е. в каждый момент времени производство электроэнергии должно равняться ее потреблению.

Стоимость электроэнергии для производителей неодинакова: самая высокая — в часы пиковых нагрузок, когда приходится запускать пиковые генераторы с высокими издержками. Именно пиковые генераторы и определяют маржинальную цену в часы максимального спроса. Наиболее низкая цена в период базовой нагрузки. В этот период нагрузку в сети держат базовые генераторы с низкими предельными (маржинальными) издержками.

В условиях регулируемой энергетики потребители обычно платят усредненную стоимость электроэнергии, т.е. суммарная стоимость производства в течение суток, деленная на произведенное количество энергии. В результате получается, что в часы пиковой нагрузки электроэнергия производителям обходится дороже, чем потребителям, а в часы базовой нагрузки потребители переплачивают за энергию.

Суточные колебания электроэнергии приводят к потерям в общественном благосостоянии, т.к. генерирующие компании вынуждены устанавливать генераторы, работающие всего несколько часов в сутки.

С точки зрения суммарных затрат было бы оптимально, чтобы потребление электроэнергии было равномерным в течение суток. Если же заставить потребителей платить истинную цену, то может произойти выравнивание потребления электроэнергии: уменьшение спроса в часы пиковых нагрузок и ее рост в часы базовых нагрузок.

Свободный рынок электроэнергии показал, что реальность может не совпадать с теоретической концепцией. Спрос на электроэнергию может быть малоэластичным, т.е. слабо меняться с изменением цены. Это особенно ярко проявилось на тех рынках, где стоимость электроэнергии для конечных потребителей не зависела от цены свободного рынка (Калифорния). Поэтому при создании рынка необходимо учитывать реакцию конечных потребителей на изменения цен и создавать систему управления спросом.

Свободный рынок электроэнергии продемонстрировал также и другую крайность: цена электроэнергии может быть меньше не только средних, но и предельных затрат. Например, остановка базового генератора на несколько часов с его последующим запуском и включением в сеть сопряжена со значительными расходами. Поэтому генератор в конкурентной среде готов просить цену за электроэнергию более низкую, нежели его издержки, лишь бы остаться включенным в сеть. На конкурентном рынке электроэнергии Виктории (Австралия) нередки случаи выставления генераторами заявок с отрицательными ценами, т.е. владельцы генераторов объявляют о готовности платить, лишь бы оставаться под нагрузкой.

В России принцип маржинального ценообразования на электроэнергию уже давно используется. Например, дневной и ночной тариф для бытовых потребителей. Таким образом, энергокомпании стимулируют смещения части потребления электроэнергии в период базовой нагрузки.

В России также используется система управления спросом на электроэнергию. Многие энергосистемы, например «Мосэнерго», согласны устанавливать почасовые тарифы на электроэнергию для промышленных потребителей. Для этого потребители должны устанавливать системы автоматического учета и контроля электроэнергии (АСКУЭ). Таким образом, энергосистемы добиваются снижения пиковых нагрузок, а потребители экономят деньги при оплате электроэнергии.

Несомненно, существуют трудности технологического управления конкурентной моделью рынка. Но они возникают не только для регулирующих органов, но и для всех субъектов рынка.

## **ВЫВОДЫ И ТЕНДЕНЦИИ**

В условиях регулируемой электроэнергетики, когда производитель знает, что все его затраты будут

компенсированы, как утверждают эксперты, он очень легко будет соглашаться на выполнение всех предписаний диспетчера и регулирующих органов. Но оплачивает эту легкую жизнь регулятора и продавца электроэнергии потребитель.

В конкурентной среде продавцу электроэнергии приходится бороться за снижение издержек, за каждого потребителя. В этих условиях, полагают эксперты, ему трудно бывает следовать предписаниям диспетчера, снижающим его прибыль. Поэтому задача регулирующих органов при построении свободного рынка электроэнергии — создать такую среду, экономическую и правовую, в которой наиболее явно проявились все достоинства свободного рынка, а возможности злоупотребления были минимизированы.

Что же касается надежности энергоснабжения при конкурентном рынке электроэнергии, то, как и при регулируемом, главным вопросом здесь, полагают эксперты, является финансирование и правовая база. В частности, для создания резерва мощности на рынке обычно предполагается дополнительная плата для генераторов, а для развития сетевых объектов, так же как и при регулируемой модели рынка, потребители уплачивают повышенный тариф. В рыночных условиях между продавцом и потребителем заключается договор, в котором оговариваются все условия поставок энергии и санкции за их нарушение. В рыночных условиях за надежность энергоснабжения отвечает тот, у кого с потребителем на этот счет заключен договор.

## **СОТРУДНИЧЕСТВО РОССИИ И КИТАЯ**

Уже в июле ПАО «ЕЭС России» и Китайская электроэнергетическая компания подпишут соглашение о сотрудничестве, предполагающее значительное увеличение экспорта электроэнергии в Китай. Речь идет о продаже порядка 5% от вырабатываемой ПАО энергии. Однако в полном объеме поставки в Китай могут начаться не ранее 2011 года, когда будут достроены два дополнительных энергоблока Бурейской ГЭС.

Впервые поставлять электроэнергию из России в Китай в середине 1990-х гг. предложило «Иркутскэнерго». В соответствии с проектом предполагалось строительство ЛЭП длиной 2600 км из Иркутской области в КНР. Стоимость его оценивалась в 1,5 млрд долл. Но стороны не смогли договориться о цене электроэнергии, и в 1999 году Китай заморозил переговоры. Кроме того, Китай реализовывал весьма масштабную программу развития собственной электроэнергетики. Поэтому контракты с Россией для него были не актуальны.

Тем не менее у России уже есть опыт сотрудничества с Китаем по вопросам экспорта электро-

## РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

энергии — в 2003 году ЗАО «Интер РАО ЕЭС» и китайская компания «Сириус» заключили контракт на поставку 2,2 млрд кВт-ч электроэнергии в год. Правда, реальные поставки пока не превышали одной пятнадцатой от оговоренного в контракте объема поставок. В провинцию Хэйхэ в 2004 году поступило 338,48 млн кВт-ч российской электроэнергии, в 2005 году планируется поставить 630 млн кВт-ч. Столь небольшие объемы поставок в первую очередь связаны с малой пропускной способностью линии, соединяющей энергосистему Приамурья и китайский город Хэйхэ. На сегодня там существуют только две линии мощностью 500 кВ. Между тем потребность строящего металлургические заводы Китая в электроэнергии составляет до 30 млрд кВт-ч в год. В настоящее время готовится к подписанию соглашение о долгосрочном сотрудничестве между РАО «ЕЭС России» и Китайской энергетической компаний.

На первом этапе сотрудничества в течение нескольких месяцев будет подготовлено первое технико-экономическое обоснование, после чего энергетики должны определить, откуда будет поставляться электричество — из Сибири или с Дальнего Востока. Пока энергетики видят реальную возможность увеличения мощностей за счет строящейся Бурейской ГЭС. В настоящее время в эксплуатации находятся три блока гидроэлектростанции, четвертый будет достроен в этом году. Но этих мощностей будет хватать лишь на то, чтобы удовлетворить внутренние потребности Дальневосточного региона. В перспективе планируется начать строительство 5-го и 6-го блоков Бурейской ГЭС, которые и смогут «работать на Китай». Поэтому о реальных поставках, по оценкам специалистов РАО «ЕЭС России», речь может пойти лишь к 2011 году.

**Справка:** За прошедшие годы экономический рост в Китае привел к тому, что потребление электроэнергии в стране выросло более чем на 60%. На сегодняшний день потребление электроэнергии в Китае растет гигантскими темпами — более 10% в год. Обеспечить растущий спрос собственными силами Китай оказался уже не в состоянии.

Планируемый объем экспорта является громадным: 2–5,5% от текущего производства электроэнергии в России. Для сравнения можно отметить, что нынешний экспорт электроэнергии из России составляет менее 20 млрд кВт-ч в год. Имеющихся генерирующих мощностей на российском Дальнем Востоке недостаточно, чтобы обеспечить требуемый объем экспорта. Для сравнения можно отметить, что после окончания строительства Бурейской ГЭС — электростанции, призванной решить проблему энергообеспечения российского Дальнего Востока, — она будет производить не более 10 млрд кВт-ч электроэнергии в год, из которых на экспорт может быть направлено не более 7 млрд.

Контракт с Китаем будет означать необходимость масштабного строительства объектов электроэнергетики в Сибири и на Дальнем Востоке. В этом случае можно будет окончательно прояснить перспективы Богучанской ГЭС, а также обеспечить внутренний рынок сбыта для газа с Ковыктинского месторождения Иркутской области. Этот газ может поставляться на новые газовые электростанции Иркутскэнерго.

## ВЫВОДЫ И ТЕНДЕНЦИИ

Некоторые эксперты сомневаются в том, что Китаю можно будет экспортировать электроэнергию в ближайшее время. Об экспорте российской энергии в Китай переговоры идут уже более шести лет, а воз и ныне там. До сих пор все упиралось в цену. По мнению некоторых экспертов, пока даже непонятно, кто будет производить такой большой объем энергии: Иркутская энергосистема пару лет назад из-за перебоев с водой испытывала такие трудности, что пришлось расконсервировать тепловые мощности.

Другие эксперты не разделяют подобного скептицизма. Они считают, что уже сейчас электроэнергию на экспорт может поставлять Зейская ГЭС. Те линии, которые уже соединяют Благовещенск с двумя китайскими городами, загружены не на полную мощность. В перспективе придется построить линии на 500 кВ и достроить Бурейскую ГЭС, что позволит увеличить объемы экспорта.

По оценке аналитиков, Россия может выручить от экспорта энергии в Китай в районе 2 млрд долл., при этом затраты в 2 млрд долл. пойдут на соединение Дальнего Востока и Сибири (сейчас энергосистемы регионов изолированы друг от друга), еще столько же понадобится для строительства двух энергоблоков Бурейской ГЭС. В течение 2–4 лет проект полностью окупает себя, но беда в том, что у РАО «ЕЭС» нет таких средств. Поэтому, даже если энергохолдинги двух стран и договорятся между собой о поставках, без политической воли со стороны руководства России проект нельзя будет реализовать. В то же время эксперты полагают, что деньги для строительства мощностей может дать Китай.

Вопрос о поставках электроэнергии в Китай будет решаться на самом высоком уровне. Герман Греф, выступая в Совете Федерации, отметил, что Россия может уже в 2007 году начать масштабные поставки электроэнергии в Китай. РАО пока осторожничает с обозначением конкретных сроков поставок, отодвигая их на более позднее время.

## СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АВАРИЙ В США В 2003 ГОДУ И В РОССИИ В 2005 ГОДУ

Авария в США началась из-за неполадок в магистральных сетях одного из ВИКов (Dynergy). При



этом компания не сообщила о неполадках диспетчеру, а пыталась в течение нескольких часов устранить ее собственными силами. Все остальные участники рынка оставались не в курсе происходящих событий, и когда начались отклонения от штатных режимов в их оборудовании, они начали искать причину прежде всего у себя. Между тем процесс вышел из под контроля. Из-за перегрузок в сетях начались автоматические отключения энергетического оборудования. В результате лавинообразного нарастания перегрузок и отключений электростанций и подстанций огромная территория оказалась обесточенной.

Итак, как мы видим, причиной аварии в США была децентрализованная система американской электроэнергетики. Если бы магистральные сети находились под управлением единого оператора, не имеющего интереса в других сегментах бизнеса, то он вовремя бы отследил аварию и сообщил бы об этом диспетчеру. Тот бы, в свою очередь, принял меры по локализации аварии. В результате, масштабных отключений удалось бы избежать.

Теперь рассмотрим причины энергоаварии в России в 2005 году. Результаты расследования уже были опубликованы комиссией, созданной при РАО ЕЭС.

На подстанции «Чагино» вечером 23 мая произошел пожар, в результате чего произошло отключение одного трансформатора. Через несколько часов пожар был ликвидирован, но через сутки произошел новый, в результате чего из эксплуатации был выведен еще один трансформатор. Через час после пожара на «Чагино» произошло короткое замыкание, в результате чего отключились еще три трансформатора и вся подстанция. После этого произошло аварийное отключение двух генераторов на ТЭЦ-22, общей мощностью 640 МВт, и прекратилось энергоснабжение некоторых потребителей.

В течение ночи с 24 на 25 мая проводились работы по восстановлению энергоснабжения. В частности, специалисты Московского регионального диспетчерского управления (РДУ) рассчитали новые режимы работы электрических сетей Московского региона и выдали указания по перекоммутации сетей. С помощью Объединенного диспетчерского управления ОЭС «Центра» было обеспечено взаимодействие с РДУ Смоленской и Калужской энергосистем. Диспетчеры Московского РДУ также выдали указания по обеспечению резерва генерации на ТЭЦ-26 и Шатурской ГРЭС, которые выполнили предписания диспетчера.

Таким образом, несмотря на разделение «Мосэнерго» на несколько независимых компаний, в ночь с 24 на 25 мая проводилась совместная работа и было обеспечено взаимодействие между сотрудниками различных организаций. Тем не менее утром 25 мая масштабное отключение электроэнергии все же произошло. Это случилось по причине человеческого фактора, недостатка резервных генерирующих мощностей и отсутствия ряда технических устройств.

По мнению комиссии, расследовавшей причины аварии, режим работы энергосистемы, выбранный специалистами Московского РДУ, мог бы обеспечить рабочий режим сети. Однако из-за ошибки в одной из инструкций, которой руководствовались диспетчеры, в расчетах было превышено предельно допустимое значение тока. Кроме того, по мнению комиссии, в условиях предаварийной ситуации необходимо было отключить потребителей. Однако специалисты Московского РДУ попытались обойтись без этой радикальной меры. Кроме того, по мнению комиссии, персонал подстанции «Чагино» действовал недостаточно оперативно при устранении аварии.

С точки зрения членов комиссии, два энергоблока Каширской ГРЭС, которые могли бы существенно повлиять на режим работы энергосистемы, находились в плановом ремонте. В результате, имеющихся резервных генерирующих мощностей оказалось недостаточно.

Еще одной из причин развития аварии, по мнению комиссии, является отсутствие в Московской энергосистеме автоматических средств разгрузки электрической сети, а также недостаток устройств компенсации реактивной мощности.

## **ВЫВОДЫ И ТЕНДЕНЦИИ**

Таким образом, считает большинство экспертов, проводимая в России реформа электроэнергетики никак не повлияла на события 25 мая, произошедшие в Московской энергосистеме. Со значительной долей уверенности можно утверждать, что авария произошла бы, если бы реструктуризация «Мосэнерго» не происходила. Кроме того, как видно из результатов расследования, старая модель электроэнергетической отрасли в России не обеспечивала должного уровня надежности снабжения потребителей.

Общее между энергоавариями в США и России — недостаток инвестиций. В США при переходе к рынку вертикально-интегрированные компании не хотят инвестировать, а в России при регулируемой модели электроэнергетики — инвестиций не хватает из-за неточной индексации тарифов, подчеркивают эксперты.

# Системные услуги на рынке электроэнергии

*В. Шкатов, АТС НП*

Регулирование частоты, мощности, напряжения, резервирование генерирующих мощностей и пропускной способности сетей, предотвращение и ликвидация аварий, а также организация системы диспетчерского управления всегда занимали важное место в процессе обеспечения надежной и экономичной работы энергосистем. Вместе с тем в вертикально интегрированных энергокомпаниях, ответственных за электроснабжение на конкретных территориях, эти направления деятельности были и остаются общественной обязанностью и внутренним делом энергокомпаний. Затраты на их осуществление, как правило, отдельно не калькулировались, а наравне с затратами на производство, передачу и распределение электроэнергии включались в единую цену электроэнергии для потребителей.

Так как обеспечение качества и надежности электроснабжения — до сих пор общественная обязанность вертикально интегрированных энергокомпаний, то у потребителей может сложиться мнение, что данные услуги оказываются безвозмездно и, если заключить прямые контракты на поставку электроэнергии между электростанциями и потребителями, то стоимость электроэнергии существенно снизится. С этой целью в ряде стран потребители и представляющие их политики, промышленники и банкиры потребовали внедрения либерального рынка электроэнергии. Предлагалось отказаться от монопольного положения энергокомпаний, разделить по хозяйственному принципу производство, передачу, распределение и сбыт электроэнергии, обеспечить свободный доступ к электрической сети, внедрить конкуренцию во всех возможных направлениях отрасли. При этом потребители сами могли выбирать генерирующую компанию, которая будет поставлять им электроэнергию на основе двусторонних контрактов, определяющих только количество поставляемой электроэнергии, но не обеспечивающих качество и надежность поставки.

Однако переход к либеральному рынку, основанному на конкуренции, и стремление к снижению цены на электроэнергию отражаются на качестве электроснабжения. Надежность работы энергосистем может снизиться по следующим причинам:

- большое количество участников рынка, которые строят отношения между собой на основе двусторонних контрактов;

- противоположность интересов участников рынка;

- в стремлении максимизировать собственную выгоду участники рынка оказывают постоянное давление на системного оператора, принуждая снижать резервы, отказываться от регулирования, полностью использовать пропускную способность линий электропередач;

- неопределенность в планировании и ведении режимов работы энергосистем, особенно в части загрузки электрических сетей, в том числе межсистемных и межгосударственных;

- возникновение непредвиденных перегрузок линий электропередач;

- недостаток оперативных резервов мощности;

- трудности с регулированием частоты;

- ослабление дисциплины при предотвращении и ликвидации аварий.

Таким образом, возникает проблема сохранения достигнутого уровня надежности и качества электроснабжения при организации либерального рынка электроэнергии, для разрешения которой используются физические законы, не зависящие от организационной модели электроэнергетики. Однако в условиях либерального рынка качество и надежность электроснабжения должны обеспечиваться совершенно другими организационными и экономическими методами. Появляется обособленная область коммерческой деятельности — оказание так называемых системных услуг.

## ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Обычно английский термин *ancillary services* переводится на русский язык как «вспомогательные» или «добавочные услуги», что, по мнению ряда специалистов, не совсем точно отражает техническую, организационную и экономическую сущность работ, выполняемых в процессе снабжения потребителей электроэнергией. Регулирование частоты, напряжения, резервирование и т. п. являются не дополнительными, а технологически обязательными услугами, поэтому можно было бы использовать определение «технологические услуги» или «эксплуатационные услуги». Однако более точным представляется термин «системные услуги».

Системные услуги — это деятельность, обеспечивающая надежность работы энергосистемы и

электроснабжения потребителей, а также стабильное значение частоты и напряжения в соответствии с установленными стандартами. Получение системных услуг позволяет всем субъектам энергетического рынка полностью использовать экономические преимущества работы в энергосистемах.

К системным услугам относятся:

- регулирование частоты и активной мощности;
- регулирование напряжения и реактивной мощности;
- резервирование мощности;
- сетевое резервирование;
- предотвращение аварий, восстановление электроснабжения после аварии;
- диспетчерское управление.

Некоторые специалисты относят к системным услугам также оказание помощи в возврате внеплановых (нежелательных) поставок электроэнергии.

Большинство вышеперечисленных системных услуг включают несколько видов деятельности, исполнителями которых могут быть разные субъекты электроэнергетического рынка.

Ниже приводится структура системных услуг.

### **Рынок предоставления и получения системных услуг**

Системные услуги обеспечивают функционирование первичного рынка электроэнергии (производство — передача — потребление). Оказание системных услуг требует определенных затрат, которые во всех случаях должны компенсироваться субъектами энергосистем, являющимися причиной данных затрат. Следовательно, системные услуги могут и, возможно, должны продаваться и покупаться.

Однако вопрос о целесообразности организации рынка предоставления и получения системных услуг в России не решен. На данный момент нет единого мнения об этапах ввода рынка системных услуг и реализации последних.

По мнению специалистов НП «АТС», на начальной стадии либеральных реформ в электроэнергетике целесообразна организация рынка системных услуг только в областях регулирования частоты, активной мощности, напряжения и реактивной мощности, а также резервирования мощности. В ближайшее время невозможно организовать конкурентный рынок услуг по сетевому резервированию. Возможно, что после накопления опыта работы в условиях либерального рынка электроэнергии, в том числе и рынка системных услуг, возникнет необходимость организации конкурентного рынка по отдельным составляющим услуг монопольного рынка (например, рынок АЧР, рынок автоматического пуска агрегатов при снижении частоты и т. п.).

Согласно мнению исполнительного аппарата НП «АТС», предпочтительной является схема организации рынка услуг по первичному регулированию, при

которой системный оператор заключает долгосрочные контракты с генерирующими компаниями, предоставляющими услуги по первичному регулированию, а затем продает их другим субъектам рынка с учетом стоимости и загрузки сетей.

Общеизвестно, что прежде чем торговать услугами, надо научиться калькулировать затраты, связанные с их оказанием, и измерять фактически оказанные услуги. Существуют следующие подходы в определении цены на услуги по первичному регулированию:

- по единой согласованной методике (позиция НП «АТС»);
  - на основе предложений поставщиков услуг;
  - в результате конфиденциальных переговоров.
- Затраты, которые надо учитывать при определении цены за услуги по первичному регулированию, складываются из:
- инвестиционных затрат на резервную мощность и оборудование первичного регулирования;
  - эксплуатационных затрат на поддержание резервов мощности;
  - снижения экономичности в результате переменных режимов работы агрегатов;
  - упущенной выгоды от неполной загрузки агрегатов;
  - прочих затрат.

Проще учитывать все затраты, связанные с первичным регулированием. Однако такой общий подход может затруднить выполнение требования прозрачности цен и готовности к аудиту (см. табл.).

В состав затрат на оказание услуг по первичному регулированию, вероятно, должна входить также и стоимость отклонений выработки электроэнергии в результате действия первичного регулирования при отклонениях частоты, достигающая у больших генерирующих компаний крупных энергосистем значительных величин. Подобные затраты могут определяться следующими факторами:

- на основе стоимости отклонений выработки электроэнергии при частоте, выходящей за пределы нормы, на конкретном агрегате при конкретном режиме работы (естественно, с некоторой прибылью);
- на основе среднего значения стоимости электроэнергии регулирования за предыдущий аналогичный период (позиция НП «АТС»);
- на основе граничной стоимости электроэнергии на оперативном (спотовом) рынке электроэнергии плюс 10–15%.

Если услуги по первичному регулированию частоты надо оплачивать отдельно, то необходимо согласовать методику измерения этих услуг и организовать контроль их фактического предоставления. В основном обсуждаются следующие виды контроля:

- непрерывный контроль в реальном времени по данным телеизмерений;
- автоматический;

## РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

Таблица

Услуга	Стороны оказания/получения по мнению большинства специалистов	Позиция НП «АТС»
Услуги по регулированию частоты и активной мощности	<p><b>Оказание услуги:</b> генерирующие компании.</p> <p><b>Получатели услуги:</b> потребители электроэнергии.</p> <p><i>Примечания.</i> Существует мнение, что системный оператор также получает эту услугу либо участвует в предоставлении услуги по регулированию частоты и мощности</p>	<p>Монопольный вид услуг. Системный оператор получает эту услугу от генерирующих компаний и оплачивает ее по тарифу, установленному регулятором. Таким образом, потребители «нанимают» системного оператора для поддержания частоты и активной мощности в ЕЭС России</p>
Услуги по регулированию напряжения и реактивной мощности	<p><b>Оказание услуги:</b> генерирующие компании и системный оператор</p> <p><b>Получатели услуги:</b> потребители электроэнергии.</p> <p><i>Примечания.</i> Опыт работы ЕЭС России показал, что в предоставлении услуг по регулированию напряжения и реактивной мощности участвуют и потребители электроэнергии — регулирование напряжения с помощью синхронных двигателей, конденсаторных батарей или собственных электростанций</p>	<p>Монопольный вид услуг. Системный оператор получает эту услугу от генерирующих компаний и части потребителей электроэнергии, имеющих соответствующие возможности. Оплата осуществляется по тарифу, установленному регулятором. Потребители «нанимают» системного оператора для регулирования напряжения и поддержания баланса реактивной мощности в ЕЭС России</p>
Резервирование мощности	<p><b>Оказание услуги:</b> генерирующие компании и системный оператор</p> <p><b>Получатели услуги:</b> потребители электроэнергии, системный оператор и другие генерирующие компании</p>	<p>Конкурентный вид услуг. Системный оператор определяет величину и размещение резервов мощности в соответствии с нормативами, утверждаемыми правительством РФ. НП «АТС» получает эту услугу от генерирующих компаний, имеющих соответствующие возможности. Порядок привлечения, контроля и оплаты резервов мощности осуществляется по технологии, описанной в нормативных документах и Правилах оптового рынка</p>
Услуги по сетевому резервированию	<p><b>Оказание услуги:</b> системный оператор совместно с ФСК.</p> <p><b>Получатели услуги:</b> генерирующие компании и потребители электроэнергии.</p>	<p>Конкурентный вид услуг, в настоящее время не актуальный. Системный оператор совместно с ФСК определяет величину допустимого перетока по «контролируемым» сечениям в соответствии с утвержденной методологией расчетов устойчивости и проводит аукцион, на котором распродается часть «пропускной способности» сечения. При этом обеспечивается определенная величина сетевого резервирования для обеспечения надежной работы ЕЭС России. Данный вид услуг является нехарактерным даже для большинства развитых стран мира и требует большой исследовательской и юридической проработки</p>

## РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

Услуги по предотвращению аварий и восстановлению электроснабжения после аварий	<p><b>Оказание услуги:</b> системный оператор.</p> <p><b>Получатели услуги:</b> генерирующие компании и потребители электроэнергии.</p> <p><i>Примечания.</i> В предоставлении данных активно участвуют также генерирующие компании и потребители.</p> <p>Предотвращение аварий и восстановление электроснабжения после аварий является обязанностью всех субъектов энергосистемы</p>	Данный вид услуг назван таковым по ошибке. Предотвращение аварий и восстановление электроснабжения после аварий — функция и обязанность системного оператора, а также всех субъектов электроэнергетики
Услуги по диспетчерскому управлению	<p><b>Оказание услуги:</b> системный оператор.</p> <p><b>Получатели услуги:</b> генерирующие компании и потребители электроэнергии</p>	Монопольный вид услуг. Системный оператор предоставляет данную услугу генерирующим компаниям и потребителям, которые оплачивают ее по тарифу, установленному для этого регулятором. Таким образом, потребители «нанимают» системного оператора для обеспечения диспетчерского управления в ЕЭС России

- за каждый диспетчерский интервал (час или полчаса) плюс информация за сутки на основе часовых показаний счетчиков электроэнергии и среднечасовых значений частоты;

- контроль путем специальных замеров (позиция НП «АТС»).

Все специалисты НП «АТС» придерживаются мнения о необходимости применять экономические санкции и поощрения за качество первичного регулирования частоты, считая, что недостаточно только морального воздействия путем публикации результатов участия в регулировании частоты в отчетах и анализах. Для эффективности экономических санкций и поощрений их величина должна быть достаточно большой и существенно превышать экономию затрат при неполном предоставлении системных услуг.

### Услуги по вторичному регулированию частоты и мощности, третичный резерв

Принципы организации рынка услуг по вторичному регулированию и экономические аспекты этой проблемы напоминают ранее описанные для услуг по первичному регулированию. При этом может быть организован конкурентный рынок услуг по вторичному регулированию, возможно даже более широкий и эффективный, чем по первичному. Однако в настоящее время в России возможностями для предоставления таких услуг располагают только ВоГЭС и ВгГЭС в Европейской зоне России и Братская ГЭС в Сибири. Вопрос статуса и отнесения к какому-либо виду услуг Загорской ГАЭС подлжит обсуждению.

Что касается целесообразности организации рынка услуг по предоставлению третичного резерва, следует согласиться с тем, что на данном этапе в подобном рынке нет необходимости. Хотя следует иметь в виду, что третичный резерв, необходимый для обеспечения достаточного вторичного, должен вводиться в работу автоматически или вручную в течение нескольких минут (поэтому данный вид резерва называется еще минутным).

### Услуги по возврату внеплановых (нежелательных) поставок электроэнергии

Международный обмен электроэнергией как планомерно, так и фактически обычно определяется по сумме графиков мощностей всех согласованных поставок за рассматриваемый период. Любое нарушение баланса между генерацией и потреблением приводит к отклонению частоты, действию регуляторов частоты во всех энергосистемах, в результате чего обменные мощности между партнерами отклоняются от плановых значений. Отклонение фактических поставок электроэнергии между энергосистемами от согласованных называются режимными внеплановыми поставками, подлежащими обязательному возврату в виде специальных поставок и, как правило, без денежных расчетов, которые совокупно с составлением графиков их возврата производятся централизованно и в том случае, когда нет централизованного диспетчерского управления. Международный обмен электроэнергией производится между вертикально интегрированными энергокомпаниями, которые выполняют графики обязательного возврата путем изменения своей генерации.

## РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

Положение может измениться в условиях либерального рынка электроэнергии, когда поставки электроэнергии будут осуществляться преимущественно на основе контрактов между генерирующими компаниями, включая независимых производителей электроэнергии, и потребителями, которые могут находиться в разных странах. В качестве потребителя может выступать и так называемый единый покупатель. Подавляющее число потребителей, как известно, не имеет собственных генерирующих установок. Поэтому могут возникнуть трудности с возвратом внеплановых (нежелательных) поставок. Однако в данных условиях необходимо сохранить существующую систему натурального возврата внеплановых (нежелательных) поставок и не вводить денежную компенсацию, поручив при этом системному оператору покупку и продажу электроэнергии для обязательного возврата внеплановых (нежелательных) поставок. Тем не менее в связи с конфиденциальностью цены на электроэнергию возможны трудности с обеспечением возврата. Вероятно, в подобном случае необходимо сохранять недельный цикл возврата на межгосударственном уровне, переходя на более длинный период во взаимоотношениях внутри страны.

### Услуги по регулированию напряжения и реактивной мощности

По мнению НП «АТС», на данном этапе либеральных реформ нецелесообразно организовывать конкурентный рынок услуг по регулированию напряжения и реактивной мощности. Однако это не означает, что данная услуга не востребована. Таким образом, не исключается возможность заключения двусторонних договоров по регулированию напряжения и реактивной мощности. Имеется в виду, что данные услуги должны оплачиваться, если параметры регулирования выходят за пределы согласованных значений (например, для генераторов в пределах  $-0,2 < \text{tg } \phi < 0,4$  не оплачиваются, а за пределами указанных значений подлежат оплате; для потребителей с  $\cos \phi = 1$  не оплачиваются, при иных значениях  $\cos \phi$  подлежат оплате и т. д.). Нецелесообразно оплачивать услуги по регулированию напряжения и реактивной мощности только в период минимальных нагрузок, когда избытки реактивной мощности необходимо принудительно потреблять, в том числе и путем перевода режима работы генераторов в емкостный квадрант.

### Услуги по сетевому резервированию

Проблема сетевого резервирования относится к разряду активно обсуждаемых. Многие специали-

ты в России считают, что в ближайшее время нет необходимости организовывать рынок услуг по сетевому резервированию и соответственно разрабатывать отдельную методику для расчета цен за сетевое резервирование. Затраты на резервирование должны учитываться в методике определения цен на сетевые услуги. Подобный вид сетевого резервирования для основной сети во многих странах является обязательным, но не может быть таковым, потому что в значительной степени зависит от уже заключенных контрактов, технических возможностей сети и обязательных требований к ее надежности. Если какой-либо участник рынка желает резервировать пропускную способность сети с учетом будущих поставок, то это дело двусторонних контрактов между данным участником и сетевой компанией.

### Услуги по предотвращению аварий, восстановлению электроснабжения после аварии

Деятельность, связанная с предотвращением аварий и восстановлением электроснабжения после аварии, является обязательной для всех участников рынка, работающих в энергосистемах, и соответствующие требования должны содержаться в лицензиях на деятельность в области электроэнергетики, в условиях на подключение к энергосистеме и в договорах на поставку электроэнергии и услуги по диспетчерскому управлению. Соответственно нет необходимости в организации отдельного рынка услуг по предотвращению аварий и восстановлению электроснабжения после аварий. Тем не менее это теоретически верное предложение будет трудно реализовать на практике. Например, все потребители не могут иметь одинаковые в процентном отношении объемы АЧР на всех ступенях ставок по частоте и по времени. То же самое можно сказать об автоматическом отключении генераторов и автоматическом пуске агрегатов при снижении частоты. Подобное выравнивание представляется нецелесообразным и экономически невыгодным. Организация рынка для отдельных направлений данного вида системных услуг позволила бы с помощью законов рынка найти оптимальные экономические и технические решения, как, например, организация рынка услуг по АЧР, по ручному отключению потребителей или по автоматическому отключению генераторов.

Между тем нецелесообразность организации отдельного рынка для всех видов услуг по предотвращению аварий и восстановлению электроснабжения после аварий не исключает разработку единых методик расчета цен на данный вид услуг и включения их в тарифы на использование сети при заклю-

чении соответствующих контрактов. Необходимо также предусмотреть проверку готовности субъектов энергосистем к работе по предотвращению аварий и восстановлению электроснабжения после аварий путем обязательных испытаний и внезапных выборочных проверок.

### **Услуги по диспетчерскому управлению**

Большинство специалистов считают: диспетчерское управление строится по иерархической схеме и каждый объект энергосистемы управляется из одного диспетчерского центра, что исключает конкуренцию и организацию конкурентного рынка данных услуг. Однако услуги по диспетчерскому управлению в условиях либерального рынка электроэнергии в обязательном порядке должны оплачиваться всеми субъектами рынка. Необходимо разработать и согласовать единую методику расчета тарифов на услуги по диспетчерскому управлению, стоимость которых должна формироваться на основе постоянных и переменных затрат, включая затраты на ведение режима и управление надежностью. Прозрачность диспетчерского управления в условиях либерального рынка электроэнергии можно обеспечить путем разделения функций технологического управления, в том числе управления рынком услуг и рынком электроэнергии. Кроме того, необходимо открыть доступ к текущей информации и отчетам участников рынка и контролирующим органам.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Регулирование частоты, мощности, напряжения, резервирование генерирующих мощностей и пропускной способности сетей, предотвращение и ликвидация аварий, диспетчерское управление (называемые системными услугами) при переходе к либеральному рынку электроэнергии становятся организационно и экономически самостоятельными видами деятельности, без выполнения которых невозможно обеспечить надежное, качественное и экономичное электроснабжение.

Вышеперечисленные системные услуги являются общими и обязательными для всех субъектов энергосистем, должны выполняться по единым правилам и регулироваться системным оператором.

Ни один субъект рынка не может заявить, что ему не нужно регулирование частоты или диспетчерское управление и он не собирается платить за данные услуги. По мнению большинства специалистов НП «АТС», каждый участник рынка должен заключать контракты на оказание системных услуг. Необходимо обеспечить: одинаковое отношение ко всем пользователям системных услуг, в том числе и зарубежным; оплату общих системных услуг генерирующими компаниями, самостоятельными сетевыми компаниями и потребителями электроэнергии пропорционально своим присоединенным или продаваемым и покупаемым мощностям; компенсацию расходов, связанных с оказанием данных услуг той стороной, которая эти расходы вызывает; простой, прозрачный и удобный для системного оператора и клиентов сети расчет тарифов на системные услуги; отделение системных услуг от коммерческой деятельности по поставкам электроэнергии.

*По материалам журнала  
«ЭнергоРынок»*

## АВАРИИ, АВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ И ИХ ЛИКВИДАЦИЯ

# Диспетчерские задачи

*Продолжаем публикацию диспетчерских задач. Надеемся, что они будут хорошей помощью молодым оперативным работникам электроэнергетики при освоении выбранной профессии.*

На рисунке (с. 17) представлено четыре подстанции: двухтрансформаторная ПС А 110/10 кВ, двухтрансформаторная ПС Б 220/110/10 кВ, двухтрансформаторная ПС Г 110/10 кВ и однострансформаторная ПС В 110/10 кВ. Подстанции соединены между собой линиями 110 кВ Л-5, Л-6, Л-9, ПС В присоединена к линии Л-5 отпайкой, потребители ПС В не имеют резервного источника питания. На ПС В нет постоянного дежурного персонала и обслуживается ОВБ. Линии 110 кВ Л-7, Л-8 являются транзитными. Часть присоединений 110 кВ на ПС А и ПС Б не показана. Переток по линиям 110 кВ Л-5 и Л-9 направлен от шин ПС Б в сторону ПС А и ПС Г. Линия 110 кВ Л-9 выполнена проводом АС-150/19, имеет длину 9 км, из которых 3 км проходят в черте города. Линия Л-9 оборудована двукратным АПВ. Линия 110 кВ Л-5 выполнена проводом АС-120/19, имеет длину 12 км, линия 110 кВ Л-6 выполнена проводом АС-120/19, имеет длину 11 км. АПВ линий Л-5 и Л-6 осуществляется с ПС Г.

### ЗАДАНИЕ №1

Произошло двустороннее отключение линии 110 кВ Л-9. На ПС А выпал блинкер 1 ступень ТНЗНП линии Л-9. Двукратное АПВ неуспешно. На ПС Б также выпал блинкер 1 ступень ТНЗНП линии Л-9.

Аварийное отключение линии Л-9 привело к недопустимой перегрузке по линии 110 кВ Л-5.

Какие меры и в какой последовательности необходимо предпринимать диспетчеру энергосистемы?

### ЗАДАНИЕ №2

Произошло двустороннее отключение линии 110 кВ Л-5. На ПС Б выпал блинкер 1 ступень ТНЗНП линии Л-5. На ПС Г также выпал блинкер 1 ступень ТНЗНП линии Л-5, АПВ неуспешное. Потребители 2СШ 110 кВ ПС Г запитаны (сработало АРВ 10 кВ).

В результате отключения полностью обесточены потребители ПС В.

Аварийное отключение линии Л-5 не привело к недопустимым перегрузкам по линиям 110 кВ.

Какие меры и в какой последовательности необходимо предпринимать диспетчеру энергосистемы?

### ЗАДАНИЕ №3

На ПС А отключился масляный выключатель Л-6, сработала 2 ступень ТНЗНП линии Л-6, АПВ не работало, на ПС Б отключился масляный выключатель Л-5, сработала 2 ступень ТНЗНП линии Л-5, АПВ не работало.

В результате отключения полностью обесточены потребители ПС В и ПС Г.

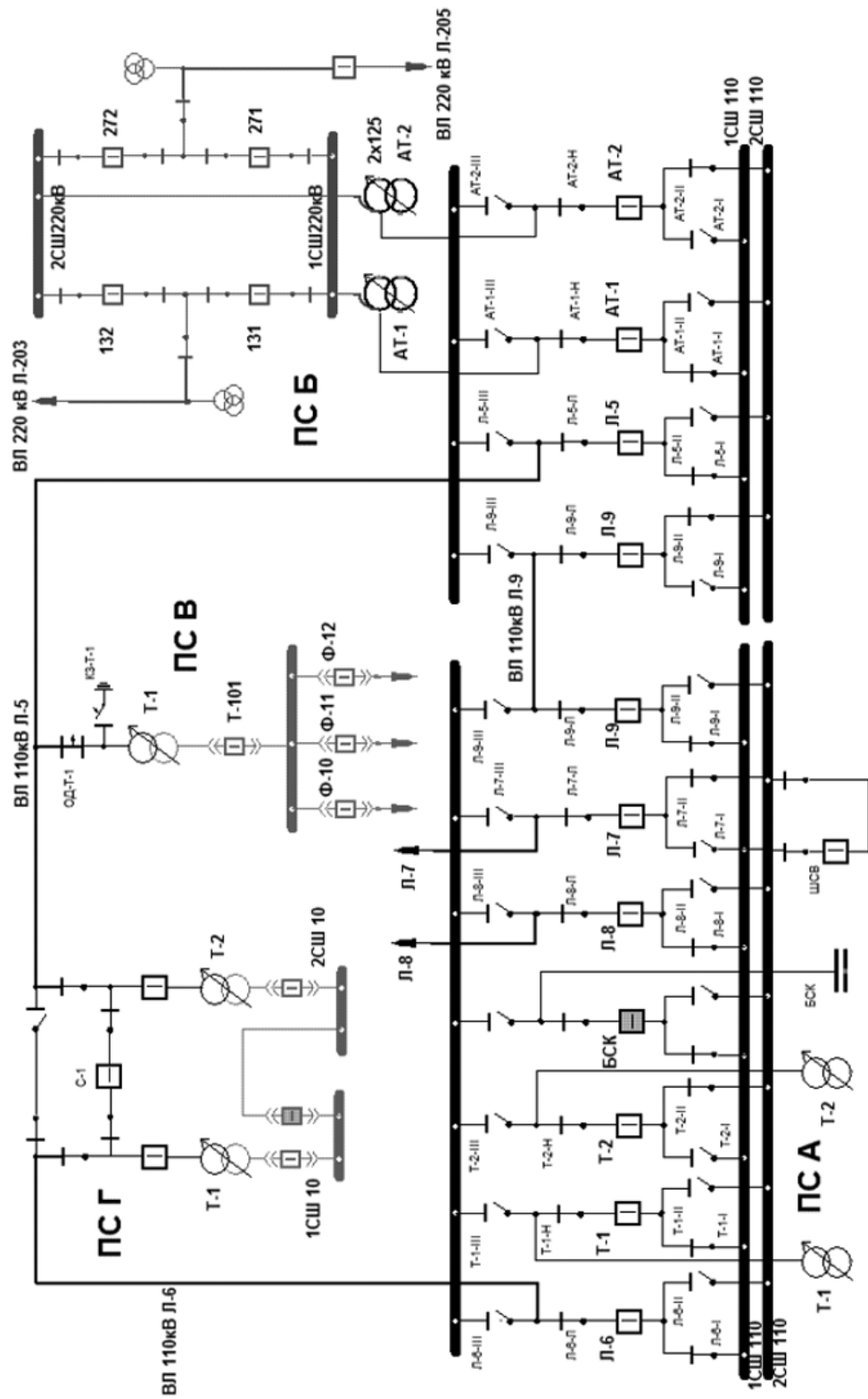
Потеря транзита по линиям Л-5-Л-6 не привело к недопустимым перегрузкам по линиям 110 кВ.

Какие меры и в какой последовательности необходимо предпринимать диспетчеру энергосистемы?

*Задачи разработаны специалистом ЦТПП филиала  
ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС» ОДУ Юга В.В. Поздняковым.  
Ответы на задачи приведены на стр.64.*



**АВАРИИ, АВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ И ИХ ЛИКВИДАЦИЯ**



# О качественных особенностях современных цифровых фиксирующих индикаторов

**В.М. Пасторов, кандидат техн. наук,  
И.В. Сухоручкин, инженер  
Филиал ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС» ОДУ Юга**

*Определение места повреждения линий электропередачи является важной задачей операторов диспетчерских служб и центров управления сетями. Предлагаемая читателям журнала статья посвящена анализу качества одного из технических средств решения этой задачи — ИМФ-ЗР.*

Согласно п. 1.6.23 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [1] для определения мест повреждений (ОМП) на воздушных линиях (ВЛ) 110 кВ и выше длиной более 20 км должны предусматриваться фиксирующие приборы. Несколько иначе требование в отношении дистанционного ОМП на ВЛ 110 кВ и выше изложено в правилах Технической эксплуатации (ПТЭ) [2]. Согласно п.5.7.23 ПТЭ для дистанционного ОМП на указанных ВЛ должны быть установлены специальные приборы. Нетрудно видеть, что в отношении использования специальных технических средств для целей дистанционного ОМП на ВЛ ПТЭ допускают применение не только фиксирующих приборов, но и любых других предназначенных для этого технических средств. В настоящее время таковыми являются цифровые фиксирующие индикаторы (ФИ), автоматические аварийные осциллографы, цифровые аварийные регистраторы (АР), а также цифровые средства релейной защиты и автоматики (РЗА), в которых специфическая функция ОМП реализуется посредством специально предназначенных для этого блоков и (или) программ без предъявления к ней в большинстве случаев повышенных требований в отношении погрешности измерения расстояния до места повреждения ВЛ. Это положение тем более справедливо в отношении автоматических аварийных осциллографов, которые к настоящему времени безнадежно устарели как технически, так и морально.

К сожалению, глава 1.6 ПУЭ, посвященная измерениям электрических величин, в том числе и регистрации электрических величин в аварийных режимах (1.6.20.–1.6.23.), до сих пор (для седьмого издания) не пересмотрена. Именно в ней изложены основные требования к выбору параметров регистрируемых аварийных величин и расстановке автоматических аварийных осциллографов. Очевидно, что в главе 1.6 ПУЭ нового седьмого издания необходимые требования к выбору параметров регистрируемых величин и размещению будут изложены также и для АР, и для цифровых фиксирующих индикаторов.

Эволюция технических средств ОМП достаточно подробно изложена в [3]. Массовое внедрение специальных приборов для целей ОМП в энергосистемах страны началось с момента, когда промышленностью были разработаны и начат выпуск фиксирующих приборов типа ФИП на электронной элементной базе. В дальнейшем в порядке совершенствования выпускались фиксирующие приборы типов ФИП-1, ФИП-2, ЛИФП. Основная особенность всех этих приборов заключалась в фиксации аварийных значений токов (для амперметров) или напряжений (для вольтметров), поданных соответственно на их вход, по значениям которых далее рассчитывалось расстояние до места повреждения ВЛ от одного из ее концов (метод двухсторонних измерений). Функциональное назначение приборов — практически только ОМП на линиях электропередачи. Стоимость приборов вполне отвечала их назначению. Наряду с приборами типов ФИП и ЛИФП промышленностью выпускались также дистанционные индикаторы типа ФИС для непосредственного одностороннего измерения расстояния до места повреждения ВЛ. Других дополнительных функций эти индикаторы не несли. Индикаторы положительно зарекомендовали себя в эксплуатации, но отличались крайней громоздкостью. К настоящему времени безнадежно морально и технически устарели.

С выпуском промышленностью первых ФИ типа МФИ-1 на микропроцессорной элементной базе функциональные возможности индикаторов значительно расширились по сравнению с фиксирующими приборами серий ФИП и ЛИФП. Особенно это становится заметным, когда российской научно-производственной фирмой «Радиус» (г.Зеленоград) на основе последних достижений цифровой электронной техники был разработан и начат выпуск микропроцессорных ФИ типа ИМФ-З, а затем и ИМФ-ЗС. Последний наряду с определением расстояния до места короткого замыкания (к.з.) на ВЛ 110–750 кВ непосредственно в километрах позволяет фиксировать:

## РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И ПРОТИВОАВАРИЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

- вид к.з.;
- дату произошедшего к.з. и время его возникновения;
- полное значение тока к.з.;
- длительность протекания аварийного тока к.з.;
- токи и напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей;
- векторную диаграмму аварийного режима в полярных координатах.

Индикатор имеет память на 9 аварийных ситуаций, в которой сохраняются абсолютно все параметры последних девяти к.з. Кроме линий простой конфигурации индикатор можно использовать на магнитосвязанных параллельных ВЛ и линиях с ответвлением. Индикатор может быть подключен к компьютеру, что позволяет дистанционно задавать уставки и считывать данные об авариях с последующей обработкой на компьютере.

Анализируя сказанное, можно утверждать, что ФИ типа ИМФ-ЗС принципиально уже нельзя отнести к категории приборов, предназначенных исключительно для целей ОМП. Это уже не только индикатор для оперативной реализации функции определения расстояния до места повреждения ВЛ, но и аварийный регистратор, большая часть оперативной информации которого используется для анали-

за поведения средств РЗА при к.з. Ко всему прочему, индикатор относится к типу групповых устройств, так как его пуск возможен как при к.з. на «своей» линии (знак «плюс»), так и любой смежной линии (знак «минус»).

Дальнейшее развитие ФИ типа ИМФ ознаменовалось выпуском НПФ «Радиус» ФИ типа ИМФ-ЗР с возможностью прямого осциллографирования аварийных величин. По функциональным свойствам это уже законченные аварийные регистраторы для установки на ВЛ 110 кВ и выше в сетях сколь угодно сложной конфигурации [4]. Возможность установки на ВЛ 110 кВ и выше индикаторов ИМФ-ЗР позволяет значительно расширить перечень объектов энергосистем, на которых возможна регистрация параметров аварийных режимов. Так, таблицей 1.6.2 ПУЭ установка аварийного осциллографа на подстанции 110 кВ, выполненной по схеме мостика, не предусматривается. Однако, если установить индикатор ИМФ-ЗР всего лишь в одну из линий 110 кВ, что требуется п. 5.7.23 ПТЭ для решения задач ОМП для этой линии, то сразу автоматически решается не только задача ОМП при повреждениях уже на любой из двух линий и ошиновке 110 кВ подстанции, но и задача осциллографирования аварийных величин при повреждениях последних.

Таблица 1.

**Статистические данные отключений ВЛ 110 кВ за 2002 и 2003 годы по ОАО «Ставропольэнерго»**

Вид КЗ или обрыв (без КЗ)	Общее количество отключений ВЛ					Всего
	Длина ВЛ, км					
	Менее 10	10-20	20-30	30-100	Более 100	
К (1)	6	66	102	465	76	715
К (1,1)	-	1	1	3	1	6
К (2)	-	3	2	12	7	24
К (3)	-	2	1	4	-	7
Обрыв	-	-	3	5	-	8
Всего	6	72	109	489	84	760

В том числе					
Устойчивые КЗ	Неустойчивые КЗ			Не найдены при осмотре	Осмотр не производился
	Найдены при осмотре				
Найдены в месте, указанном ФИ	Ремонт требуется	Срочный ремонт не требуется			
31	173	76	261	174	
1	2	-	2	1	
5	3	1	9	6	
1	1	4	1	-	
4	4	-	-	-	
42	183	81	273	181	

## РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И ПРОТИВОАВАРИЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Согласно п. 5.7.15 ПТЭ после каждого автоматического отключения ВЛ релейной защитой должен быть произведен внеочередной осмотр этой ВЛ или ее участка с предполагаемым местом повреждения. Цель — определение степени повреждения элементов ВЛ, если последнее имеет место. В предлагаемой для анализа таблице представлены статистические данные отключений ВЛ 110 кВ суммарно за 2002 и 2003 годы по Ставропольской энергосистеме (подготовлены А.П. Каленской). В 181 из 760 случаев отключений ВЛ (23,8%) осмотр не производился в основном по причине отсутствия горючего для автотранспорта, а линия оставалась в работе после ее успешного автоматического повторного включения (АПВ). В 273 случаях (35,92%) причину отключения ВЛ выяснить не удалось. В 42 случаях (5,53%) на ВЛ произошли устойчивые к.з., когда оставить в работе ВЛ уже принципиально невозможно. В 81 случае (10,66%) ВЛ оставлена в работе потому, что надобности в ее срочном ремонте не было.

Суммируя эти данные, можно говорить о том, что в 70,38% случаев отключений ВЛ ремонтные бригады выезжали на их осмотр излишне или не выезжали вообще. В 183 случаях (24,08%) делался вывод о необходимости ремонта ВЛ, но и в этом случае она оставалась в работе. Последнее возможно, так как в большинстве современных сетей 110 кВ, в частности Ставропольэнерго, линии 110 кВ обладают способностью резервировать друг друга, или же в случае появления ослабленной ВЛ, когда автоматическое резервирование мало возможно, диспетчер заранее обязан принять меры, компенсирующие последствия ее аварийного отключения. В сетях более высокого напряжения, учитывая их системообразующий характер, осмотр ВЛ этих сетей после ее аварийного отключения, как правило, становится уже совершенно очевидным.

Обобщая сказанное, можно говорить о том, что обязательность осмотра ВЛ 110 кВ после ее аварийного отключения не всегда необходима и определяется ее ролью в конкретном участке сети 110 кВ, а экономическая эффективность применения ФИ на ВЛ только для целей ОМП определяется разницей затрат на осмотр всей ВЛ, что необходимо было бы делать при отсутствии ФИ, и затратами на осмотр только участка ВЛ с предполагаемым местом повреждения. Такой расчет экономической эффективности применения ФИ типа ИМФ-ЗР, установленных на обоих концах ВЛ 110 кВ, в предположении, что они используются только для целей ОМП, был выполнен по [5] и [6] А.Д. Черновым в службе РЗА Северокавказского РДУ. Оказалось, что суммарные приведенные затраты на эти ФИ в 6,22 раза больше, чем экономический эффект от их применения. Это согласуется с ранее сделанным выводом о том, что ФИ типа ИМФ-ЗР необходимо относить к устройствам, выполняющим функции аварийных регистраторов. Экономическая эффективность увеличивается, когда в полной мере используются все возможности индикатора, а не только функция ОМП — анализ работы РЗА и ПА, возможность автоматической передачи показаний ФИ на более высокий уровень управления, использование ФИ в качестве элемента общеобъектовой системы АСУ ТП и многое другое. Возможно именно поэтому п. 5.7.23 ПТЭ требует устанавливать на ВЛ напряжением 110 кВ и выше специальные приборы, а не фиксирующие приборы с одной узкой функцией ОМП.

### Выводы

1. Современные фиксирующие индикаторы типа ИМФ-ЗР необходимо относить к классу аварийных регистраторов.
2. Приобретение и установка на ВЛ фиксирующих индикаторов ИМФ-ЗР экономически оправдана, если используются все их функциональные возможности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. Шестое и седьмое издания (все действующие разделы). По состоянию на 15 августа 2005 года. Сибирское университетское издательство. Новосибирск, 2005.
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. СО 153-34.20.501-2003. М., 2003.
3. Сухоручкин И.В. Опыт наладки, применения и организации эксплуатации фиксирующих индикаторов в Ставропольэнерго // Электрические станции. 2002. №8.

4. Сухоручкин И.В., Пасторов В.М., Каленская А.П., Мироненко В.В. Наладка индикаторов ИМФ-ЗР, устанавливаемых на линиях сложной конфигурации // Электрические станции. 2004. №3.
5. Окалович М.Н. Проектирование электрических станций. М., Энергоатомиздат, 1982.
6. Шалыт Г.М. и др. Определение мест повреждения линий электропередач по параметрам аварийного режима. М., Энергоатомиздат, 1973.

# Расчет условно-постоянных потерь электрической энергии в электрической сети

**А.И. Гринь, кандидат технических наук,  
Северо-Кавказский государственный технический университет**

*Умение рассчитывать потери электрической энергии является важным требованием к центрам управления сетями. Надеемся, что публикуемый материал будет полезен для персонала указанных подразделений.*

Условно-постоянные потери являются частью технических потерь в электрических сетях и в основном не зависят от передаваемой мощности. Они составляют от 20 до 40 % общих технических потерь электроэнергии (ЭЭ). Значительную долю, до 16 % общих технических потерь ЭЭ, составляют потери на холостой ход силовых трансформаторов (автотрансформаторов).

Основные условно — постоянные потери ЭЭ находятся в оборудовании и в измерительных комплексах учета ЭЭ. Наиболее просто и с минимальными затратами на подготовку исходной информации их можно рассчитать по формуле:

$$\Delta W_{y-n} = \sum_{i=1}^{n_{об}} \Delta W_{yди}^{год} \cdot n_{обi}, \text{ тыс. кВт ч,}$$

где:

$\Delta W_{yди}^{год}$  — удельные годовые потери ЭЭ для  $i$ -го вида оборудования, принимаемые по соответствующим таблицам приказа № 267 Минпромэнерго РФ, тыс кВт ч.

$n_{обi}$  — общее количество  $i$ -го вида оборудования, находящегося в работе, шт.

К условно-постоянным потерям ЭЭ относят:

- потери на холостой ход силовых трансформаторов (автотрансформаторов);
- потери в шунтирующих реакторах (ШР), в компенсирующих устройствах (КУ) (синхронных компенсаторах (СК), батареях статических конденсаторов (БСК), статических тиристорных компенсаторов (СТК));
- потери в изоляции кабельных линий (КЛ);
- потери на корону в воздушных линиях (ВЛ) 110 кВ и выше;
- потери от токов утечки по изоляторам ВЛ 6(10) кВ и выше;

- потери в вентильных разрядниках (РВ), ограничителях перенапряжения (ОПН) и в устройствах присоединений высокочастотной связи (УПВЧ);
- потери в системе учета ЭЭ (измерительные трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН), счетчиках и соединительных проводах);
- потери в соединительных проводах и сборных шинах распределительных устройств подстанций (СППС);
- расход ЭЭ на собственные нужды (СН) ПС и на плавку гололеда.

Среди условно — постоянных потерь ЭЭ можно выделить потери, зависящие от погодных условий. К ним относятся:

- потери на корону в ВЛ 110 кВ и выше;
  - потери от токов утечки по изоляторам ВЛ 6(10) кВ и выше;
  - потери на плавку гололеда.
- Исходной информацией для расчета условно-постоянных потерь ЭЭ являются таблицы № 6–8 приказа № 267, в них указывается:
- количество и установленная мощность силовых трансформаторов;
  - количество и мощность устройств компенсации реактивной мощности;
  - протяженность (по цепям) ВЛ и КЛ.

Рассмотрим более подробно методики расчета составляющих условно-постоянных потерь ЭЭ.

Потери ЭЭ на холостой ход двухобмоточного, трехобмоточного трансформатора (в том числе в трансформатора собственных нужд (ТСН), автотрансформатора, трансформатора с расщепленной обмоткой определяют по паспортным данным потерь мощности холостого хода  $\Delta P_x$ .

Потери ЭЭ на холостой ход трансформатора определяются по формуле:

$$\Delta W_x = \Delta P_{xj} \sum_{i=1}^m \sum_j^n T_{pi} \left( \frac{U_{ij}}{U_{ном}} \right)^2,$$

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

где:

$\Delta P_{xj}$  — потери холостого хода j-го трансформатора;

$T_{pi}$  — число часов работы j-го трансформатора в i-м режиме;

$U_i$  — среднее напряжение на обмотке высокого напряжения трансформатора в i-м режиме;

$U_{ном}$  — номинальное напряжение обмотки высокого напряжения трансформатора;

m — количество характерных режимов в расчетном периоде;

n — количество трансформаторов.

Напряжение высшей обмотки трансформатора определяют с помощью измерений или с помощью расчетов установившегося режима сети в соответствии с законами электротехники.

Суммарные потери ЭЭ в трансформаторах всей сети определяются путем суммирования потерь всех трансформаторов за расчетный период.

Потери ЭЭ в ШР определяют по формуле (1) на основе приведенных в паспортных данных потерь мощности  $\Delta P_p$ . Допускается определять потери в ШР на основе данных таблицы 1.

Значения потерь, приведенные в таблице, соответствуют году с числом дней 365. При расчете нормативных потерь в високосном году применяется коэффициент  $k = 366/365 = 1,0028$ .

Потери ЭЭ в синхронном СК или генераторе, переведенном в режим СК, определяются по формуле:

$$\Delta W_{ск} = (0,4 + 0,1\beta_Q^2) \Delta P_{ном} \cdot T_p,$$

где:

$\beta_Q^2$  — коэффициент максимальной нагрузки СК в расчетном периоде;

$\Delta P_{ном}$  — потери мощности в режиме номинальной загрузки СК в соответствии с паспортными данными.

$T_p$  — время работы оборудования в часах.

Допускается определять потери в СК на основе данных таблицы 2.

Потери ЭЭ в статических компенсирующих устройствах — БСК и СТК определяются по формуле:

$$\Delta W_{KY} = \Delta p_{KY} S_{KY} T_p,$$

где:

$\Delta p_{KY}$  — удельные потери мощности в соответствии с паспортными данными КУ;

$S_{KY}$  — мощность КУ (для СТК принимается по емкостной составляющей).

$T_p$  — время работы оборудования в часах.

Таблица 1.

**Потери ЭЭ в ШР тыс.кВт/ч/МВА в год**

Удельные потери ЭЭ при напряжении, кВ								
6	10	15	20	35	60	110	154	220
94	94	74	65	36	35	32	31	29

Таблица 2.

**Потери ЭЭ в СК в тыс. кВт/ч в год**

Удельные потери ЭЭ при напряжении, кВ								
6	10	15	20	35	60	110	154	220
94	94	74	65	36	35	32	31	29

*Примечание.* При мощности СК, отличной от приведенной в таблице, потери ЭЭ определяются с помощью линейной интерполяции.

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Таблица 3.

### Потери ЭЭ в изоляции КЛ

Сечение, мм <sup>2</sup>	Потери ЭЭ в изоляции КЛ, тыс.кВтч/км в год, при номинальном напряжении, кВ					
	6	10	20	35	110	220
10	0,14	0,33	-	-	-	-
16	0,17	0,37	-	-	-	-
25	0,26	0,55	1,18	-	-	-
35	0,29	0,68	1,32	-	-	-
50	0,33	0,75	1,52	-	-	-
70	0,42	0,86	1,72	4,04	-	-
95	0,55	0,99	1,92	4,45	-	-
120	0,60	1,08	2,05	4,66	26,6	-
150	0,67	1,17	2,25	5,26	27,0	-
185	0,74	1,28	2,44	5,46	29,1	-
240	0,83	1,67	2,80	7,12	32,4	-
300	-	-	-	-	35,2	80,0
400	-	-	-	-	37,4	90,0
500	-	-	-	-	44,4	100,0
625	-	-	-	-	49,3	108,0
800	-	-	-	-	58,2	120,0

Таблица 4.

### Удельные потери мощности на корону

Напряжение ВЛ, тип опоры, число и сечение проводов в фазе	Суммарное сечение проводов в фазе, мм <sup>2</sup>	Потери мощности на корону, кВт/км, при погоде:			
		хорошая	сухой снег	влажная	изморозь
220ст-1х300	300	0,3	1,5	5,4	16,5
220ст/2-1х300	300	0,6	2,9	10,0	30,7
220жб-1х300	300	0,4	2,0	9,1	24,5
220жб/2-1х300	300	0,9	3,7	13,3	40,9
220-3х500	1500	0,02	0,05	0,27	0,99
154-1х195	195	0,12	0,35	1,20	4,20
154/2-1х195	195	0,17	0,51	1,74	6,12
110ст-1х120	120	0,013	0,04	0,17	0,69
110ст/2-1х120	120	0,015	0,05	0,25	0,93
110жб-1х120	120	0,019	0,06	0,30	1,10
110жб/2-1х120	120	0,020	0,07	0,35	1,21

**Примечания:**

1. Вариант 220-3х500 — линии 220 кВ, построенной в габаритах 500 кВ
2. Варианты 220/2-1х300, 154/2-1х195 и 110/2-1х120 соответствуют двухцепным линиям. Потери во всех случаях приведены в расчете на одну цепь.
3. Индексы «ст» и «жб» обозначают стальные и железобетонные опоры.

При отсутствии паспортных данных значение  $\Delta P_{\text{кУ}}$  принимаются равным: для БК — 0,003 кВт/квар, для СТК — 0,006 кВт/квар.

Потери ЭЭ в изоляции силовых кабелей принимаются в соответствии с данными заводов-изготовителей оборудования. При отсутствии данных завода-изготовителя расчетные потери принимаются в соответствии с таблицей 3.

Потери ЭЭ на корону ВЛ определяют на основе данных об удельных потерях мощности, приведенных в таблице 4, и о продолжительностях видов погоды в течение расчетного периода. При этом к периодам хорошей погоды (для целей расчета потерь на корону) относят погоду с влажностью менее 100 % и гололед; к периодам влажной погоды — дождь, мокрый снег, туман.

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Таблица 5.

### Удельные годовые потери ЭЭ на корону

Напряжение ВЛ, кВ, число и сечение проводов в фазе	Удельные потери ЭЭ на корону, тыс. кВтч/км в год, в регионе						
	1	2	3	4	5	6	6
220ст-1х300	19,4	16,9	14,9	13,3	12,2	10,4	15,3
220ст/2-1х300	36,1	31,2	27,5	24,7	22,7	19,3	29,5
220жб-1х300	29,1	24,4	21,5	19,3	17,7	15,1	22,2
220жб/2-1х300	49,0	41,5	36,6	32,9	30,2	25,7	37,9
220-3х500	1,3	1,1	1,0	0,9	0,9	0,7	1,0
154-1х195	7,2	6,3	5,5	4,9	4,6	3,9	5,7
154/2-1х195	10,4	9,1	9,0	7,1	6,9	5,7	9,3
110ст-1х120	1,07	0,92	0,90	0,72	0,66	0,55	0,95
110ст/2-1х120	1,42	1,22	1,07	0,96	0,99	0,73	1,13
110жб-1х120	1,71	1,46	1,29	1,15	1,06	0,99	1,36
110жб/2-1х120	1,95	1,59	1,39	1,25	1,14	0,95	1,47

*Примечание:* Значения потерь, приведенные в таблице, соответствуют году с числом дней 365. При расчете нормативных потерь в високосном году применяется коэффициент  $k = 366/365$ .

Таблица 6.

### Распределение территориальных образований Российской Федерации по регионам для целей расчета потерь, зависящих от погодных условий

Номер региона	Территориальные образования, входящие в регион
1	Республика Саха-Якутия, Хабаровский край. Области: Камчатская, Магаданская, Сахалинская
2	Республики: Карелия, Коми. Области: Архангельская, Калининградская, Мурманская
3	Области: Вологодская, Ленинградская, Новгородская, Псковская
4	Республики: Мари-Эл, Мордовия, Татария, Удмуртия, Чувашская. Области: Белгородская, Брянская, Владимирская, Воронежская, Ивановская, Калужская, Кировская, Костромская, Курская, Липецкая, Московская, Нижегородская, Орловская, Пензенская, Пермская, Рязанская, Самарская, Саратовская, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Тульская, Ульяновская, Ярославская
5	Республики: Дагестан, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкесская, Калмыкия, Северная Осетия, Чечня. Края: Краснодарский, Ставропольский. Области: Астраханская, Волгоградская, Ростовская
6	Республика Башкирия. Области: Курганская, Оренбургская, Челябинская
7	Республики: Бурятия, Хакасия. Края: Алтайский, Красноярский, Приморский. Области: Амурская, Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Свердловская, Томская, Тюменская, Читинская

При отсутствии данных о продолжительностях видов погоды в течение расчетного периода потери ЭЭ на корону определяют по таблице 5 в зависимости от региона расположения линии. Распределение территориальных образований Российской Федерации по регионам для целей расчета потерь, зависящих от погодных условий, приведено в таблице 6.

Влияние рабочего напряжения линии на потери на корону учитывают, умножая данные, приведенные в таблицах 4 и 5, на коэффициент, определяемый по формуле:

$$K_{U_{кор}} = 6,88U_{отн}^2 - 5,88U_{отн} \text{ о.е.},$$

где:

$U_{отн}$  — отношение рабочего напряжения линии к его номинальному значению.



## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Таблица 7.

### Удельные потери мощности от токов утечки по изоляторам ВЛ

Группа погоды	Потери мощности от токов утечки по изоляторам, кВт/км, на ВЛ напряжением, кВ										
	6	10	15	20	35	110	154	220	330	500	750
<b>1</b>	0,011	0,017	0,025	0,033	0,035	0,055	0,063	0,069	0,103	0,156	0,235
<b>2</b>	0,094	0,153	0,227	0,302	0,324	0,510	0,587	0,637	0,953	1,440	2,160
<b>3</b>	0,154	0,255	0,376	0,507	0,543	0,850	0,978	1,061	1,587	2,400	3,600

Таблица 8.

### Удельные годовые потери ЭЭ от токов утечки по изоляторам ВЛ

Номер региона	Потери ЭЭ от токов утечки по изоляторам ВЛ, тыс.кВт·ч/км в год, при напряжении, кВ										
	6	10	15	20	35	110	154	220	330	500	750
<b>1</b>	0,21	0,33	0,48	0,64	0,69	1,08	1,24	1,35	2,01	3,05	4,58
<b>2</b>	0,22	0,35	0,52	0,68	0,73	1,15	1,32	1,44	2,15	3,25	4,87
<b>3</b>	0,28	0,45	0,67	0,88	0,95	1,49	1,71	1,86	2,78	4,20	6,31
<b>4</b>	0,31	0,51	0,75	1,00	1,07	1,68	1,93	2,10	3,14	4,75	7,13
<b>5</b>	0,27	0,44	0,65	0,87	0,92	1,46	1,68	1,82	2,72	4,11	6,18
<b>6</b>	0,22	0,35	0,52	0,68	0,73	1,15	1,32	1,44	2,15	3,25	4,87
<b>7</b>	0,16	0,26	0,39	0,51	0,55	0,86	0,99	1,08	1,61	2,43	3,66

Таблица 9.

### Потери ЭЭ в РВ, ОПН и УПВЧ связи

Класс напряжения, кВ	Потери ЭЭ, тыс.кВт·ч в год по видам оборудования		
	РВ	ОПН	УПВЧ
6	0,009	0,001	0,01
10	0,021	0,001	0,01
15	0,033	0,002	0,01
20	0,047	0,004	0,02
35	0,091	0,013	0,02
110	0,60	0,22	0,22
154	1,05	0,40	0,30
220	1,59	0,74	0,43
330	3,32	1,80	2,12
500	4,93	3,94	3,24
750	4,31	8,54	4,93

*Примечание:* Потери ЭЭ в УПВЧ связи даны на одну фазу, для остального оборудования — на три фазы.

Потери ЭЭ от токов утечки по изоляторам ВЛ определяются на основе данных об удельных потерях мощности, приведенных в таблице 7, и о продолжительностях видов погоды в течение расчетного периода.

По влиянию на токи утечки виды погоды должны объединяться в 3 группы: 1 группа — хорошая погода с влажностью менее 90%, сухой снег, изморозь, гололед; 2 группа — дождь, мокрый снег, роса, хорошая погода с влажностью 90% и более; 3 группа — туман.

При отсутствии данных о продолжительностях различных погодных условий годовые потери ЭЭ от

токов утечки по изоляторам ВЛ принимаются по данным таблицы 8.

Потери ЭЭ в РВ, ОПН, УП ВЧ связи принимаются в соответствии с данными заводов-изготовителей оборудования. При отсутствии данных завода-изготовителя расчетные потери принимаются в соответствии с таблицей 9.

Потери ЭЭ в измерительных ТТ и ТН принимаются в соответствии с данными заводов-изготовителей оборудования. При отсутствии данных завода-изготовителя расчетные потери принимаются в соответствии с таблицей 10.

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Таблица 10.

### Потери ЭЭ в ТТ, ТН

Класс напряжения, кВ	Потери ЭЭ, тыс.кВт·ч в год по видам оборудования	
	ТТ	ТН
1	2	3
6	0,06	1,54
10	0,1	1,9
15	0,15	2,35
20	0,2	2,7
35	0,4	3,6
110	1,1	11,0
154	1,5	11,8
220	2,2	13,1
330	3,3	18,4
500	5,0	28,9
750	7,5	58,8

Примечание: Потери ЭЭ в ТТ напряжением 0,4 кВ принимаются равными 0,05 тыс.кВт·ч/год.

Потери ЭЭ в электрических счетчиках 0,22–0,66 кВ принимаются в соответствии с данными таблицы 11.

Потери ЭЭ в СППС принимаются в соответствии с таблицей 12.

Расход ЭЭ на плавку гололеда определяется на основе приборов учета, установленных на устройствах плавки гололеда. При отсутствии таких приборов уче-

Таблица 11.

### Потери ЭЭ в счетчиках ЭЭ

Тип счетчика		Потери в тыс. кВт·ч в год на один счетчик
однофазный	индукционный	0,0184
трехфазный	индукционный	0,092
однофазный	электронный	0,0219
трехфазный	электронный	0,0736

та допускается использование данных таблицы 13 в зависимости от района расположения ВЛ по гололеду.

Расход ЭЭ на СН подстанций определяется на основе приборов учета, установленных на ТСН. При установке прибора учета на шинах 0,4 кВ СН потери ЭЭ в ТСН должны быть добавлены к показанию счетчика.

В случае отсутствия приборов учета ЭЭ на СН ПС 10(6)/0,4 кВ удельный расход ЭЭ (кВт·ч/кВ·А) определяется по результатам энергетического обследования.

Нормативы условно-постоянных потерь ЭЭ принимаются по результатам их расчетов за базовый период и корректируются в соответствии с изменением состава оборудования и протяженности линий на регулируемый период.

Распределение условно-постоянных потерь ЭЭ на регулируемый период по классам напряжения производится в абсолютных единицах в пределах полученного суммарного абсолютного значения.

Таблица 12.

### Потери ЭЭ в СППС, тыс.кВт·ч на ПС в год

Удельные потери ЭЭ при напряжении, кВ											
6	10	15	20	35	60	110	154	220	330	500	750
1,3	1,3	1,3	1,3	3	6	11	18	31	99	415	737

Примечание: Значения потерь, приведенные в таблице, соответствуют году с числом дней 365. При расчете нормативных потерь в високосном году применяется коэффициент  $k = 366/365$ .

Таблица 13.

### Удельный расход ЭЭ на плавку гололеда

Число проводов в фазе и сечение, мм <sup>2</sup>	Суммарное сечение проводов в фазе, мм <sup>2</sup>	Расчетный расход ЭЭ на плавку гололеда, тыс.кВт·ч/км в год, в районе по гололеду			
		1	2	3	4
4x600	2400	0,171	0,236	0,300	0,360
8x300	2400	0,280	0,381	0,479	0,571
3x500	1500	0,122	0,167	0,212	0,253
5x240	1200	0,164	0,223	0,280	0,336
3x400	1200	0,114	0,156	0,197	0,237
2x400	800	0,076	0,104	0,131	0,158
2x300	600	0,070	0,095	0,120	0,143
1x330	330	0,036	0,050	0,062	0,074
1x300	300	0,035	0,047	0,060	0,071
1x240	240	0,033	0,046	0,056	0,067
1x185	185	0,030	0,041	0,051	0,061
1x150	150	0,028	0,039	0,053	0,064
1x120	120	0,027	0,037	0,046	0,054
1x95	95	0,024	0,031	0,038	0,044

# Некоторые новые задачи, решаемые в рамках ПВК «АНАРЭС-2000»

**О.Н. Шепилов**  
ООО «ИДУЭС», г. Новосибирск

В связи с реструктуризацией и переходом к конкурентному рынку электроэнергии и мощности наблюдается определенный пересмотр акцентов в основных задачах управления режимами электроэнергетических систем (ЭЭС). В данной статье рассматриваются четыре специфичные задачи, ставшие актуальными в последние годы, часть которых уже реализована в составе ПВК «АНАРЭС-2000» версия 2, а другая находится в конечной стадии разработки.

## 1. УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Данная задача реализована в составе ПВК «АНАРЭС-2000» в 2002-м году и проходит апробацию в ряде энергосистем. Интересно отметить, что, несмотря на относительную простоту математики и алгоритмов, она ранее не была реализована в промышленном виде ни в одном из используемых в энергетике России ПВК. Приведем краткое описание методики расчета [1].

Ток в проводе при заданном значении перегрева по отношению к воздуху ( $\Delta t$  °C) определяется по формуле:

$$I = \sqrt{\frac{(W_{лл} + W_{кк}) \Delta t}{R_t}} \quad \Delta t = t_{np} - t_{в} \quad ^\circ C$$

где:

$W_{лл}$  — коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием, Вт/(м × °C),

$$W_{лл} = 7,24 \cdot \zeta \cdot d \left( \frac{T_{cp}}{1000} \right)^3$$

$\zeta$  const = 0,6 — постоянная лучеиспускания; для проводов, находящихся в эксплуатации, принимается равным 0,6;

$d$  — диаметр провода, см;

$T_{cp}$  — среднее значение между температурой провода и температурой воздуха, °K;

$W_{кк}$  — коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м × °C);

$$T_{cp} = \frac{(T_{np} + T_{в})}{2} \quad K^\circ$$

$$W_{кк} = 1,1 \sqrt{V d}, \quad \text{— для ветра} \quad (V \geq 1,2 \text{ м/с})$$

$$W_{кк} = 0,16 \cdot d^{0,75} \cdot \Delta t^{0,3} \quad \text{— для штиля} \quad (V < 1,2 \text{ м/с})$$

$V$  — скорость ветра, направленного перпендикулярно к проводу, м / сек.

При ветре более 1,2 м / сек, направленном вдоль провода, теплоотдача конвекцией уменьшается на 50%;

$R_t$  — сопротивление провода при температуре  $t$ , Ом / м,

$$R_t = \frac{R_{20}(1 + \alpha' t)}{1,08}$$

где:

$R_{20}$  — сопротивление провода при температуре 20°С, Ом / м

$\alpha'$  = 0,004(°C)<sup>-1</sup> — температурный коэффициент материала провода ( для меди и алюминия принимается равным 0,004(°C)<sup>-1</sup>).

Расчет предельных токовых нагрузок может производиться без учета солнечной радиации. Поглощенная проводом энергия солнца в умеренных широтах может повысить температуру провода, работающего в диапазоне нормированных температур всего на 1–2 °C, что лежит в пределах точности расчета.

Допустимая температура нагрева провода по условию расстояния между проводом и землей должна определяться для каждого пролета линии в отдельности.

## 2. РАСЧЕТ ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК

После расчета фактической температуры провода достаточно просто выполняется расчет длительно допустимых токов в зависимости от: сечения провода; температуры окружающего воздуха; максимальной допустимой температуры нагрева провода. В ПВК

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

«АНАРЭС-2000» реализованы два алгоритма расчета длительно допустимых токов:

1 — классический приближенный (в зависимости от сечения и диапазона температур окружающей среды);  
2 — уточненный, описанный выше.

Приближенный алгоритм не приводится, так как он имеется во многих ПВК.

Уточненный алгоритм учета климатических факторов для расчетов технических потерь и длительно допустимых токов [1,2,3]:

- 1) Расчет УР для температуры 25 °С;
- 2) Расчет фактической температуры провода ( решение уравнений теплового баланса для каждой линии электропередачи);
- 3) Уточнение  $R_t$ ;
- 4) Уточненный расчет УР с учетом фактической температуры провода каждой линии (уточненный расчет технических потерь);
- 5) Вычисление максимального длительно допустимого тока —  $I_{\max}(t)$

$$t_{\text{пр}} \leq T_{\max} (70-80^\circ \text{C}).$$

Результаты расчетов для схемы Красноярскэнерго показали, что в диапазоне температур  $-40$  —  $+30^\circ\text{C}$  разброс технических потерь и длительно допустимых токов составляет соответственно:

$$\text{var } \Delta P = \pm 10 - 15\% \Delta P_{20} \quad \text{для потерь};$$

$$\text{var } I_{\max} = \pm 30 - 40\% I_{\max 25} \quad \text{для токов}.$$

### 3. ЗАДАЧА ОБРАБОТКИ КОНТРОЛЬНОГО ЗАМЕРА (ОКЗ)

Программа обработки контрольного замера значительно снижает время решения задачи ОКЗ за счет высокой технологичности сбора и подготовки данных и высокой эффективности математических алгоритмов.

Предусмотрено задание данных, собранных из нескольких источников: ТИ и ТС, информация, передаваемая с мест по электронной почте, информация, передаваемая на твердых носителях.

Снижение времени ОКЗ обеспечивается максимально высокой автоматизацией ввода и привязки исходных данных к расчетной схеме и высокоэффективными алгоритмами балансирования режима.

ПВК АНАРЭС-2000 (версия-2) при обработке контрольного замера позволяет:

- выполнить привязку расчетной схемы к любому ОИК с открытой базой данных;
- выполнить привязку расчетной схемы к данным, переданным в электронном виде с подстанций, на которых отсутствуют средства телеметрии ЭЭС;
- выполнять контроль грубых ошибок и подозрительных замеров;
- выполнять эквивалентирование ненаблюдаемых участков эл.схемы;

- одновременно выполнять отладку любого числа замеренных срезов за замерный день;
- использовать экспертные методы для моделирования и оценки отсутствующих замеров;
- использовать статистические методы для моделирования и оценки погрешности замеров;
- одновременно отображать на расчетной схеме несколько срезов;
- сравнивать оцененный режим с замеренными в предыдущие годы;
- вести архив замерных дней;
- выполнять грубое балансирование режима;
- выполнять уточненную оценку контрольного замера;
- выводить результаты контрольного замера в форме, которую требует вышестоящая диспетчерская организация.

На рис.1 приведена упрощенная структурная схема указанной задачи.

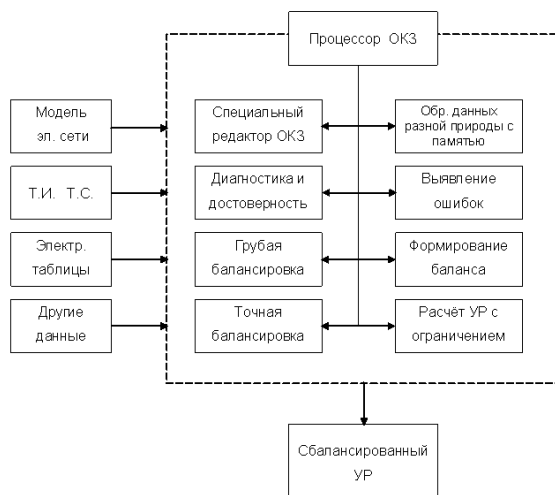
### 4. ЗАДАЧА ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ (ООН)

Новые структурные и экономические условия в электроэнергетике обуславливают актуальность дальнейшего развития автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ) ЭЭС России. Основной подсистемой АСДУ является использование результатов подсистемы оперативного управления режимами (ОУР) ЭЭС. Усложнение условий управления режимами ЭЭС по целому ряду причин и прежде всего вследствие снижения резервов мощности, повышения требований к оперативности расчетов для обеспечения надежности электроснабжения определяет актуальность развития подсистемы оперативного управления режимами (ОУР) ЭЭС.

На рис.2 приведена упрощенная структурная схема указанной задачи.

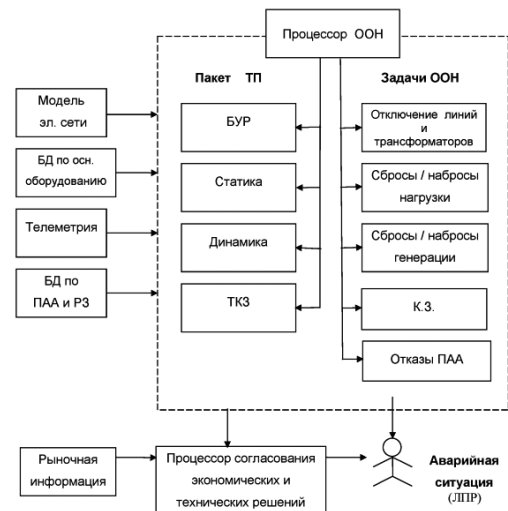
Задача расчета показателей надежности ЭЭС в рамках ПВК «АНАРЭС-2000» предназначена для определения основных показателей надежности (режимной, отказов и т.д.). Программа использует имитационное моделирование, что позволяет «проигрывать» аварийные ситуации по общепринятому алгоритму «n-1» [4]. Новизной программы является возможность моделирования не только аварийных возмущений, но и отказов автоматики в аварийных ситуациях и возможность вероятностного расчета установившегося режима (УР) для решения задач надежности на базе модели текущего режима ЭЭС. Модель текущего режима ЭЭС формируется комплексом оценивания состояния ЭЭС в реальном времени. Вероятностный расчет УР позволяет интегрально оценить запасы по статической устойчивости, как по сечениям, так и по системе в целом. Показатели надежности определяются в стоимостном виде с учетом рыночных факторов для субъектов ФОРЭМ.

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ



**Рисунок 1.**

Структурная схема задачи Обработки контрольного замера



**Рисунок 2.**

Структурная схема задачи Оперативной оценки надежности режима ЭЭС

Предполагается в дальнейшем создание комплексной системы оценки надежности ЭЭС, которая может использоваться на уровнях ЦДУ, ОДУ, РДУ, ФСК, АТС, энергосбытовых компаний (в рамках тех задач, которые определены для них законодательством). При этом основными задачами первого этапа создания такой системы являются:

- создание нового единого формата обмена числовыми данными между программами анализа и расчета УР;
- создание нового единого формата обмена графическими данными между режимными программами;
- создание единых подходов для формирования схем (моделей) замещения у участников (субъектов) различных уровней — начиная от первичных потребителей (моделируются графиками нагрузок на своих шинах) и заканчивая объединенными узлами нагрузки (уровень РДУ и выше, которые моделируются схемами замещения, включающими первичные потребители);
- создание у всех субъектов рынка баз данных первичного оборудования, на основе которых могут автоматически формироваться схемы замещения электрической сети для проведения режимных расчетов (расчетов надежности);

- практическая реализация алгоритмов анализа режимной надежности (уровень СО ЦДУ, ОДУ, РДУ);
- практическая реализация алгоритмов анализа аппаратной надежности (уровень ФСК, СК);
- обеспечение согласованной работы СО ЦДУ, ФСК, АТС, которая является основным условием обеспечения надежной работы ЭЭС, объединенных и районных энергосистем.

Результатом работы является комплекс программ в составе подсистемы ОУР, который позволит решать задачи анализа оперативной надежности на базе оценочного режима для схем произвольной размерности в темпе поступления телеметрической информации и тем самым повысить эффективность управления ЭЭС независимым системным оператором, операторами РДУ и СК.

### 5. РЕЗЮМЕ

Вопросы рыночных взаимоотношений субъектов ФОРЭМ в настоящее время решаются, в основном, с экономических позиций. При этом, с нашей точки зрения, уделяется недостаточно внимания задачам надежности, что потенциально может привести к образованию больших системных аварий. Концепции, заложенные в ПВК «АНРЭС-2000», ориентированы на гармоничное сочетание задач экономичности и надежности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по расчету проводов и кабелей. Ф.Ф. Карпов, В.Н. Козлов. М.: Энергия, 1969.
2. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. М.: Энергоатомиздат, 1991.
3. Решение № 8–6/5. Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям нагрева проводов для действующих линий электропередачи. Главное

техническое управление по эксплуатации энергосистем. М.: Союзтехэнерго, 1978.

4. Надежность и эффективность функционирования больших транснациональных ЭЭС. Ю.Н. Кучеров, О.М. Кучерова, Л. Капои, Ю.Н. Руденко. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 423 стр.

# Визуальные средства обеспечения надежной работы диспетчерского персонала энергосистем

*В.П. Будовский, кандидат техн. наук*

Надежная работа диспетчерского персонала является чрезвычайно важным фактором обеспечения надежного функционирования энергосистем. Состояние энергосистемы диспетчерский персонал оценивает по информации, которую он получает от нижестоящего оперативного персонала, а также от средств автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ), причем последний канал получения информации приобретает в последнее время все большее значение. При этом правильное представление о состоянии управляемого объекта зависит не только от полноты полученной информации, но и от способа ее предъявления диспетчеру, анализу данной проблемы и посвящена настоящая работа.

Объем работы, выполняемый диспетчерским персоналом, весьма многообразен, и рассмотрение всех его аспектов представляется достаточно объемной задачей, которая не может быть решена в рамках одной статьи. Поэтому сразу определим, что в настоящей работе будут рассмотрены вопросы обеспечения надежной работы диспетчерского персонала в нормальных режимах работы энергосистемы.

Диспетчерское управление энергосистемой является ярким примером системы «человек-машина», поэтому для обеспечения надежной работы такой системы необходим учет как технических характеристик машинной части системы, так и учет психологических характеристик человека [1–4].

Скорость запоминания и воспроизведения оперативной информации является важнейшей характеристикой, определяющей пропускную способность системы «человек-машина». Она прямо связана с оперативной памятью человека, позволяющей сохранять текущую информацию на время, необходимое для решения тех или иных практических задач. Если объем поступающей информации не превышает объем оперативной памяти, то вся она успевает перерабатываться. По данным [1] такой баланс возможен при скорости поступления информации в несколько бит/сек. Однако, если длина последовательности символов даже ненамного превышает емкость оперативной памяти, скорость запоминания резко снижается до десятых долей бит/сек и менее.

Основные пути повышения скорости функционирования оперативной памяти: сокращение длины последовательности воспринимаемых человеком сиг-

налов и применение технических средств, разгружающих память.

Нормальные условия работы оперативной памяти для решения сложных задач создаются при одновременном предъявлении не более 10–15 показателей. Примерно таково же предельное число объектов, сведения о которых характеризуются несколькими параметрами.

Откуда следует, что объем, состав и форма предъявления информации должны соответствовать как решаемым задачам, так и психологическим возможностям человека. Сигналы должны быть лаконичными, так как быстрота и точность приема, переработки информации человеком приблизительно пропорциональна количеству элементов, которые оператор должен держать под наблюдением.

Форма информации не должна требовать от человека дополнительного перекодирования. Общий объем информации должен способствовать максимальной возможной разгрузке оперативной памяти. Сигналы системы информации должны обеспечивать диспетчеру возможность предвидения общей ситуации и результатов своих действий. А характеристики сигналов — необходимый уровень дифференциального восприятия этих сигналов.

Объем информации должен исключать как недогрузку, так и перегрузку. Информация должна подаваться таким образом, чтобы оптимальный уровень бодрствования диспетчера оставался постоянным.

Кодирование зрительной информации [2] оказывает большое влияние на надежность и эффективность приема и переработки информации человеком. При кодировании различных качественных и количественных характеристик объектов можно использовать алфавиты различных видов:

- условные знаки;
- буквы;
- математические знаки;
- абстрактные геометрические фигуры;
- ориентировку линий в пространстве;
- цветовой тон;
- цифры и тд.

Вид алфавита выбирается с учетом характера передаваемой информации и задач, решаемых диспетчером для обеспечения максимальной скорости, надежности обнаружения, различения, идентификации и декодирования информации человеком.

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Таблица 1.

### Использование цвета при кодировании информации

Категория информации	Рекомендуемый цвет
Предупреждающая информация носит осведомительный характер, содержит сведения об общей обстановке (исключая аварийную) и рекомендации для принятия мер, оставляя за диспетчером право выбора окончательного решения	Желтый/Белый
Предписывающая информация носит командный характер, требует или разрешает выполнение строго определенных действий. К этой категории можно отнести и информацию проверочного характера, указывающую на исправность или готовность к работе тех или иных устройств	Зеленый/Синий
Запрещающая информация носит аварийный характер, накладывает строгие ограничения на выполнение или запрещение тех или иных действий, указывает на неготовность к работе или неисправность того или иного объекта	Красный/Оранжевый

Главную роль в опознании знака играет его контур, который должен быть хорошо различим. В зависимости от признаков отображаемого объекта к контуру добавляют внутренние и наружные детали, буквы, цифры и используют цвет.

В табл. 1 приведены основные рекомендации [2] по использованию цветового кода.

Построенные на основании изложенных принципов средства отображения информации должны адекватно отображать объект управления, рабочие процессы и соответствовать задачам диспетчера по управлению системой, а также обеспечивать информационный баланс в системе и не приводить к таким нежелательным последствиям, как дефицит или избыток информации. Они должны отображать лишь те свойства, отношения и связи управляемых объектов, которые являются существенными для решаемой оператором задачи.

В зависимости от принципа построения средства отображения информации [1] делятся на четыре типа.

**Системы с индивидуальным способом предъявления информации** (рис.1,а) характеризуются тем, что состояние каждого контролируемого параметра отображается своим индивидуальным индикатором. Информация предъявляется диспетчеру всеми индикаторами одновременно. Ввиду большого объема избыточной информации для сокращения времени поиска и облегчения нахождения причинно-следственных связей необходимо использовать различные методы функциональной организации отдельных индикаторов: мнемосхемы, структурные схемы, группировку по целевому или функциональному признаку.

**Системы с отображением информации в обобщенной форме** (рис.1,б) характеризуются

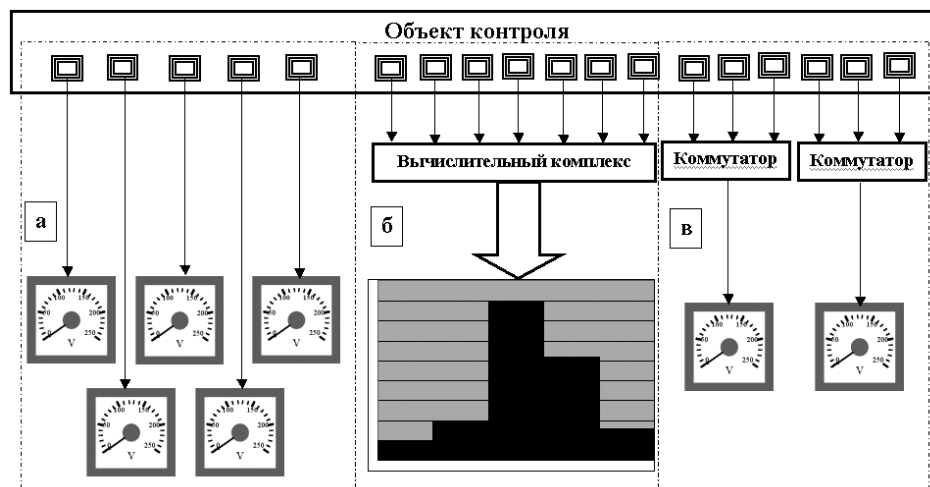
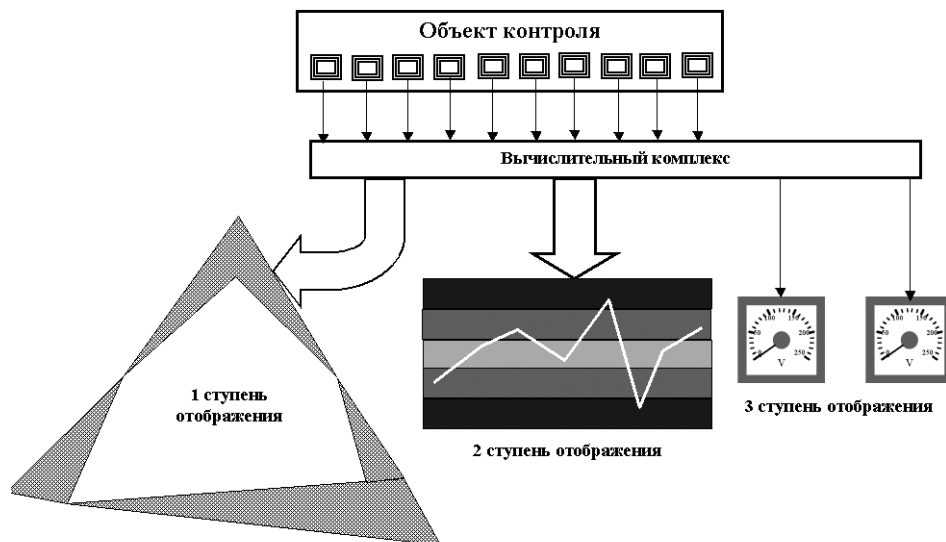


Рисунок 1.

Структурные схемы систем отображения информации:

а — с индивидуальным способом предъявления информации; б — с отображением информации в обобщенной форме; в — с регулируемым потоком информации

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ



**Рисунок 2.**

Структурная схема иерархической системы отображения информации

тем, что информация о множестве параметров отображается на одном индикаторе в виде единой, обобщенной характеристики. Для уменьшения времени поиска причин выхода обобщенной характеристики за допустимые значения ее дополняют средствами индивидуального отображения наиболее важных параметров.

**Системы с регулируемым потоком информации** (рис. 1, в) характеризуются тем, что общий поток, идущий от объекта управления, искусственно делится на ряд малых потоков, предъявляемых диспетчеру одними и теми же индикаторами. Информация может предъявляться с приоритетом или только для величин, которые вышли за допустимые пределы.

**Системы с иерархическим способом предъявления информации** (рис. 2) характеризуются многоступенчатой структурой построения системы отображения информации. На ступени 1 отображается состояние контролируемого объекта в целом. Диспетчер непрерывно снабжается информацией об общей ситуации без ее детализации. На ступени 2 по указанию диспетчера отображается состояние отдельной части объекта управления. При этом предъявляется только та информация, которую найдет нужным получить диспетчер после ознакомления с общей ситуацией. На ступени 3, по требованию диспетчера, отображается информация о состоянии каждого контролируемого параметра.

Выбор типа средств отображения информации зависит от соотношения между потоком информации  $F_{инф.}$ , подлежащей отображению, и пропускной способностью диспетчера  $F_{дис.}$

При  $F_{инф.} < F_{дис.}$  (1)

целесообразно использование индивидуальных средств отображения информации.

При  $F_{инф.} \approx F_{дис.}$  (2)

рекомендуется группировка информации с использованием обобщенной формы или регулируемого потока.

При  $F_{инф.} > F_{дис.}$  (3)

необходимо разделение информации на приоритетные группы с регулируемым потоком.

На каждом этапе работы диспетчера должно выполняться условие (1), если же нет возможности разделить исходную информацию на ряд частных потоков, а также в случае

$F_{инф.} \gg F_{дис.}$  (4)

следует применять иерархический способ предъявления информации.

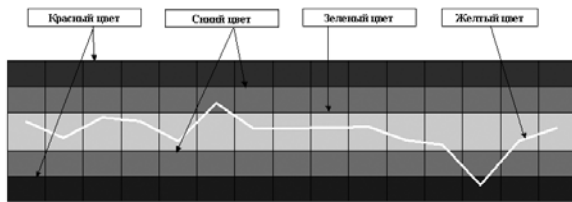
Следует отметить, что анализу деятельности диспетчера с описанных позиций до настоящего времени не уделялось достаточно внимания. Основные работы в области эргономики проводились для операторов энергоблоков [3] электростанций. В настоящей работе предпринята попытка применения разработанных в инженерной психологии принципов для повышения надежной работы диспетчерского персонала при управлении электрическими сетями и энергосистемами.

Весь комплекс работ, выполняемых диспетчером энергосистемы, условно разобьем на два направления.

Первое — деятельность, требующая от диспетчера наблюдения с помощью средств АСДУ за каждым контролируемым параметром в процессе проведения этой деятельности: обеспечение баланса производства и потребления электроэнергии в соответствии с заданным диспетчерским графиком; руководство переклещением в сетях; организация ввода и вывода



## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ



**Рисунок 3.**  
Вид информационного табло второй ступени иерархии

из работы оборудования; регулирование перетоков мощности по межсистемным связям и др.

Второе направление — деятельность, связанная с контролем основных режимных параметров энергосистемы: соответствие уровней напряжения минимуму потерь электроэнергии и предельно допустимым уровням нормальной работы оборудования; соответствие потоков мощности допустимым значениям работы оборудования и критериям устойчивой работы энергосистемы; контроль за наличием необходимых резервов мощности на электростанциях и др.

Именно второе направление работы загружает диспетчера огромным потоком информации (4) ввиду значительных объемов контролируемых объектов, разбросанных по значительным территориям, и большого разнообразия режимов их работы.

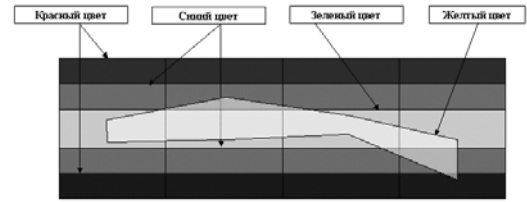
Указанные соображения приводят к необходимости организации иерархической системы представления информации о состоянии основных режимных параметров энергосистемы.

Методы отображения информации на третьей ступени иерархии, где отображается информация о состоянии каждого контролируемого параметра, достаточно хорошо разработаны и основаны на использовании различных видов мнемосхем [4].

Рассмотрим подробно возможные методы отображения информации на первой и второй ступенях иерархии, позволяющие повысить надежность работы диспетчерского персонала при управлении энергосистемами.

Для организации потока информации на второй ступени иерархии разобьем все контролируемые параметры второго направления деятельности на информационные блоки в соответствии с видом контролируемого параметра: напряжение, поток мощности по ЛЭП, поток мощности в сечениях энергосистемы и т.д. Для каждого информационного блока целесообразно иметь свое информационное табло, отражающее общее состояние всех параметров, входящих в данный информационный блок.

Принимая во внимание изложенные ранее принципы построения средств отображения информации и дополнительно учитывая, что последовательность «горизонтальный ряд» наиболее соответствует сложившимся навыкам чтения письма, можно рекомендовать для информационного табло второго уровня иерархии вид, приведенный на рис.3.



**Рисунок 4.**  
Вид информационного табло первой ступени иерархии

Зоны табло, выделенные красным цветом, соответствуют недопустимым значениям контролируемых параметров. Зоны выделенные синим цветом — допустимым значениям параметров, но вышедшим за пределы рекомендованных значений по тем или иным критериям. Зона зеленого цвета соответствует рекомендованным значениям контролируемого параметра. Желтая линия внутри указанных зон отображает реальное значение контролируемого параметра, идеальный ее вид представляет собой горизонтальную прямую внутри зеленой зоны. Искажение указанной линии, приводящее к выходу из зеленой зоны, сигнализирует о нежелательных (синяя зона) или недопустимых (красная зона) отклонениях контролируемых параметров данного информационного блока. Для уточнения режима диспетчер может перейти к 3 уровню отображения информации.

На **первой ступени иерархии** требуется объединение всех информационных блоков в один интегральный информационный блок. Общий вид информационного табло первой ступени может быть аналогичен информационному табло второй ступени (рис. 4), за исключением метода отображения реального значения контролируемого параметра. Поскольку на первой ступени иерархии отображается интегральная характеристика состояния контролируемой энергосистемы, то вместо линии отображается желтая лента, показывающая диапазон изменения контролируемого параметра внутри каждого информационного блока. Расположение желтой ленты внутри зеленой зоны соответствует наиболее благоприятному режиму работы контролируемой энергосистемы, нарушение нормального режима работы приводит к выходу желтой ленты за пределы зеленой зоны. Для уточнения режима диспетчер имеет возможность «раскрыть» информационное табло второго уровня, соответствующее информационному блоку с параметрами вышедшими за допустимые пределы.

При построении информационного табло второй ступени иерархии для контроля уровней напряжения следует иметь в виду следующие факторы:

1. Различные уровни номинальных напряжений контролируемых параметров —  $U_{нj}$ .
2. Диапазон допустимых значений напряжений по критерию минимума потерь в электрической сети, разный в различных контрольных точках —  $U_{эminj}$  и  $U_{эmaxj}$ .

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

3. Диапазон предельно допустимых значений напряжений может так же различаться в различных контрольных точках —  $U_{\text{pminj}}$  и  $U_{\text{pmaxj}}$ .

Аналогичные ограничения существуют и для других видов контролируемых параметров.

Приведенные соображения требуют решения еще одной задачи — **масштабирование контролируемых параметров** для приведения их к единой шкале информационного табло.

Обозначим границы зон информационного табло:

$D_{\text{rmin}}$  — нижняя граница рекомендованных значений контролируемого параметра;

$D_{\text{rmax}}$  — верхняя граница рекомендованных значений контролируемого параметра;

$D_{\text{dmin}}$  — нижняя граница допустимых значений контролируемого параметра;

$D_{\text{dmax}}$  — верхняя граница допустимых значений контролируемого параметра.

Тогда точка  $D_j$  отображения контролируемого параметра, соответствующая реальному значению  $U_j$ , определится следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{при } U_{\text{эminj}} < U_j < U_{\text{эmaxj}}, & D_j = D_s + (U_j - U_{\text{эj}})/(U_{\text{эj}} \cdot \Delta r_j); \\ \text{при } U_j > U_{\text{эmaxj}}, & D_j = D_{\text{rmax}} + (U_j - U_{\text{эmaxj}})/(U_{\text{эj}} \cdot \Delta d_j); \quad (5) \\ \text{при } U_j < U_{\text{эminj}}, & D_j = D_{\text{dmin}} + (U_j - U_{\text{эminj}})/(U_{\text{эj}} \cdot \Delta d_j); \end{array} \right.$$

где  $D_s = (D_{\text{rmax}} + D_{\text{rmin}})/2$ ;

$U_{\text{эj}} = (U_{\text{эmaxj}} + U_{\text{эminj}})/2$ ;

масштаб в зоне рекомендованных значений контролируемого параметра

$$\Delta r_j = (U_{\text{эmaxj}} - U_{\text{эminj}})/(U_{\text{эj}} \cdot (D_{\text{rmax}} - D_{\text{rmin}}));$$

масштаб в верхней зоне допустимых значений контролируемого параметра

$$\Delta d_j = (U_{\text{pmaxj}} - U_{\text{эmaxj}})/(U_{\text{эj}} \cdot (D_{\text{dmax}} - D_{\text{rmax}}));$$

масштаб в нижней зоне допустимых значений контролируемого параметра

$$\Delta d_j = (U_{\text{эminj}} - U_{\text{pminj}})/(U_{\text{эj}} \cdot (D_{\text{rmin}} - D_{\text{dmin}})).$$

Аналогичные преобразования можно разработать и для других видов контролируемых параметров (поток мощности по ЛЭП, поток мощности в сечениях энергосистемы и т.д.).

Создание системы информационных табло с иерархическим принципом представления информации о режимных параметрах энергосистемы позволит существенно снизить поток перерабатываемой диспетчером информации и, следовательно, повысить надежность его работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по инженерной психологии / под ред. Б.Ф. Ломова. М.: Машиностроение, 1982.

2. ГОСТ 21829-76. Система «человек-машина». Кодирование зрительной информации. Общие эргономические требования.

3. Тяпченко Ю.А. Подходы к синтезу систем отображения информации энергоблоков. Прикладная эргономика (Специальный выпуск: «Эргономика в энергетике»). 1993. №3-4.

4. ГОСТ 21480-76. Система «человек-машина». Мнемосхемы. Общие эргономические требования.

# Проблемы современного энергетического тренажеростроения через призму терминологии

**С.И. МАГИД** (TEST UNESCO), академик АПЭ, д.т.н., профессор,  
**И.Ш. ЗАГРЕТДИНОВ**, исполнительный директор ОАО РАО «ЕЭС России» (Бизнес-единицы №1),  
**Е.Н. АРХИПОВА**, к.т.н. (ЗАО «ТЭСТ»)  
**Л.П. МУЗЫКА**, к.т.н., доцент (Учебный центр «Энергетик» г. Омск)

*Настоящая статья посвящена проблемам современного тренажеростроения и обсуждению регламента тренажерной подготовки и обучения персонала в электроэнергетике.*

В связи со складывающимися новыми административными и технологическими отношениями в формируемой электроэнергетике РФ, а также с необходимостью преодоления кризисных явлений в отрасли, связанных с дефицитом мощности и с износом действующего оборудования, значительно увеличивающими влияние человеческого фактора на надежность энергосистем, вопрос регламентации процесса подготовки оперативного персонала генерирующих и распределяющих энергообъектов становится приоритетным.

В РАО «ЕЭС России» в настоящее время приняты «Концепция по обеспечению надежности в электроэнергетике» [1], «Стандарт организации профессиональной подготовки, переподготовки, повышения квалификации персонала СО-ЕЭС-ПП-1-2005» [2], а также «Регламент деятельности образовательных учреждений ОАО РАО «ЕЭС России» [3], предусматривающие комплексный подход к реализации мероприятий, включающие и человеческий фактор, и направленные на обеспечение надежности, экономичности, эффективности и безопасности выработки, распределения и потребления электрической энергии и тепла. Кроме того, принято решение о разработке «Комплексной программы РАО «ЕЭС России» по управлению человеческими ресурсами и профессиональной подготовки кадров».

Таким образом, обсуждаемый ниже проект «Регламента тренажерной подготовки и обучения персонала в электроэнергетике» (далее — Регламент) должен соответствовать требованиям указанных документов, а также требованиям системы отраслевой нормативной документации (стандартизации).

В связи с тем, что с выходом рассматриваемого Регламента утрачивают силу «Нормы годности программных средств подготовки персонала энергетики» (СО 153-34.0-12.305-99) (далее — Нормы), указанный «Регламент», очевидно, является их заменой.

Однако, судя по названию, Регламент значительно расширяет сферы действия Норм, так как призван упорядочить в электроэнергетике:

- тренажерную подготовку;
- обучение персонала.

Таким образом, в рассматриваемом новом документе регламентируются не только «программные средства подготовки персонала», но и система тренажерной подготовки и вообще вся система обучения персонала, что логично корреспондируется с критикой в адрес «Норм» со стороны всех заинтересованных энергетических и др. предприятий РАО «ЕЭС России».

Далее рассмотрим раздел Регламента «Термины и определения» с вариантами определений: Нормы, Регламент и Авторы.

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

### Предварительный методологический комментарий

В классическом смысле семантического аспекта теории информации [4] под составлением тезауруса (свода кодов, терминов) любой области знания понимается разработка дефиниций, то есть кратких определений набора терминов, характеризующих описываемую область. Определение терминов, в свою очередь, — это логическая операция, раскрывающая содержание понятия о конкретном предмете.

Определить понятие — значит:

- указать, что оно означает;
- раскрыть сущность определяемого предмета;
- выявить признаки, входящие в его содержание;
- отличить и отграничить определяемый предмет от всех иных;
- проверить соблюдение правил определения (взаимозаменяемость, соразмерность, избыточная ширина или узость, тавтология, ясность, краткость).

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ

Проверка правильности разрабатываемого определения заключается в сопоставлении его с описываемой областью. Адекватное описание области определения — истинно, описание не соответствующее реальному объекту — ложно.

Дополнительной задачей составителя тезауруса нормативного документа является то, что функция описания должна нести в себе признаки долженствования (номинальности), то есть необходимо определить не только, каким является описываемый предмет, а и определить, каким он должен быть. Номинальные определения, как правило, дополнительно проверяются на эффективность, целесообразность и правомерность.

Таким образом, основной задачей составителя тезауруса нормативного документа является реализация семантического и прагматического фильтров [5], позволяющих разработать такое определение термина, которое при соответствии приведенным правилам должно являться основой той номинальной прагматической информации, которая будет принята и понята получателем и должна быть полностью лишена семантического и прагматического шумов, то есть избыточной, несоразмерной, тавтологической, неясной информации, а также быть эффективной, целесообразной и правомерной. Например.

### Автоматизированный учебный курс (АУК)

**Нормы:** «АУК — программное средство профессиональной подготовки персонала, отвечающее требованиям методик подготовки, реализующее предъявление обучаемому графического и текстового материала нормативно-технической документации конкретного учебного курса и обеспечивающее контроль качества подготовки обучаемых».

**Регламент:** «АУК — программное средство профессиональной подготовки персонала, отвечающее требованиям методик подготовки, организующее учебную деятельность пользователя с целью формирования его знаний и навыков на заданном уровне».

#### Комментарий:

Описываемая область определения может быть представлена в следующей инженерной интерпретации [6]:

*«Автоматизированные учебные курсы предназначены для изучения персоналом схем, устройства, конструкции энергообъектов и процессов в энергооборудовании, а также для обучения персонала энергопредприятий приемам правильной эксплуатации технологического оборудования. За основу курса берется инструкция по эксплуатации заданного энергообъекта, принятая на энергопредприятии. В программе текст инструкции должен быть снабжен иллюстрациями и схемами, способствующими более полному усвоению учебного материала. Все курсы должны иметь оболочки, включающие программу самостоятельной проверки знаний и программу экзаменационного тестирования.»*

**Необходимый состав:** материал учебного курса с иллюстрациями, схемами и таблицами; программа самостоятельной проверки знаний; программа экзаменационного тестирования (с автоматическим формированием билета, выставлением оценки и генерацией протокола тестирования с комментариями).

**Требуемые функциональные возможности:** интерактивность учебного материала; использование современных графических, анимационных, акустических и других видеотехнологий в процессе обучения; удобный просмотр иллюстраций; режимы самопроверки и экзаменационного тестирования; ведение протокола экзамена с сохранением и печатью; возможность подключения к тренажеру».

Проверка определений АУК (Норм и Регламента) в соответствии с приведенной методологией и сопоставлении их с описываемой областью показывает на наличие семантических и прагматических шумов:

- определения Норм и Регламента не проходят прагматический фильтр, так как они избыточны относительно формулировки — «отвечающее требованиям методик подготовки» по той причине, что АУК в качестве программно-технического средства должен быть индифферентным к методикам подготовки персонала, то есть методики должны одинаково хорошо соответствовать любому АУК, но АУК не должен меняться с изменением указанных методик;

- определение Регламента не проходит прагматический фильтр по избыточной ширине определения, так как под это определение подходят практически все технические средства обучения, а семантический фильтр указанное определение не проходит по причине отсутствия раскрытия сущности определяемого предмета;

- определение Норм и Регламента, характеризующее АУК как «программное средство подготовки», не проходит семантический фильтр из-за узости формулировки, так как определение АУК должно быть соразмерным с определениями «программных средств подготовки» (ПСП) и «технических средств обучения» (ТСО) (см. ниже), то есть оно должно быть включено в эти подмножества и, соответственно, иметь формулировку: «программно-техническое средство подготовки».

Таким образом, предлагается следующее определение.

**Авторы:** «АУК — программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала, реализующее графический и текстовый материал нормативно-технической документации по энергообъекту, и обеспечивающее возможность интерактивного изучения материала и контроля качества подготовки обучаемых».

Естественно, что предлагаемая формулировка определения АУК не претендует на аксиоматичность и ее можно и даже необходимо обсуждать, но тем не

менее предложенная методология разработки тезауруса, по нашему мнению, позволит разработать более совершенные, то есть адекватные, соразмерные и правомерные номинальные определения «Регламента подготовки персонала».

Следующий термин, определение которого целесообразно рассмотреть во внеалфавитном контексте рецензируемого документа, но который тем не менее представляет принципиальный интерес из-за важности определяемых им функций при подготовке персонала, это:

### Тренажер

**Нормы:** тренажер — программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала, отвечающее должностным требованиям к персоналу и методик подготовки, служащее для проведения и последующего анализа результатов тренировки, реализующее модель объекта энергетики и задачи по управлению объектом энергетики, обеспечивающее контроль деятельности обучаемых и предназначенное для формирования у них профессиональных навыков и умений принятия и выполнения решений по управлению (обслуживанию) объекта энергетики в условиях реального времени управления, определяемого технологическим процессом.

**Регламент:** тренажер — программно-техническое средство, отвечающее должностным требованиям к персоналу и требованиям методик подготовки, служащее для проведения и последующего анализа результатов тренировки, реализующее модель объекта управления и последующего анализа тренировки, реализующее контроль деятельности обучаемых и предназначенное для формирования у обучаемых профессиональных навыков и умений принятия и выполнения решений по управлению (обслуживанию) объекта энергетики в условиях реального времени управления, определяемого технологическими процессами.

#### Комментарий:

Область определения термина — его инженерное описание [7]:

**«Тренажер** предназначен для обучения и повышения квалификации оперативного персонала энергетических предприятий. Позволяет отрабатывать весь спектр профессиональных навыков оперативных работников предприятий — от понятийных до моторных, то есть вырабатывать и закреплять навыки принятия решений и управления энергообъектом в штатных, нештатных и аварийных ситуациях с гарантированным уровнем его безопасности.

**Необходимый состав:** пульт и щит оператора (для щитового управления) и/или компьютерная реализация активных динамических мнемосхем или терминала оператора АСУ; всережимная и адекватная модель энергообъекта; пульт инструктора; контролирующая программа; комплект сценариев тренировок; комплект аварийных ситуаций; документация и инструкция по установке, наладке и эксплуатации тренажера.

**Требуемые функциональные возможности:** полномасштабность; комплексность; всережимность; адекватность; оптимизация; работа в замедленном или ускоренном масштабе времени; ведение протоколов действий оператора, ошибок оператора и аварийных сообщений с возможностью сохранения и печати; вывод графиков зависимостей параметров и состояния арматуры от времени для анализа ситуации; возможность записи и повторного использования текущего режима работы тренажера, включая состояния арматуры, защит, блокировок и сигнализации»..

Анализ определений термина тренажер, приведенных в Нормах и Регламенте, на соответствие требованиям разработки тезауруса и сопоставление их с описываемой областью, показывает на наличие в определениях семантических и прагматических шумов.

Семантические шумы: отсутствие раскрытия сущности определяемого предмета и признаков, входящих в его содержание, а также неясность формулировок (повторы, синтаксические ошибки и т.п.)

#### Прагматические шумы:

- избыточность информации относительно формулировки определения: «отвечающее должностным требованиям к персоналу и требованиям методик подготовки», так как тренажер как программно-техническое устройство (средство) не может отвечать должностным требованиям к персоналу в связи с тем, что требования к персоналу одни, а к тренажеру совершенно другие; тренажер также не должен соответствовать требованиям методик подготовки, так как он (как устройство) должен быть индифферентен к ним и не должен меняться с изменением методик;

- избыточность информации в определении: «по управлению (обслуживанию) объекта энергетики в условиях реального времени управления, определяемого технологическими процессами», в связи с тем, что указанное определение устарело и стало неактуальным, так как и методы моделирования, и мощности вычислительной техники в настоящее время позволяют тренажеру работать не только в реальном, но и в ускоренном (и замедленном) до 100 раз масштабе времени.

С целью разработки истинного описания области определения термина «тренажер», полностью раскрывающего сущность определяемого предмета и его признаки, а также соответствующего требованиям номинальности, то есть эффективности, целесобразности и правомерности, лишённого семантических и прагматических шумов, необходимо определить и сформулировать требования современного принципиального подхода к разработке модели энергообъекта-прототипа и его подсистем, а также требования к анализу и синтезу структур тренажера.

Концепция создания тренажеров для подготовки персонала электроэнергетики состоит в том, что тре-

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ

нажер, как обучающее устройство, должен удовлетворять целевой функции человеко-машинной системы для подготовки персонала, а методология разработки тренажера должна соответствовать системно-эргономическому подходу [8].

*Целевая функция человеко-машинной системы* при обучении оператора на тренажере, определяющая принципиальные требования к тренажеру, состоит в следующем:

- обеспечение человеку-оператору адекватной информационной модели прототипа объекта управления;
- обеспечение возможности качественного и количественного анализа информации и принятия решений;
- формирование и совершенствование у оператора профессиональных навыков и умений при заранее заданных отклонениях (смещениях) модели относительно моделируемого прототипа, то есть погрешности моделирования, обеспечивающих необходимую эффективность обучения.

*Системно-эргономический подход* означает воспроизведение в имитируемом объекте результирующих функций, а также внешних и внутренних связей, соответствующих исходному объекту с такой точностью, которая достаточна для решения поставленных задач в необходимом объеме, при этом отличие результата от требуемого допуска должно лежать в поле назначенного допуска и обеспечивать:

- адекватность целей и условий;
- адекватность интерфейса (рабочих мест операторов энергообъектов);
- адекватность информационных потоков;
- адекватность математического моделирования;
- эргономическую адекватность;
- психологическую адекватность.

На основании указанных требований производится анализ и синтез структур тренажера как программно-технического комплекса и практическое решение задач моделирования энергообъекта-прототипа, его основных и вспомогательных подсистем.

Только такая системная адекватность тренажера объекту-прототипу позволяет сконструировать дидактически совершенный тренажер, обеспечивающий правильное формирование у операторов навыков и умений.

Неадекватность любой составляющей приводит к несоответствию между получаемой на тренажере информацией и ее истинным смыслом на реальном энергообъекте, созданию ошибочных иллюзий и неверных реакций.

Современное тренажеростроение, таким образом, при практической реализации решения задач моделирования объекта управления, анализа и синтеза подсистем тренажера должно руководствоваться системными принципами единства функционально-целевых и причинно-следственных отношений

модели и объекта с целью создания системы моделей и представлений, единых для разработчика тренажера и пользователя [9].

Причем принцип единства функционально-целевых отношений модели и объекта-прототипа означает реализацию целевой функции человеко-машинной системы — тренажера, а именно, обеспечение возможности обучения человека-оператора.

Принцип единства причинно-следственных отношений модели и объекта характеризует методологию разработки тренажера, а именно, системно-эргономический подход, обеспечивающий системную адекватность тренажера объекту-прототипу.

Принцип единства представлений означает возможность формирования у пользователя концептуальной модели объекта-прототипа адекватной модели, заложенной в проект разработчиком тренажера.

Таким образом, только реализация в тренажере трех системных принципов единства отношений: модели, объекта и представлений позволяет сконструировать дидактически совершенный тренажер, обеспечивающий формирование у обучаемых адекватных управлению объектом моделирования и процессами в нем: знаний, навыков и умений.

Соблюдение указанных принципов при разработке тренажера позволяет регламентировать наличие в тренажере, как в средстве обучения персонала, и в его определении следующих ингредиентов (номинальных признаков): средств и методов математического моделирования объекта-прототипа, средств и методов системно-эргономического подхода при синтезе подсистем тренажера, средств учебно-методического обеспечения и контроля обучения, а также признаков цели обучения: обеспечение надежности и безопасности персонала и объекта управления.

Таким образом, предлагается определение, реализующее раскрытие сущности определяемого предмета, и выявляющие признаки, входящие в его содержание по следующей последовательной схеме:

- признаки средства обучения;
- признаки средств и принципов математического моделирования;
- признаки средств системно-эргономического подхода;
- признаки учебно-методического обеспечения;
- признаки контроля обучения;
- признаки цели обучения.

**Авторы:** «Тренажер — программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала, реализующее адекватные модели рабочего места оператора и энергообъекта, оснащенное учебно-методическим обеспечением процесса обучения и его контроля, и предназначенное для формирования и совершенствования у обучаемых навыков и умений по управлению энергообъектом в штатных и аварийных ситуациях с гарантированным уровнем его безопасности».

Далее, в соответствии с очередностью Регламента, рассмотрим определение термина...

**Автоматизированная обучающая система (АОС):**

**Нормы:** «АОС — программное средство профессиональной подготовки персонала, состоящее из одного или нескольких АУК и набора специализированных локальных тренажеров, позволяющих осуществлять формирование профессиональных навыков и умений принятия и выполнения решений по управлению (обслуживанию) объектов энергетики, рассматриваемых в содержательной части АУК».

**Регламент:** «АОС — программное средство профессиональной подготовки персонала, состоящее из одного или нескольких автоматизированных учебных курсов».

**Комментарий:**

Как известно, автоматизированная обучающая система (АОС) представляет собой соединение учебного курса по конкретному технологически выделенному энергообъекту с тренажером по этому же объекту (локальному тренажеру).

В современной практике тренажеростроения АОС заказывается пользователями достаточно редко по той причине, что если на энергообъекте разработаны и установлены раздельно и тренажеры и АУКи, то, естественно, что надобность в АОСе отпадает.

Тем не менее отдельные заказчики с целью экономии финансовых ресурсов выступают с предложениями о разработке АОС. И такие разработки проводятся, в связи с чем имеется необходимость в адекватном определении термина АОС, причем определение Норм значительно ближе к адекватности, чем определение Регламента, по причине отсутствия в последнем раскрытия сущности определяемого предмета и признаков, входящих в его содержание.

К определению Норм имеется только одно замечание, касающееся избыточной ширины определения, а именно того, что в АОС, как правило, включаются только один АУК и, соответственно, один специализированный тренажер в связи с тем, что выделенные технологические подсистемы имеют периферийный характер и их невозможно практически соединить с другими подсистемами (например, пылесистемы, вибродиагностика, маслосистемы, химводоочистка и т.п.)

Таким образом, предлагается следующее определение.

**Авторы:** «**Автоматизированная обучающая система (АОС)** — программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала, состоящее из автоматизированного обучающего курса (АУК) и специализированного тренажера, и предназначенное для интерактивного изучения нормативно-технического материала и контроля качества обучения, а также для формирования и совершенствования у обучаемых профессиональных навыков и умений, необходимых для управления энергообъектом в штатных, нештатных и аварийных ситуациях с гарантированным уровнем его безопасности».

**Компьютерный тренажер**

**Нормы:** тренажер, в составе которого как модель объекта управления, так и рабочие места обучаемых и инструктора реализуются на базе компьютерных средств.

**Регламент:** программное средство подготовки персонала, отвечающее требованиям тренажера.

**Комментарий:**

Определение термина «компьютерный тренажер» производится в Регламенте через определение термина «тренажер», то есть не соответствует правилам разработки тезауруса по признаку «тавтология».

Таким образом, Регламент формально не дает этому термину никакого определения, чем фактически исключает указанный термин из тезауруса.

Однако в связи с тем, что настоящее время термин «компьютерный тренажер» имеет широкое распространение и используется как часть в бинарном альтернативном отношении: «компьютерный — полномасштабный (щитовой)» для классификации тренажеров, то необходимость в определении указанного термина имеется.

В инженерном смысле под «компьютерным тренажером» понимается такое программно-техническое устройство для обучения персонала, интерфейс и вся система управления которого отображается на дисплее персонального компьютера, и которое может быть строго отнесено к определению «тренажер» только в единственном случае, когда это устройство адекватно отражает «компьютерную» систему управления АСУ ТП энергообъекта-прототипа. И только в этом случае человек-оператор получает при обучении на «компьютерном тренажере» адекватные объекту-прототипу моторные и когнитивные навыки и умения. Во всех остальных случаях, а их ~98 % от всех энергообъектов электроэнергетики (имеются ввиду энергообъекты, не оснащенные современными микропроцессорными АСУ ТП), применение «компьютерных тренажеров» в процессе обучения не приводит к приобретению человеком оператором адекватных моторных навыков и умений.

Таким образом, в указанных обстоятельствах «компьютерный тренажер» служит инструментом получения знаний и информационных навыков, то есть является только лишь «когнитивным» тренажером, то есть тренажером ограниченных возможностей.

**Авторы:** Компьютерный тренажер — программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала, реализующее с помощью компьютерных технологий интерфейсные и математические модели энергообъекта-прототипа, оснащенное системой учебно-методического обеспечения и предназначенное для формирования и совершенствования у обучаемых знаний и информационных навыков, необходимых для управления энергетическим объектом в штатных, нештатных и аварийных ситуациях с гарантированным уровнем его безопасности.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ

### Комплексный тренажер

**Нормы:** тренажер, предназначенный для совместной подготовки группы специалистов в полном объеме алгоритмов их деятельности или одного специалиста, деятельность которого осуществляется по нескольким специальностям.

**Регламент:** мультимедийная инструкция по эксплуатации, включающая системы входного и выходного контроля знаний обучаемого, электронные учебники с анимацией и «живыми» расчетными методиками и собственно локальные тренажеры.

#### Комментарий:

Под термином «комплекс» (от лат. complexus — связь, соединение) в теории информации [4] понимается соединение отдельных частей в целое, качественно отличное от суммы своих элементов.

С точки зрения системотехники [10] под «комплексом» понимается множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство.

Термин «комплексный энергообъект» включает понятие о целом, состоящем из взаимосвязанных, взаимодействующих, взаимозависимых частей, причем свойства этих частей зависят от «комплекса» в целом, а свойства «комплекса» — от свойств его частей.

Так любой энергообъект можно представить как искусственно создаваемый «комплекс» элементов (технических средств, технической и нормативной документации, коллективов людей и т.д.), предназначенный для решения сложной организационной, экономической, технической задачи по генерации, распределению или потреблению электрической энергии и тепла.

Принцип системно-эргономического подхода при разработке тренажеров требует учета всех существенных факторов, влияющих на энергообъект и человека-оператора, а также их внешних и внутренних взаимосвязей [11].

Другой принцип системного подхода требует рассмотрения моделей энергетических объектов и связанных с ними эргономических категорий на нескольких иерархических уровнях: агрегатном, системном и полном (комплексном).

С точки зрения технологии виртуальной реальности [12], то есть разработки динамических тренажеров, «комплекс» представляет собой некоторое абстрактное отображение реальных объектов. При этом абстрактный комплекс или «виртуальный коммуникант» понимается как совокупность взаимосвязанных переменных, представляющих те или иные свойства, характеристики реального объекта, которые необходимо отобразить в модели данного объекта. Говоря о синтезе модели комплекса, мы имеем ввиду иерархическое формирование макромоделей энергообъекта с законченным технологическим циклом (энергоблок, электростанция), составляющие же комплекса в этом случае будут рассматриваться как микромоделей (котел, турбина, генератор и т.п.)

При наличии в процессе подготовки операторов специализированных тренажеров (системный уровень иерархии), предназначенных для отработки навыков по выполнению определенных конкретных задач, предусмотренных для управления отдельными энергообъектами с незаконченным технологическим циклом, термин «комплексный тренажер» одновременно с признаком иерархичности несет в себе признак бинарной альтернативности — «комплексный-специализированный» в связи с тем, что «комплексный тренажер» предназначен для отработки навыков выполнения полной (комплексной) программы управления всем энергообъектом (энергоблоком) с законченным технологическим циклом.

При тренировках на комплексном тренажере как бы интегрируются все навыки, приобретенные операторами при тренировках на специализированных тренажерах. Вследствие этого комплексный тренажер должен строго обладать всем объемом моделируемых подсистем энергообъекта с законченным технологическим циклом. На комплексном тренажере можно отрабатывать навыки по проведению операций со всеми подсистемами энергообъекта в целом, начиная от подготовительных работ и пусковых операций (сборка схем, растопка котла, пуск турбины, синхронизация генератора, набор нагрузки и т.п.), кончая штатными остановочными и аварийными режимами. К тренировкам на комплексном тренажере, таким образом, можно привлекать персонал всей вахты (смены) основных и вспомогательных цехов электростанции.

Опыт оперативного управления электростанцией свидетельствует, что в нештатных и аварийных ситуациях сложной проблемой являются взаимопонимание и взаимодействие групп людей, управляющих технологическим оборудованием с различных рабочих мест, в связи с чем все более актуальными становятся вопросы коллективных, совместных, (комплексных) тренировок оперативного персонала цехов и служб электростанций, позволяющих совершенствовать навыки взаимодействия персонала при решении той или иной задачи, касающейся комплекса станции в целом.

Во всех случаях в понятии комплекса имеется ввиду наличие среды, в которой комплекс существует и функционирует. Причем под понятием среды по отношению к энергообъекту и его модели можно понимать в том числе и каналы обмена информацией между объектом управления и оператором, между комплексом и группой операторов, внутри группы операторов и т.д.

Таким образом, под «комплексным тренажером» в инженерной и дидактической практике понимается такое соединение отдельных интерьерных и математических моделей энергообъектов с незаконченным технологическим циклом (котел, турбина, генератор) в единое целое с законченным технологическим циклом (энергоблок, электростанция в целом), которое



благодаря системно-эргономическим принципам при разработке тренажера дает новое дидактическое качество, а именно, возможность обучения не только отдельных специалистов, но и взаимодействия специалистов внутри группы (вахты, смены) или между отдельными электростанциями и энергосистемами (в диспетчерском «комплексном тренажере»), что особенно актуально в настоящее время с целью организации противоаварийных тренировок в условиях межсистемных аварий.

Таким образом, определение Норм по смыслу ближе к адекватному описанию области определения, а определение Регламента полностью не соответствует реальному объекту, так как фактически описывает признаки автоматизированной обучающей системы.

Итак, предлагаемое определение.

**Авторы: Комплексный тренажер** — программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала, реализующее с помощью информационных технологий интерфейсные и математические модели технической и физической сущности эргатической системы «энергообъект — среда — группа операторов» с законченным технологическим циклом, оснащенное системой учебно-методического обеспечения и контроля деятельности обучаемых и предназначенное для формирования и совершенствования у обучаемых профессиональных навыков и умений, а также навыков взаимодействия между обучаемыми, необходимых им для управления энергетическим объектом в штатных, нештатных и аварийных ситуациях с гарантированным уровнем его безопасности.

### **Локальный, участковый, специализированный и функциональный тренажеры**

**Нормы:** Локальный тренажер — специализированный тренажер, в составе которого моделируется отдельная технологическая схема (функционально-технологический узел, техническое средство или группа средств и пр.) и обеспечивается возможность подготовки персонала к выполнению части деятельности по своей специальности.

**Специализированный тренажер** — тренажер для персонала конкретных категорий специальностей, предназначенный для подготовки к выполнению деятельности по этим категориям.

**Участковый тренажер** — специализированный тренажер, в составе которого моделируется отдельная технологическая система (функционально-технический узел, техническое средство или группа средств и пр.), и с высокой степенью подобия воспроизводятся соответствующие участки реальных рабочих мест обучаемых.

**Регламент:**

**Локальный тренажер** — тренажер, в составе которого моделируется отдельная технологическая система (функционально-технологический узел, техни-

ческое средство или группа средств и пр.) и обеспечивается возможность подготовки персонала к выполнению части деятельности по своей специальности.

**Участковый тренажер** — тренажер, в составе которого моделируется отдельная технологическая система (функционально-технический узел, техническое средство или группа средств и пр.) и с высокой степенью подобия воспроизводятся соответствующие участки реальных рабочих мест обучаемых.

**Функциональный тренажер** — программно-аппаратный комплекс средств интерактивного взаимодействия с математической моделью объекта управления, разработанной с учетом всех требований нормативной документации и инструкции по управлению. Форма функционального тренажера — интерактивное изображение панелей пультов управления операторов, обстановки внутри организации и справочная информация о внешней обстановке ее деятельности. Возможно представление дополнительной информации по запросу обучаемого. Частным видом функционального тренажера является управленческий тренажер.

**Комментарий:**

Как следует из определений приведенных выше терминов: локальный тренажер, специализированный тренажер, функциональный тренажер и участковый тренажер имеют в своих определениях выраженные в разной степени тавтологические признаки. Так Нормы определяют «локальный тренажер» и «участковый тренажер» через термин «специализированный», а Регламент определяет термины: «локальный тренажер» и «участковый тренажер» через термин «тренажер». Причем определения Норм и Регламента по признаку «раскрытия сущности» термина фактически идентичны.

Формальная же разница в определениях заключается в том, что специализированный тренажер согласно Нормам предполагает реализовывать только эргономические функции — «для персонала конкретных категорий специальностей», а участковый тренажер предполагает реализовывать только системные функции — «моделируется отдельная технологическая система». То есть, если первый тренажер (специализированный) определяет только дидактику подготовки (как, кого и чему учить), то второй тренажер (участковый) определяет материальную базу обучения (на чем учить). Ни тот, ни другой тренажер в этом виде по-отдельности реализовать практически невозможно.

Третий тренажер — «локальный» предполагает объединение указанных функций — системных и эргономических в одном устройстве, но определяется он через термин «специализированный». Тавтологический круг замкнулся.

Очевидная причина тавтологичности и идентичности определений заключается в том, что термины «локальный», «специализированный», «функциональный» и «участковый» относятся к тренажерам одного

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ

и того же уровня иерархии, а именно к «системному» (например тренажеры: котла, турбины, генератора и др.), то есть к объектам управления с незаконченным технологическим циклом.

С точки зрения эргономики и дидактики указанные тренажеры также относятся к одному и тому же виду деятельности обучаемых, так как ставят целью отработку индивидуальных, профессиональных навыков у отдельных членов вахты энергообъекта, классифицируемых по принадлежности к цеховой (пространственной и профессиональной) структуре объектов управления: операторов котельного, турбинного, электротехнического, химического и др. цехов электростанции.

Таким образом, как по объему моделируемых подсистем, так и по номенклатуре обрабатываемых у обучаемых профессиональных навыков указанные тренажеры по признаку «соразмерности» относятся к одному и тому же виду при классификации энергетических тренажеров.

В оборонных отраслях промышленности РФ, а также в гражданской авиации и космонавтике [13] указанные тренажеры характеризуются одним общим термином — «специализированные тренажеры» (иногда их называют «функциональными» — это чисто синонимический термин, но, как известно, при стандартизации применение терминов-синонимов стандартизованного термина не допускается).

На специализированных тренажерах у обучаемых отрабатываются навыки по выполнению определенных конкретных задач, технологически выделенных из общего процесса эксплуатации и предусмотренных для того или иного объекта управления.

Обычно в специализированных тренажерах с высокой степенью адекватности с помощью полной системы приборного и пультового отображения, а также систем тепловых, механических и релейных защит, блокировок и сигнализации специально выделенного объекта управления имитируется поступление инструментальной информации как в «штатных», так и в «нештатных» условиях, что обеспечивает быстрое и качественное овладение отдельными профессиональными навыками, так как внимание обучаемого сосредоточено на выполнении только одного определенного вида деятельности.

Таким образом, учитывая тавтологичность, соразмерность и синонимичность определений терминов «локальный тренажер», «участковый тренажер» и «функциональный тренажер», а также идентичность сущности раскрываемых понятий, предлагается, следуя традиционной практике тренажеростроения в РФ, применять для указанного типа тренажеров одно общее название — «специализированный тренажер».

Итак, предлагаемое определение:

**Авторы:** *Специализированный тренажер* — программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала, реализующее с помощью информационных технологий интерфейсные и мате-

*матические модели технической и физической сущности эргатической системы «специально выделенный энергообъект — среда — оператор» с незаконченным технологическим циклом, оснащенное системой учебно-методического обеспечения и контроля деятельности обучаемых и предназначенное для формирования и совершенствования у обучаемых профессиональных навыков и умений, необходимых им для управления энергетическим объектом в штатных, нештатных и аварийных ситуациях с гарантированным уровнем его безопасности.*

### Полномасштабный тренажер

**Нормы:** Полномасштабный тренажер — комплексный тренажер, в котором с высокой степенью подобия воспроизводится реальные рабочие места группы тренируемых специалистов.

**Регламент:** Полномасштабный тренажер — тренажер, в котором с высокой степенью подобия воспроизводятся реальные рабочие места группы тренируемых специалистов.

#### Комментарий:

Как видно из приведенных выше определений термина «полномасштабный тренажер», формулировки Норм и Регламента имеют в своих определениях семантические шумы (тавтологию), а также практически абсолютную идентичность по признаку «раскрытия сущности» определяемого предмета.

Идентичность определений термина «полномасштабный тренажер» в Нормах и Регламенте не снимает тем не менее требований к правилам составления тезауруса в части «избыточной ширины» определения. Дело в том, что «высокая степень подобия воспроизведения реальных рабочих мест группы тренируемых специалистов» характерна и для других типов тренажеров («специализированных» и «комплексных»).

Формальное же удаление из определения признаков семантического шума по правилу «избыточной ширины» фактически дезавуирует указанное определение и, таким образом, исключает термин «полномасштабный тренажер» из тезауруса.

Подтверждение данного положения наблюдается в тренажеростроении для гражданской авиации, оборонной промышленности и космонавтики, где требования к подобию воспроизведения реальных рабочих мест строго регламентируются и выполняются, причем для всех типов тренажеров, а термин «полномасштабный» для обозначения тренажеров тем не менее не применяется [13].

В указанных отраслях используются следующие термины для обозначения тренажеров в зависимости от сферы их применения и технических решений, положенных в основу их построения: «процедурные», «специализированные», «комплексные», «исследовательские» или «стендовые» тренажеры.

«Процедурные» тренажеры — наиболее просты по конструкции и составу и предназначены для отработ-

ки автоматизма в ориентационно-моторных действиях операторов, то есть приобретения устойчивых навыков конкретных видов деятельности оператора со сложным оборудованием и большим числом управляющих органов, а также отработки важных последовательностей процедур управления, выполняемых одним из операторов на конкретных этапах деятельности и в определенных условиях.

«Специализированные» и «комплексные» тренажеры несут в упомянутых отраслях те же функции, что и в традиционной энергетике, и являются основным обучающим средством для подготовки и переподготовки так называемого «оперативного» персонала (летного состава, космонавтов, подводников и т.п.), причем требования к «полномасштабности», то есть к подобию воспроизведения рабочих мест, у всех выше перечисленных тренажеров выполняются очень строго.

Совершенно иные требования предъявляются к «исследовательским» или «стендовым» тренажерам (в авиации они носят название «пилотажных стендов»), получивших широкое распространение в большом числе исследовательских, испытательных и других научных и производственных организациях [14].

Если «процедурные», «специализированные» и «комплексные» тренажеры ориентированы на обучение персонала, то есть привитие навыков и умений управляющей деятельности, то «исследовательские» тренажеры предназначены для организации на них опытных и научно-исследовательских работ по решению конкретных вопросов конструирования, доводки и испытаний новых образцов технических устройств.

К тренажерам они могут относиться только лишь в части подготовки на них персонала конкретной профессиональной направленности, в функции которого входят решение исследовательских и испытательских задач (космонавты-исследователи, летчики-испытатели и др.), да и то лишь при условии оборудования в них пульта инструктора и рабочего места оператора.

Существенно различаются и математические модели, реализуемые в «учебных» и «исследовательских» тренажерах. Модели, применяемые в «исследовательских тренажерах» должны с высокой точностью имитировать определенные, ограниченные целью исследования выделенного агрегата, конкретные режимы его эксплуатации. В отличие от этого математические модели «учебных» тренажеров должны обеспечивать имитацию практически всех режимов и всех узлов и агрегатов объекта-прототипа. Указанная всережимность и полномасштабность моделей определяет специальные требования к унификации, объему и регламентированной точности математических моделей тренажеров для обучения персонала.

В традиционную электроэнергетику термин «полномасштабный тренажер» был привнесён из атомной электроэнергетики [15], где после ряда крупных аварий законодательным путем была запрещена эксплу-

атация атомных электростанций без применения тренажеров с адекватной математической моделью и с интерфейсом, полностью повторяющим щиты и пульты управления энергооборудованием.

Ситуация усугублялась тем, что многочисленные попытки применять для обучения персонала атомных электростанций тренажеров с «исследовательскими» моделями, имеющими большое распространение, не привели к успеху по той причине, что многофункциональность регламентированного «полномасштабного тренажера» определяет совершенно иные, причем значительно расширенные требования к математическим моделям, по сравнению с «исследовательскими» моделями, разработанными научными организациями для решения частных задач управления.

Указанные расширенные и усложненные требования к математической модели «полномасштабного тренажера» связаны с тремя ее составляющими: всережимностью, полномасштабностью и сопряженностью [11].

Всережимность модели обуславливает ее нелинейность — усложняется логическая структура модели, требуется использование специального математического аппарата.

Полномасштабность модели определяет необходимость учета практически всех взаимосвязей между обязательно моделируемыми элементами энергообъекта, который вызывает значительное повышение порядка уравнений. К полномасштабности относится также требование работы модели в ускоренном, реальном и замедленном масштабах времени.

Сопряженность модели касается ее связей со щитом управления или интерфейсом микропроцессорной АСУТП. Каждому органу управления сопоставляется отдельный вход модели, каждой точке контроля, сигнализации и защите — ее выход. В результате модель имеет размерность на несколько порядков большую, чем у «исследовательских» моделей.

Необходимость реализации в модели «полномасштабного тренажера» указанных требований, и связанный с этим, помимо прочих причин, катастрофический финал «исследовательских» моделей и тренажеров, при подготовке на них оперативного персонала атомных электростанций и привел в итоге к законодательному решению вопроса внедрения «полномасштабных тренажеров» с адекватным интерфейсом и с адекватными математическими моделями, построенными на совершенно иных принципах.

В связи с несоизмеримо меньшей критичностью, то есть, и с большей экологической безопасностью традиционных тепловых и гидравлических электрических станций, вопрос о законодательной регламентации «полномасштабных тренажеров» в традиционной электроэнергетике в настоящее время пока не ставится.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ

Тем не менее большой удельный вес в энергетике традиционных способов выработки электрической энергии, критическое состояние и аварийность в отрасли приводит к необходимости отраслевой регламентации подготовки персонала. Так, принятая в настоящее время в РАО «ЕЭС России» «Концепция обеспечения надежности в энергетике» однозначно предписывает применять для подготовки персонала «полномасштабные тренажеры» [1]:

«...Важным аспектом подготовки оперативного персонала является психофизическая тренировка, а современным инструментом — полномасштабные тренажеры, воспроизводящие характеристики объекта управления и штатный оперативный человеко-машинный интерфейс».

При этом следует учесть, что основной проблемой современного тренажеростроения в традиционной электроэнергетике является тот факт, что математические модели для «специализированных», «комплексных» и др. тренажеров разрабатываются многими тренажеростроительными фирмами без учета приведенных выше требований (все режимности, полномасштабности и сопряженности), то есть на уровне «исследовательских» моделей, со всеми вытекающими отсюда последствиями, прямо связанными с надежностью оперативного персонала.

По этой основной причине, определяющей к тому же неспособностью разработчиков тренажеров реализовать в моделях необходимые требования, «полномасштабные тренажеры» имеют множество противников, приводящих помимо реальных доводов о сравнительно большей стоимости указанных тренажеров явно надуманные доводы о «вторичности» и «ненужности» привития операторам ориентационных и моторных навыков, что эти навыки не связаны с аварийностью, приобретаются оператором сами собой, автоматически при работе его на реальном оборудовании и т.д.

По заключению психологов [16, 17], деятельность оператора по управлению любым объектом регулирования рассматривается как сложный поведенческий акт, включающий процессы восприятия и переработки информации, и формирования и выполнения на этой основе двигательных действий. В структуре сенсомоторного навыка управления объектом регулирования двигательный компонент является интегральным показателем, отражающим полноту и качество переработки оператором информации, поступающей по каналам различных анализаторов. В конечном итоге почти вся информация, воспринятая оператором, реализуется в управляющих движениях.

По этим причинам отсутствие в тренажере адекватного воспроизведения штатного человеко-машинного интерфейса, лишение человека-оператора возможности получения и развития ориентационно — моторных навыков, лишение его возможности реали-

зации итоговой, интегральной двигательной функции переработки поступающей информации, с точки зрения дидактики в борьбе с аварийностью по вине персонала, совершенно недопустимо.

А суммарная стоимость полномасштабных тренажеров для РАО «ЕЭС России» наверняка не больше суммы ущерба от аварийности по вине персонала. Просто надо уметь, а, самое главное, хотеть считать.

В настоящее время в традиционной электроэнергетике по разным причинам, в том числе и по приведенным выше, «полномасштабные тренажеры», за редким исключением, не заказываются.

Тем не менее реализованные на практике «компьютерные тренажеры» в части выполнения требований к математическим моделям остаются зачастую на уровне «исследовательских», предназначенных для решения частных задач и конкретных вопросов, не имеющих отношения к обучению оперативного персонала, и, тем более, к повышению его профессиональной квалификации (сверхточные «тренажеры-анализаторы», «тренажеры-эмуляторы», «тренажеры-полигоны» и т.д.).

Происходит, по выражению известного американского ученого У. Холла (W.Hall) [18], широкое злоупотребление математикой при построении моделей, которое превратилось в автокаталитический процесс, благодаря чему одни части системы моделируются преувеличенно точно, а другие вследствие математической и системотехнической некомпетентности или недопустимо упрощаются, или вообще не учитываются. Достижение поставленной цели моделирования для указанных «строителей моделей» теряет всякий логический смысл, а создание миражей становится образом жизни.

Анализ общих задач профессиональной подготовки персонала с точки зрения дидактического функционально-целевого подхода позволяет выделить три основные принципиальные функции, которые должны быть реализованы в любом эффективном «учебном» тренажере:

- моделирование адекватных информационных и эргономических условий работы оператора;
- создание дидактических предпосылок системы обучения, то есть реализация необходимого учебно-методического обеспечения;
- контроль обученности на всех этапах обучения.

Как следует из приведенного выше комментария, если по объективным и субъективным причинам первая функция реализуется в современных тренажерах лишь частично, то вторая и третья функции, вообще, реализуются в тренажерах достаточно редко.

Таким образом, учитывая изложенное, представляется целесообразным разработать такое определение термина «полномасштабный тренажер», которое бы с одной стороны учитывало сложившуюся в отрасли ситуацию, а также практику «отраслевого сленга», а с другой — правила составления тезауруса нормативного документа.

**Предлагаемое определение:**

**Авторы:** «*Полномасштабный тренажер*» — программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала, реализующее адекватные характеристики объекта управления и штатный оперативный человеко-машинный интерфейс, оснащенное учебно-методическим обеспечением процесса обучения и его контроля и предназначенное для формирования и совершенствования у обучаемых навыков и умений по управлению энергообъектом в штатных и аварийных ситуациях с гарантированным уровнем его безопасности.

Следующий термин, определение которого не приводится ни в Нормах, ни в Регламенте, но который, по нашему мнению, необходимо рассмотреть по приведенным ниже причинам, это...

**Адаптивный тренажер**

Из официальных источников по теме «Система человек-машина» [19] известно следующее определение термина адаптивный тренажер: «тренажер оператора человеко-машинной системы, обеспечивающий автоматическую оптимизацию управления процессом подготовки оператора человеко-машинной системы с учетом результатов выполнения им учебных задач».

**Комментарий:**

Под термином «адаптация» обычно понимается — приспособление системы к реальным условиям.

Если определить тренажер как «адаптивную систему», то можно различать тренажеры в качестве «самонастраивающихся» и «самоорганизующихся». В первом случае в соответствии с изменением внешней среды изменяется способ функционирования тренажера (штатные режимы его работы), во втором случае изменяется структура тренажера (аварийные ситуации).

Что касается моделей объекта управления, то в современных IT-тренажерах выделяются дескриптивные модели с адаптивным тест-управлением (adaptive test-control) [20]:

- самонастраивающиеся тест-модели;
- самоорганизующиеся тест-модели;

У самонастраивающихся тест-моделей при изменении внутренних свойств объекта изменяются математические характеристики моделей, то есть производится валидация или проверка статистики модели с корректировкой параметров модели.

У самоорганизующихся тест-моделей при изменении внешних (структурных) свойств изменяется структура модели, то есть производится верификация или проверка и корректировка структуры модели.

Таким образом, под адаптивностью в тренажере, как в техническом устройстве, понимается такое приспособление его к реальным условиям эксплуатации объекта-прототипа, которое связано или с изменением режимных характеристик тренажера, или с изменением параметров и структуры

математической модели тренажера. Такую адаптивность тренажера называют режимной или конструктивной.

Если рассматривать тренажер в качестве «учебно-приспособления» общей системы подготовки персонала, то в дидактическом смысле адаптивность тренажерной подготовки можно понять как такое обучение персонала, когда желательное состояние системы тренажерной подготовки определяется на основе предшествующего обучения, то есть на основании накопленного опыта. Очевидно, что свойства тренажера также должны изменяться на основании предшествующего опыта обучения.

Одним из важных и хорошо известных принципов обучения является разбиение его на этапы и стадии, зависящие от уровня обученности персонала.

В сфере подготовки оперативного персонала электроэнергетики бытует широко распространенное мнение, что для правильной организации процесса обучения персонала на разных этапах подготовки необходимо применять различные тренажеры, соответствующие данному этапу [21].

Реализация указанного принципа при внедрении дифференцированных программ обучения для номенклатурных категорий персонала с различными уровнями профессиональных знаний и навыков и к тому же с задачами, распределенными по этапам подготовки, приводит к необходимости иметь в пункте (центре) подготовки значительное количество разнотипных программ и тренажеров, что наталкивается на определенные трудности при организации процесса обучения.

При наличии у пользователя в условиях электростанции только одного тренажера указанные обстоятельства значительно усугубляются, но тем не менее они, по нашему мнению, не должны влиять на общее качество тренажерной подготовки.

Добиться этого можно только путем изменения дидактических свойств тренажеров на основании учета предшествующего опыта обучения и уровня обученности, но не механическим замещением различного типа тренажеров и программ, а путем внедрения специального учебно-методического обеспечения одного разрабатываемого тренажера.

В качестве примера, реализованной в современных IT-тренажерах дидактической адаптивности могут служить автоматизированные сценарии тренировок и контролирующие программы, позволяющие проводить различные по сложности и зависящие от уровня подготовленности оператора этапы тренажерных тренировок в штатных, нештатных и аварийных режимах работы.

Исходя из изложенного, такую адаптивность тренажера, которая подразумевает автоматическое изменение его учебно-методического обеспечения в зависимости от предшествующего опыта обучения, уровня обученности или этапа обучения, можно назвать дидактической.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ

Таким образом, подводя итоги, представляется целесообразным сформулировать такое определение термина «адаптивный тренажер», которое учитывало бы автоматическое изменение свойств тренажера как при изменении свойств объекта-прототипа («режимную или конструктивную адаптивность»), так и при изменении уровня обученности оперативного персонала («дидактическую адаптивность»).

Итак, предлагаемое определение:

**Авторы:** «**Адаптивный тренажер**» — программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала, обеспечивающее автоматическую оптимизацию управления процессом обучения при изменении свойств объекта управления и уровня обученности оператора.

Следующий термин, который, по нашему мнению, необходимо внести в Регламент, это...

### Персональный компьютерный тренажер

#### Комментарий:

В соответствии с требованиями «Правил работы с персоналом в организациях электроэнергетики РФ» [22] применяются два основных вида организационных форм работы с персоналом:

- подготовка по новой должности (профессии);
- непрерывное профессиональное обучение для повышения квалификации, включающее в себя контрольные и противоаварийные тренировки, спецподготовку, проверку знаний требований НТД и т.д.

Оба вида работы с персоналом в соответствии с «Правилами» и «Регламентом» должны проводиться с применением тренажеров, причем если первичная подготовка персонала может производиться в центрах и пунктах подготовки кадров, то есть с отрывом от производства, то дальнейшая непрерывная подготовка должна, очевидно, происходить уже без отрыва от производства, то есть непосредственно на энергообъекте.

Практика современного тренажеростроения показывает, что требования к конфигурации тренажеров в значительной степени зависят от места их установки:

- в центрах подготовки кадров;
- непосредственно на энергообъектах.

Так, если в центрах (пунктах) подготовки кадров, как правило, для тренажерных комплексов и компьютерных классов предусматриваются отдельные помещения со специальным обслуживающим и конструктивным персоналом, то установка тренажеров непосредственно на энергообъектах встречает определенные затруднения в части реализации требований к помещению для тренажеров и их обслуживанию.

На подавляющем большинстве энергообъектов работа с персоналом сосредоточена непосредственно в цехах и носит индивидуальный характер, в связи с чем требования к конфигурации тренажерного комплекса носят характер минимизации.

Кроме того, практически все административные и технические руководители верхнего и среднего звена энергообъектов, как правило, выражают желание иметь на своих персональных компьютерах тренажер указанного энергообъекта для самостоятельной работы на нем с целью сохранения и повышения собственной квалификации, а также контроля и разбора с подчиненным персоналом аварийных ситуаций, произошедших на объекте.

Таким образом, возникает объективная потребность в определенном виде тренажерах, предназначенных для индивидуальных (персональных) пользователей.

Большинство тренажерных комплексов, внедренных в настоящее время в электроэнергетике, имеют конфигурацию, состоящую из 5x10 компьютеров при моделировании электростанций с поперечными связями и энергоблоков 150x800 МВт [23].

Естественно, что такой тренажерный комплекс не может удовлетворить указанным требованиям при индивидуализации обучения и контроля за работой оборудования.

Вынужденность громоздкой конфигурации тренажерных комплексов определяется большой размерностью моделируемой системы объекта-прототипа и необходимостью обеспечения всережимности и полномасштабности модели и приложений.

Однако внедрение в процесс разработки и сопровождения тренажерных комплексов эксклюзивных авторских программ, а также новейших достижений информационных технологий, таких как технологии визуального компонента — ориентированного проектирования модели и программной оболочки тренажера, использование принципа модульности и динамически подключаемых программных модулей и библиотек (plug-in), динамического создания и уничтожения объектов, многопоточной организации приложений и т.п. позволяет значительно усовершенствовать и минимизировать модель объекта-прототипа и тем самым уменьшить ресурсоемкость конечного продукта.

Причем расширение функций обучения с привлечением инструктора и других специальностей и их рабочих мест успешно реализуется при помощи сетевого варианта.

Таким образом, появляется возможность реализовать персональный компьютерный тренажер, удовлетворяющий требованиям минимизации интерфейса при организации индивидуального обучения персонала с обеспечением всережимности и полномасштабности модели объекта — прототипа и ее приложений.

#### Предлагаемое определение:

**Авторы:** «**Персональный компьютерный тренажер**» — программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала, предназначенное для индивидуального обучения и удовлетворяю-

щие требованиям минимизации моделей объектов и интерфейса.

Последний термин, который, по нашему мнению, необходимо определить в связи с его преобладающим значением в системе профессиональной подготовки персонала — это «Тренажерная подготовка».

**Регламент:** «Тренажерная подготовка — педагогическая технология, предназначенная для формирования знаний, навыков, умений персонала по управлению оборудованием и технологическими комплексами в ходе тренировок с использованием тренажерных средств».

**Комментарий:**

Цель обучения оперативного персонала с помощью тренажеров — это выработка устойчивого комплекса знаний, навыков и умений по эксплуатации конкретного типа энергетического оборудования во всей совокупности требуемых норм, факторов и условий, возможных при эксплуатации энергообъекта в штатных, нештатных и аварийных ситуациях.

Отсюда требования к тренажерной подготовке персонала, по существу, сводятся к двум позициям: первая — обеспечение знания оборудования, процессов, норм и правил и вторая — навыков и умений качественно работать в штатных, нештатных и аварийных ситуациях.

Определим, что:

- **знания** — обеспечивают правильное отражение в представлениях и мышлении человека — оператора конструкции объектов технологического оборудования и процессов, происходящих в них, нормативных правил безопасности и эксплуатации, инструктивных материалов по энергообъекту;

- **навыки** — обеспечивают автоматизированные действия человека — оператора, сформированные путем многократного повторения управляющих воздействий на тренажере, воспроизводящем адекватные характеристики объекта управления и штатный человеко-машинный интерфейс; характеризуются высокой степенью освоения и отсутствием поэлементной сознательной стадии регуляции и контроля;

- **умения** — обеспечивают реализацию освоенного человеком — оператором способа управления конкретным объектом технологического оборудования, основанного на совокупности приобретенных знаний и навыков; формируются путем упражнений на тренажере и создают возможность реализации когнитивных и моторных функций не только в привычных штатных, но и в изменившихся условиях, то есть в нештатных и аварийных ситуациях.

Наиболее специфической чертой деятельности оператора в автоматизированной системе управления технологическим процессом является то, что оператор лишен возможности непосредственно наблюдать за состоянием управляемого объекта и вынужден пользоваться информацией, которая поступает к нему по каналам связи, т.е. оператор имеет дело с информационной моделью реального объекта.

Количество точек контроля на энергообъекте составляет, как правило, довольно значительную величину, поэтому оператор в случае возникновения отклонений в технологическом процессе или при переводе оборудования из одного состояния в другое должен перерабатывать большое количество закодированной информации.

Поскольку процесс кодирования и передачи сообщений всегда связан с потерей некоторого количества информации, то оператор должен не только связывать информацию с управляемым объектом, но и представлять особенности или состояние объекта, не нашедшего своего отражения в предъявленной ему информации.

Для принятия решения по управлению энергоустановкой оператору недостаточно только информационной модели. В деятельности оператора большое значение имеет эвристика и интуиция. Эти виды деятельности опираются на концептуальные модели объекта, которые складываются из знаний системы, предыдущего опыта, представлений о целях и конечном результате работы, знаний последствий правильных и ошибочных действий и уточняются в соответствии с воспринимаемой информацией.

Для более полного описания области, связанной с определением термина «тренажерная подготовка», рассмотрим основные этапы деятельности оператора при решении задач управления реальными объектами.

**Первый этап** — восприятие информации — процесс, включающий операции обнаружения объекта, восприятия, выделения в объекте отдельных признаков, отвечающих стоящей перед оператором задаче; ознакомления с выделенными признаками и опознавания объекта восприятия (обнаружение и опознавание объекта).

**Второй этап** — оценка информации, ее анализ и обобщение на основе заранее заданных или сформированных в процессе обучения критериев оценки. Оценка проводится сопоставлением воспринятой информационной модели со сложившейся у оператора внутренней образно-концептуальной моделью процесса (идентификация объекта).

**Третий этап** — принятие решения о действиях — акт, формируемый на основе проведенного анализа информационной и образно-концептуальной моделей обстановки (принятие решения: решение о ситуации и решение о методе).

**Четвертый этап** — исполнение принятого решения посредством определенного действия или отдачи соответствующих распоряжений (реализация решения: выбор действия и действие).

**Пятый этап** — контроль за результативностью исполнения принятого решения.

Первые два этапа представляют информационный поиск, последние три объединяются понятием обслуживания. В реальной работе оператора информационный поиск и обслуживание взаимообус-

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ

ловлены, так как от принятого решения зависит направление следующего шага информационного поиска. В свою очередь, результаты информационного поиска оказывают влияние на точность и скорость обслуживания. Все эти этапы необходимо наиболее полно воспроизводить на тренажере и обязательно учитывать при проведении тренажерной подготовки.

Из анализа этапов деятельности оператора при решении задач управления объектом видно, что для формирования и совершенствования профессиональных навыков операторов на тренажерах необходимо создать такую информационную модель воспроизводимых условий в реальном масштабе времени, чтобы зрительное восприятие и моторная реакция оператора не отличались от таковых в реальных условиях.

По данным специальных исследований [24], при выполнении первых двух этапов, объединенных понятием информационного поиска или этапа приема информации, имеет место около 80 % ошибочных действий операторов. Это обстоятельство налагает определенные требования на характер упражнений, которые должны быть предложены оператору в период его тренажерной подготовки.

По тем же данным в работе оператора есть две формы принятия решений — логические решения и уровень замыкания. В первом случае логические решения принимаются в результате рассуждений, строящихся на законах формальной логики. С точки зрения управляющей функции можно рассматривать суждения описательные и суждения-инструкции. Описательные суждения, объединенные в логическую систему, образуют понятие, раскрывающее содержание ситуации. Суждения-инструкции выражают логику осуществления того или иного процесса управления, определяя, какие действия должны быть выполнены при наличии определенных условий. Суждения-инструкции, доведенные до автоматизма, образуют уровень «замыкания», т.е. образуют четко выраженные связи «вход-выход».

Эффективность работы, в первую очередь принятие и реализация решений, определяется психологической структурой операторской деятельности, иначе говоря, структурой ориентировки в условиях выбора и исполнения профессиональной деятельности.

Ориентировка оператора формируется и функционирует на трех уровнях:

- «смысловом» (уровне основных целей, реализуемых в деятельности оператора) — реализация знаний, то есть когнитивных функций;
- «функциональном» (уровне выбора способов изменения режимов функционирования технической системы) — реализация навыков, то есть когнитивных и моторных функций;
- «операционном» (уровне условий исполнения принятого решения) — реализация умений, то есть моторных функций.

В реальной деятельности оператора упомянутые уровни выступают одновременно и неразрывно. В процессе обучения на тренажере каждый уровень должен формироваться отдельно в форме специфических «учебных деятельностей», а затем должны отработать взаимосвязи и взаимопереходы между ними.

Таким образом, в основе системы обучения с использованием технических средств должно лежать управляемое формирование у оператора целостной ориентировки в целях, условиях выбора и исполнения профессиональной деятельности.

В процессе тренировок имеет место замена одного уровня другим, логические решения, выполнив свою функцию образования прямых связей между сигналами и ответами, исчезают в тех случаях, когда ситуации повторяются, т.е. образуется жесткая связь «выход-вход».

Успешная работа оператора может быть обеспечена исключительно за счет высокой тренированности, доведенных до автоматизма приемов работы с органами управления и приемов безошибочного нахождения необходимых органов управления.

Причем реализация в тренажерной подготовке третьего «операционного» уровня особенно актуальна в связи с «повальным» внедрением компьютерных тренажеров, зачастую не имеющих штатного человеко-машинного интерфейса. Лишение человека-оператора возможности получения и развития ориентационно-моторных навыков и умений означает лишение его возможности реализации итоговой, интегральной двигательной функции переработки поступающей информации, что совершенно недопустимо.

Таким образом, необходимо предусмотреть тренаж персонала как самостоятельный вид обучения, направленный на закрепление полученных знаний в виде моторных навыков и умений.

Кроме того, тренажерная подготовка — это единственная возможность получения и закрепления навыков управления оборудованием в нештатных и аварийных ситуациях.

Значимость каждого из этапов в деятельности оператора зависит от состояния и режима работы энергоустановки.

При работе на номинальной нагрузке и при номинальных параметрах, когда режим поддерживается средствами автоматики, человек-оператор выполняет только наблюдательские функции. Однако в этом режиме не исключена возможность выхода из строя тех или других систем или появления возмущений со стороны потребителя энергии, требующих от оператора быстрого перехода от наблюдательских функций к функциям принятия решения и выработке управляющих воздействий. Поэтому оператор должен всегда находиться в состоянии высокой готовности к действию. Степень готовности к действию — важный показатель надежности



человека как звена системы управления, так как определяет эффективность и своевременность управления процессом при появлении отклонений технологических параметров.

При переходе энергоустановки из одного состояния в другое (пуск, останов, переход с одной нагрузки на другую) деятельность оператора, как правило, полностью регламентирована соответствующими инструкциями, т.е. оператор работает по детерминированному алгоритму. Каждый последующий этап работы оценивается на основе анализа поступающей информации о состоянии энергоустановки. Этот вид деятельности вызывает высокое напряжение всех психофизиологических процессов (особенно памяти) вследствие необходимости анализа большого потока информации, осуществления большого числа управляющих воздействий в определенной последовательности в заданные промежутки времени. Учитывая сложность алгоритмов управления, в этих условиях необходимо постоянно поддерживать готовность оператора к действию по управлению в этих режимах.

Наиболее сложной и ответственной функцией деятельности оператора считается управление установкой при появлении отклонений технологических параметров, особенно в случаях резких изменений режимов, приводящих к аварийному состоянию.

Оператор в основном выполняет функции принятия решения по управлению системой, как правило, в условиях неполной информации о процессе, отсутствия известного алгоритма управления и высокой психической напряженности, вызываемой большой ответственностью за принимаемые решения, опасностью и дефицитом времени. В этом случае у него (в зависимости от квалификации и опыта) может отсутствовать ясное представление о том, как восстановить нормальный режим. У некоторых операторов появляется состояние эмоционального стресса, при котором они допускают ряд серьезных неоправданных ошибок в своих действиях, ухудшая положение на объекте управления, или не принимают никаких мер по устранению возникшей аварии.

Развитие и закрепление способности оператора правильно работать в условиях эмоционального стресса достигается целенаправленным обучением на тренажере в условиях предаварийных и аварийных ситуаций, максимально приближенных к реальным.

Таким образом, рассмотрев деятельность оператора в контуре АСУ энергоустановки, можно кратко сформулировать требования к его профессиональным знаниям, умениям и навыкам.

Оператор должен обладать способностью:

- приема информации с наименьшим количеством ошибок;
- логического мышления и доведения навыков мышления до суждений-инструкций, т.е. доведе-

ния навыков принятия решений до стереотипного уровня, до четко выраженных связей «вход-выход»;

- быстрой и четкой реализации принятых решений с помощью органов управления;
- ответственного контроля за результативностью исполнения реализованных решений.

Рассматривая человека-оператора как звено в замкнутом контуре управления, можно сформулировать задачу оператора как согласование звеньев системы управления с учетом возможностей и ограничений как человека, так и техники, входящей в систему управления.

Анализ оперативной деятельности операторов энергоустановок показал, что оператор должен иметь:

- определенный объем теоретических знаний, необходимых для понимания оперативных ситуаций, возникающих при эксплуатации оборудования, навыки:
  - взаимодействия с контрольно-измерительной аппаратурой и аппаратурой сигнализации, включая навыки считывания показаний, первоначальной классификации и обработки полученной информации;
  - взаимодействие с ключами управления, тумблерами, избирательной системой управления и другими средствами управления;
  - построения причинно-следственных связей между отклонениями тех или иных параметров от нормы, а также состоянием табло сигнализации или мнемосимволами щита управления с причинами этих отклонений;
  - построение плана ликвидации тех или иных отклонений от нормы;
  - управление технологическим процессом в нестационарных режимах (пуск, останов, предаварийные и аварийные ситуации).

Анализ инцидентов с ошибками персонала [25] показывает, что наибольшее количество ошибочных действий совершается во время аварийных ситуаций, при пусках, остановках, при производстве плановых переключений и других воздействий на органы управления оборудованием. Частота ошибочных действий персонала зависит от его обученности навыкам управления оборудованием и готовности к парированию аварийных ситуаций.

Если навыкам проведения типовых и штатных переключений, с известными ограничениями, можно обучиться на реальном работающем оборудовании, то навыкам ликвидации нештатных и аварийных ситуаций невозможно обучиться без применения современных тренажеров, разработанных на базе информационных технологий и оснащенных штатным человеко-машинным интерфейсом.

Исходя из вышеизложенного, целесообразно организовать процесс тренажерной подготовки оператора следующим образом:

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ

### ПЕРВЫЙ УРОВЕНЬ:

Автоматизированные учебные курсы (АУК) позволяют обучаемому усвоить принципы устройства и действия энергетического оборудования, особенно его эксплуатации, получить понятийные навыки управления этим оборудованием.

### ВТОРОЙ УРОВЕНЬ:

Специализированные тренажеры представляют собой имитацию щитов управления или интерфейса АСУТП и всережимные модели отдельных фрагментов энергоустановки, позволяют обучаемому приобретать навыки управления технологическими схемами, представленными на этих тренажерах, в режиме реального времени обеспечивают приобретение как понятийных, так и моторных навыков управления.

### ТРЕТИЙ УРОВЕНЬ:

Комплексный тренажер с полномасштабной имитацией реальной работы щитов управления или интерфейса АСУТП и всережимных и адекватных моделей всего энергообъекта, позволяющих реализовать полученные на предыдущих уровнях знания, навыки и умения осуществлять процесс обучения, используя практически любое, необходимое количество параметров в режиме реального, ускоренного и замедленного времени.

Подход к обучению оперативного персонала энергопредприятий с помощью тренажеров базируется на следующей концепции:

- цель обучения оперативного персонала как при формировании профессии, так и при восстановлении квалификации — овладение навыками оперативной деятельности в нестационарных, аварийных и нормальных режимах, обеспечивающих наилучшие показатели работы оборудования и его сохранность; формируемые при этом знания должны служить только задаче принятия наилучших решений при управлении оборудованием;
- важнейшими составляющими формируемых навыков считаются навыки принятия оперативных решений и умение реализации моторных функций;
- для наиболее эффективного формирования навыков оперативной деятельности целесообразно комплексное использование тренажеров и обучающих программ.

Таким образом, исходя из вышеизложенного комментария представляется целесообразным сформулировать следующее определение термина «тренажерная подготовка».

**Авторы:** «Тренажерная подготовка — метод профессиональной системы обучения оперативно-го персонала с помощью технических средств — тренажеров и обучающих программ, предназначенный для формирования у обучаемых устойчивого комплекса знаний, навыков и умений по управлению энергообъектом в штатных, нештатных и аварийных ситуациях с гарантированным уровнем его безопасности».

Остальные определения терминов, приведенных в проекте Регламента: программные средства подготовки (ПСР), технические средства обучения (ТСО), учебное подразделение (УП), учебно-материальная база (УМБ), учебно-тренировочный комплекс (УТК), тренировки, дублирование, специальная подготовка фактически являются производными и разработаны в соответствии с требованиями «Правил работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации», «Стандарта организации профессиональной подготовки, переподготовки, повышения квалификации персонала» (СО-ЕЭС-ПП-1-2005) и, в принципе, не вызывают возражений.

### Выводы:

1. Разработка и обсуждение «Регламента тренажерной подготовки и обучения персонала в электроэнергетике» важное и ответственное мероприятие, направленное на упорядочение работы с персоналом в электроэнергетике Российской Федерации.
2. Предлагаемые авторами определения терминов, касающихся, в основном, технических средств подготовки персонала электроэнергетики, не претендуют на аксиоматичность, их можно, и даже необходимо, обсуждать, но тем не менее предложенная методология разработки тезауруса позволит сформулировать более совершенные, то есть адекватные, соразмерные и правомерные номинальные определения «Регламента тренажерной подготовки персонала в электроэнергетике».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. М.: РАО «ЕЭС России», 2004.
2. Стандарт организации профессиональной подготовки, переподготовки, повышения квалификации персонала СО-ЕЭС-ПП-1-2005. РАО «ЕЭС России», 2006.
3. Регламент деятельности образовательных учреждений ОАО РАО «ЕЭС России», 2005.
4. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Иностранная литература, 1983.
5. Ясин Е.Г. Теория информации и экономические исследования. М.: Статистика, 1990.
6. Загретдинов И.Ш., Магид С.И., Данилов О.Б., Худяков В.И., Попов И.В., Архипова Е.Н. Реализация новых технологий для тренажеров и обучающих систем Харанорской ГРЭС// Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №2.
7. Магид С.И., Архипова Е.Н. Использование современных информационных технологий при раз-

работке тренажеров для тепловых электрических станций // Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №2.

8. Загретдинов И.Ш., Магид С.И., Мещеряков С.В., Сысоева Л.В., Архипова Е.Н.. Обеспечение комплексной адекватности тренажеров для энергетики — основа безаварийной работы оперативного персонала. М.: «Апарт», 2002.

9. Магид С.И. Человеческий фактор и энергобезопасность на современном этапе реформирования электроэнергетики. «Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации». 2006. №2.

10. Вунш Г. Теория систем. М.: Сов. радио. 1978.

11. Магид С.И.. Теория и практика тренажеростроения для тепловых электрических станций. М.: МЭИ, 1998.

12. Шапиро Д.И. Основы технологии виртуальной реальности. М.: Каталог, 2003.

13. Шукшунов В.Е., Бакулов Ю.А. и др. Тренажерные системы. М.: Машиностроение, 1983.

14. Меерович Г.Ш., Годунов А.И., Ермолов О.К. Авиационные тренажеры и безопасность полетов. М.: Воздушный транспорт, 1991.

15. Малашинин И.И., Сидорова И.И. тренажеры для операторов АЭС. М.: Атомиздат, 1989.

16. Забродин Ю.Л., Фришкин Е.З., Шляхтин Г.С. Особенности решения сенсорных задач человеком. М.: Наука, 2001.

17. Котин М.А. Курс инженерной психологии. Таллин: Валгус, 1988.

18. Hall W., Enviromental Impact of Control, International Federation of Automatic Control, 6th Triennial World Congress, Boston, Cambridge, Massachusetts, USA, Plenary papers IFAC, USA.

19. ГОСТ 26387–84. Система «человек-машина». Термины и определения. Man-machine system. Terms and definitions.

20. Магид С.И., Загретдинов И.Ш., Львов С.В., Мещеряков С.В., Музыка Л. П., Архипова Е.Н. Нормативно-технические требования и современная реализация тренажеров для обеспечения надежности оперативного персонала электроэнергетических объектов // Энергосбережение и водоподготовка. 2005. №6.

21. Мищеряков С.В. Тренажерная подготовка персонала предприятий энергетики. Сборник статей под редакцией д.т.н., профессора Магида С.И. «Энергобезопасность и человеческий фактор». Краснодар — Москва. 2006.

22. Правила организации работы с персоналом на предприятиях и в учреждениях энергетического производства РД 34.12.102-94. Москва, СПО ОРГРЭС, 1994.

23. Рабенко В.С., Назаров В.Е., Карасев С.В., Еренков О.В.. Актуальность модернизации АСУ ТП энергоблоков // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. №2.

24. Крылов А.А. Человек в автоматизированных системах управления. СПб, 2002.

25. Информационное письмо №3 «Об использовании тренажеров и обучающих программ при подготовке персонала». РАО «ЕЭС России». 08.09.2004.

# Новое поколение программных средств в энергетике — режимный диспетчерский тренажер «Финист»

**Е.Д. Карасев,**  
**ЗАО «Монитор электрик»**

Для обучения и переподготовки оперативно-диспетчерского персонала электроэнергетических систем (ЭЭС) широко и повсеместно применяются режимные тренажеры диспетчера (РТД) для:

- выработки навыков управления, а также изучения поведения, отклика ЭЭС на те или иные действия, ту или иную тактику поведения оперативного персонала;
- аттестации оперативного персонала;
- при изучении свойств ЭЭС в конкретной оперативной остановке; в таком качестве тренажер может быть полезен персоналу службы режимов — в задачах анализа режимов, проработке заявок на вывод в ремонт основного оборудования, выбора и проверки алгоритмов противоаварийной автоматики, оценки надежности прогнозных режимов и т.п.

Наибольшее распространение в диспетчерских центрах Системного оператора получил РТД Финикс, ядро которого было разработано около десяти лет тому назад. Финикс позволяет:

- моделировать установившиеся режимы и электромеханические переходные процессы; причем для ускорения расчетов на тех временных промежутках, где процессы протекают вяло, применяются упрощенные уравнения;
- показывать оперативную обстановку на однолинейной схеме, возможно, непосредственно средствами ОИК АСДУ.

Он неприязнителен к программно-аппаратной среде, удовлетворяется минимальным объемом исходных данных. За годы его эксплуатации диспетчерские центры накопили немалый опыт работы с этим РТД, чему способствовала налаженность сопровождения. Финикс стал важным инструментом, обеспечивающим учебно-тренировочный процесс.

Однако, как и любому программному средству, ему присущи недостатки, как любая программа он устаревает. Среди проблем, требующих решения, отметим:

- CIM-несовместимость;
- отсутствие поддержки протоколов GID и иных средств интеграции с внешними приложениями — тренажерами электрических станций, оперативных

переключений, программами расчета режима, ГРАФМ, средой MS Office;

- эпизодические отказы — как расчетных алгоритмов, так и программной реализации, одним из следствий которых являются исключительные ситуации (Exceptions);
- некоторая противоречивость моделей быстрой и медленной динамики;
- отсутствие адекватных моделей вторичного регулирования частоты и перетоков мощности;
- неучет специфики энергоблоков, станций, первичных двигателей;
- не вполне адекватная модель системы возбуждения, АРВ и магнитной системы генераторов;
- отсутствие моделей регулируемых ИРМ;
- простейшая модель нагрузки (невозможно, например, индивидуальное задание СХН);
- недостаточно эффективный алгоритм решения дифференциальных уравнений (метод предиктор-корректор второго порядка с постоянным шагом);
- низкая степень документированности, и не только для пользователя, но и для разработчика, что осложняет, в том числе, и обновление версий;
- бедные средства сценарии и оценки качества поведения тренируемого.

С учетом обилия проблем, часть из которых перечислена выше, правообладатель на распространение тренажера Финикс в структурах СОЦДУ — фирма «Монитор электрик» — приняла решение отказаться от его коренной модернизации и создает РТД нового поколения — Финист.

Финист воспроизводит стационарные и переходные режимы в электрической сети, узлах нагрузки и первичных двигателях, системах сбора и передачи данных, централизованных системах управления. Из переходных процессов воссоздаются, в первую очередь, те, которые может контролировать и в которые может вмешиваться диспетчер: это прежде всего коммутации, процессы длительной динамики (тепловые процессы на электростанциях, регулирование частоты и мощности), работа и отказы с системной автоматикой, нарушение устойчивости и ресинхронизация.

Тренажер позволяет имитировать оперативную обстановку диспетчерского центра средствами ОИК,

обеспечивая интеграцию потоков данных между ними в многопользовательской среде на основе интегрированных баз данных и протоколов обмена, построенных на международнопризнанных стандартах.

Финист строится на современной программной платформе MS .Net. Он изначально ориентирован на CIM. Для доступа к данным всех категорий используется GID-сервер: это касается активных данных (телеметрия), архивных, метаданных (НСИ), событий. Обмен с ОИК обеспечивается на основе протокола МЭК 870. Через GID Финист способен интегрироваться с внешними приложениями — тренажерами оперативных переключений, тренажерами электрических станций.

Для отображения используется графическая система TOPAZ, совместимая с ОИК СК: Схемы формата mti могут непосредственно отображаться и использоваться в тренажере. Возможно построение новой графической подсистемы при условии ее совместимости с ОИК СК.

Объектно-ориентированный редактор баз данных использует графические схемы подсистемы отображения и устанавливает связи энергетических объектов и оборудования, показанного на графических схемах и в базах данных расчетной модели. Он позволяет редактировать данные расчетной схемы в табличном виде, в иерархической форме дерева энергообъектов и переходами на группу параметров элемента или объекта из графических форм подсистемы отображения.

Основными программными компонентами тренажера Финист являются:

- головной модуль, управляющий запуском и выполнением всех прочих модулей;
- математическая модель ЭЭС;
- модуль сценариев и автоматик;
- подсистема протоколирования и сбора статистики;
- система сбора и передачи данных, включающая прямой доступ к данным по CIM-адресам и генерацию телеметрии (и ее отказов);
- объектно-ориентированный редактор нормативно-справочной информации;
- графическая подсистема отображения состояния ЭЭС и управления режимом в ходе тренировочного сеанса.
- Net GID-сервер, включающий в том числе импорт-экспорт модели в формате CIM;
- средства оценки качества принятых решений.

Все программные компоненты подключаются к головному модулю по стандартному программному интерфейсу в рамках программной платформы Net. Модуль управляет масштабом времени (изменяемым от ускоренного до стоп-кадра), событиями и очередностью исполнения программных компонентов. Алгоритмы управления вычислительным процессом реализуются внешними скриптами на Net-языках, так что изменение программной конфигурации и

состава запускаемых программных модулей, определяющих, например, вариант расчетного модуля, конкретный набор автоматик и функционирование систем АРЧМ, не требует модификации кода головного модуля.

Тренировка может начаться с базового состояния. Оно может храниться в xml-файле, извлекаться из БД ОИК, импортироваться через интеграционную шину. На него можно наложить текущие положения коммутационных аппаратов, импортировав их из среза или из дополнения к базовому режиму. Дополнения можно вносить и в перечень элементов оперативной схемы. Таким образом, в БД хранится не набор базовых состояний, а набор дополнений к ним. Начальные значения режимных параметров можно получать, рассчитав потокораспределение, можно воссоздать по срезу, хранящемуся в архиве и полученному или из модели, или из ОИК.

Расчетная модель Финиста умеет архивировать и воссоздавать полный срез всех переменных состояния, и это позволяет повторять тренировку, начиная с запечатленного момента, позже.

Начальный установившийся режим рассчитывается на базе процедур условной минимизации с оптимизацией шага воль выбранного направления спуска. Применение нетривиальных алгоритмов упорядочения узлов вкупе с приемами глобальной оптимизации обеспечили высокое быстродействие и надежность процедуры.

Обучающемуся оперативному персоналу предоставляется возможность работать с оперативной схемой, т.е. той, которая отображается средствами ОИК. Графический облик режимной схемы с топологическими узлами и ветвями не формируется. Актуальность такой схемы, ее соответствие оперативной схеме можно обеспечить только в автоматическом режиме, а это лишило бы схему выразительности.

Воздействуя на оперативную схему через ОИК, пользователь может инициировать одной командой каскад оперативных переключений, заранее сформировав образующую его цепочку элементарных действий. Доступ к Net-ресурсам программы предоставляет возможность сконструировать пользовательские средства отображения, управления, до-расчетов.

Финист не планируется оснащать специализированным языком конструирования макросов. Сценарий представляет собою линейную очередь событий: тогда-то происходит то-то. Момент времени для запуска цепочки команд назначается абсолютным значением или относительно некоторого события: например, запуск происходит по такому-то событию. Автоматический генератор макросов обеспечит возможность записи действий инструктора по переводу системы из одного состояния в другое и преобразования этой цепочки действий в сценарий. Сформированный таким образом сценарий в дальнейшем можно будет воспроизвести по команде или заложив в

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ

качестве компоненты гиперсценария. Т.е. сценарии могут быть вложенными. Одновременно может быть запущено несколько сценариев.

Наряду со средством автоматической генерации сценариев и формированием цепочки событий вручную, платформа Net обеспечивает возможность импорта сценариев, написанных на любом Net-языке.

В тренажер закладываются два класса моделей ЭЭС:

1. Электромеханические переходные процессы с индивидуальными скоростями вращения электрических машин, учетом динамики цепей возбуждения генераторов, в том числе АРВ.

2. Модель среднего движения, в которой роторы всех генераторов считаются жестко синхронизированными — взаимных качаний нет. Электромагнитные переходные процессы в цепях роторов и статоров, а также в регуляторах возбуждения считаются предельно быстрыми и описываются алгебраическими, а не дифференциальными уравнениями.

Первый вариант более полон, но и более привередлив: жестче дифференциальные уравнения (большие погрешности, большее время счета), больше требуется исходных данных, выше вероятность самораскачивания из-за неверно заданных параметров, и не только настроечных.

Второй вариант может воспроизвести более ограниченный круг явлений — быструю часть спектра переходных процессов, появляющуюся сразу вслед за возмущением, он не воспроизводит. Из-за этого, например, невозможно воспроизвести процессы при коротких замыканиях, учесть непродолжительные поузловые отличия частот, асинхронный ход.

Подчеркнем, что разработчики Финиста не ставят перед собой задачи корректного воспроизведения быстротечных электромеханических процессов. Принимается, что на них должна реагировать системная автоматика и релейная защита, а от РТД требуется воспроизвести лишь последствия этих процессов. В частности, не ставится задача моделирования коротких замыканий и несимметричных режимов вообще. Необходимость моделирования электромеханических переходных процессов обусловлена в основном тем, что без этого сложно имитировать лавину напряжения, еще сложнее — асинхронный ход, сопровождающийся или не сопровождающийся автоматическим срабатыванием делительной автоматики. А такого рода оперативные ситуации непременно должны воспроизводиться РТД.

Феникс допускает жесткое указание класса модели, но переключение может осуществляться и динамически. В последнем случае после коммутаций и при отсутствии сходимости процедуры расчета потокораспределения расчеты ведутся с учетом электромеханических переходных процессов. По затухании высокочастотных компонентов выполняется переход к модели среднего движения.

Для решения дифференциальных уравнений применяются явношаговые методы переменного порядка с переменным шагом и встроенными средствами учета высокочастотных всплесков.

Финист предоставляет набор типовых моделей первичных двигателей и регуляторов возбуждения. В отличие от Феникса, он позволяет учесть специфику типов электростанций и энергоблоков, — для тепловых, гидравлических и атомных станций предлагаются разные модели. Воспроизводится динамика гидроагрегатов ГЭС, в том числе высоконапорных, ГРАМ. Особое внимание уделено моделям ТЭС. Во-первых, предлагается линейка моделей разного уровня детализации блочных станций. Во-вторых, предоставляется возможность моделирования процессов на ТЭС с общей паровой магистралью, на КЭС при скользящих параметрах пара, учета регуляторов до себя и главных регуляторов давления, динамики тракта топливоподачи. Процессы пуска тепловых энергоблоков не воспроизводятся.

Трансформаторы допускают продольное и поперечное регулирование напряжения.

Нагрузки представляется четыремя составляющими:

- синхронизированной с зональным графиком,
- детерминированной,
- случайной,
- нагрузкой собственных нужд электростанций (ее величина зависит от нагрузки генерирующего оборудования).

Предусматривается включение в состав нагрузки эквивалентного асинхронного двигателя и учет динамики отработки команды набора и сброса мощности статической (впоследствии) нагрузкой.

Для каждого группового объекта управления задается диспетчерский график. При этом учитывается ограничение темпа задания нагрузок. Аварийные, внеплановые задания формирует центральная или общестанционная система АРЧМ. Эти задания могут вводиться и вручную, по инициативе диспетчера. Во встроенной модели ЦАРЧМ регулирование ведется по ПИ-закону. На вход ЦАРЧМ поступает взвешенная сумма отклонения частоты и перетоков мощностей от заданных значений. На выходе формируются задания на внеплановую выработку мощности генерирующим единицам в соответствии с назначенными для них коэффициентами долевого участия.

Реальные алгоритмы управления частотой и мощностью сложны. Пользователь, в принципе, может сконструировать соответствующую автоматику, написав Net-скрипт. Помимо этого предоставляется возможность обмена с реально используемой в конкретном ОДУ системе АРЧМ. Обмен ведется через БД РВ. Расчетная модель выкладывает в базу данных необходимые для работы АРЧМ параметры — частоту, перетоки, генерации станций, состояние блоков — и читает из нее чуть позже управляющие воздействия.

Комплексный источник реактивной мощности может содержать дискретно переключаемую группу конденсаторов и дискретно или плавно регулируемую группу реакторов. Дифференциальные уравнения при моделировании ИРМ не используются.

При учете электромеханических переходных процессов наряду с обмоткой возбуждения предусмотрен учет единственной демпферной обмотки по оси  $q$  ротора. В модель заложены все основные типы систем возбуждения с учетом ограничений по напряжению и току ротора:

- электромашинная, диодная бесщеточная, тиристорная;
- тиристорная бесщеточная — дополняется учетом реакции якоря и ограничением по выходу АРВ.

АРВ пропорционального и сильного действия представлены упрощенно, так, чтобы они верно воссоздавали спектр частот до единиц герц. Предусмотрены каналы регулирования по модулю напряжения, активному, реактивному и полному току якоря, току и напряжению возбуждения, частоте напряжения.

Генератор телеметрии создает данные ТИ и ТС на основе параметров режима математической модели. Он позволяет эмулировать отказы датчиков, каналов связи, временные задержки, дискретность моментов съема информации и передачи управляющих воздействий, воспроизводить ограниченную точность представления данных. Отказы могут протоколироваться.

Сгенерированная сервером телеметрическая информация по протоколу МЭК-870 (IEC 870-5-104) раздается клиентам, в том числе в качестве управляющих воздействий.

Противоаварийная автоматика может быть задана в форме скрипта на каком-либо Net-языке. Это обеспечивает универсальность. В качестве стандартных компонентов в РТД входят скрипты следующих автоматов:

- автоматическая частотная разгрузка (АЧР I, АЧР II, АЧРС, ЧАПВ);
- ввод вращающего резерва (частотный пуск гидрогенераторов);
- САОН (по снижению напряжения, по отключению параллельной линии с целью недопущения перегрузки трансформатора, централизованная АОН, отключающая нагрузку при превышении контролируемой мощности порога);
- делительная автоматика по частоте;
- автоматика защиты от повышения частоты (АОЧ);
- автоматика защиты от повышения напряжения;
- АПНУ;
- АЛАР.

По заказу этот набор может пополняться. При эксплуатации тренажера параметры включенных в его состав автоматик указываются в режиме обычного пользовательского диалога. Создания специализированной графической среды построения блок-схем автоматик не планируется.

Выход полнофункциональной версии тренажера намечен на начало 2008 г. В настоящее время заложен теоретический фундамент моделей, реализованы процедуры расчета установившегося режима, длительной динамики, отображения, управления мнемосхемой, средства обмена информацией по стандартным протоколам, редактирования и импорта исходных данных, средства создания сценариев тренировки, модель ГРАПМ, реализованы некоторые виды автоматик. Ведутся работы по моделированию быстрых переходных процессов. На очереди — моделирование атомных станций, динамики водохранилищ, средства оценки качества принимаемых решений, генератор макросов, протоколирование и ряд иных задач.

Тренажер как единое целое уже функционирует. В декабре на совещании с участием представителей СОЦДУ состоялась его презентация в Пятигорске. Тренажер рассчитывал потокораспределение по Большой расчетной модели Единой энергосистемы России, и было продемонстрировано его использование для проведения противоаварийной тренировки на фрагменте Смоленской энергосистемы. В автоматически воспроизводимый сценарий было заложено отключение нескольких воздушных линий. Далее математическая модель воспроизводила в динамике и отображала на мнемосхеме изменение частоты, напряжений, перетоков мощности и иных контролируемых диспетчером режимных параметров. Срабатывала защита от перегрузки оставшихся в работе линий. ТЭЦ отделялась от энергосистемы. Срабатывала автоматика отключения генераторов, обеспечивая баланс между генерацией и местной нагрузкой. Последующая ресинхронизация осуществлялась по команде пользователя, управляющего мнемосхемой.

На совещании был высказан ряд замечаний, пожеланий. Они касались математической модели, интерфейса, дидактических аспектов, сертификации. В целом концепция и работа были одобрены.

Коллектив ЗАО «Монитор электрик» надеется, что тренажер сможет стать полезным инструментом подготовки оперативного персонала диспетчерских центров Системного оператора.

# Имитация реальности. Тренажер для диспетчеров электросетей

**Франсуа Промель, Иче Судри,  
Tractebel Engineering-Бельгия, ABB Power Technologies-Германия**

*Предлагаемые ниже статьи посвящены новому подходу к построению диспетчерских тренажеров и техническим устройствам управления электроэнергетических систем известной фирмы АББ.*

Мир электроэнергетики меняется! В нескольких энергосистемах, пользовавшихся репутацией сверхнадежных, в последние годы произошли масштабные отключения. Одна из важнейших мер для предотвращения таких ситуаций — интенсивное обучение диспетчеров, т.е. тренировка их быстрых и решительных действий в неожиданных ситуациях.

Важным элементом обучения диспетчеров являются практические занятия на тренажере. Чтобы такие занятия были действительно полезными, поведение тренажера должно быть максимально приближено к поведению реальной системы. До настоящего времени тренажеры показывали очень хорошие результаты при моделировании одних явлений, но были далеки от совершенства при моделировании других. В тренажере для обучения диспетчеров (Dispatcher Training Simulator, DTS), известном под названием FAST-DTS и разработанном совместно компаниями АББ и Tractebel Engineering (Бельгия), используется совершенно новая модель, обеспечивающая большую точность моделирования, чем когда-либо ранее.

В рамках соглашения о долгосрочном сотрудничестве между Tractebel и АББ и вслед за поставкой компанией АББ системы диспетчерского управления Energy Management System (EMS) в бельгийские центральные и региональные диспетчерские пункты, было решено найти эффективное применение опыту, полученному обоими партнерами. Была продолжена разработка тренажерной системы, которая обеспечит операторов ELIA самыми совершенными средствами на рынке.

Вкладом со стороны АББ послужила платформа Network Manager™, обладающая мощной базой данных, средствами обучения и инфраструктурой. Компания Tractebel интегрировала собственную подсистему FAST-DTS, построенную на основе технологии EDF-Tractebel EUROSTAG®.

В результате был создан новый тренажер для обучения диспетчеров, получивший название FAST-DTS.

## Почему происходят аварии в энергосистемах?

Отключение энергоснабжения — явление не новое: оно известно с момента постройки первой линии электропередачи. Однако в последние годы в нескольких западных странах произошли аварии исключительного масштаба. Простейшим объяснением этого может послужить утверждение, что мир электроэнергетики меняется. Среди множества изменений следующие: дерегулирование рынка электроэнергии; разделение вырабатывающих и передающих компаний; сокращение инвестиций или перенос их на более поздний срок; проведение коммерческих операций, приводящих к неожиданным перетокам энергии; подключение крупных непостоянных источников энергии; все более частая эксплуатация высоковольтных сетей на пороге их физических ограничений и в условиях, которые не были предусмотрены проектировщиками. Иными словами, запас надежности уменьшается до такой степени, что в определенных условиях нештатная ситуация в одном-единственном месте может привести к крупномасштабной аварии. Таким образом, диспетчеры ежедневно сталкиваются со все более сложными критическими ситуациями и вынуждены использовать для управления сетью все более сложные средства.

Краеугольными камнями безопасной эксплуатации сетей являются обучение и тренировки. Операторам необходимо расширять свои познания относительно физической природы явлений и учиться правильно реагировать на неожиданные ситуации. неотъемлемой частью такого подхода является использование совершенных тренажеров. Многим известно, что летные тренажеры на протяжении многих лет применялись в обучении пилотов, но сейчас тренажеры применяются и на других видах транспорта, в морском флоте и в военном деле.

Энергосистемы — случай особый, и это связано с их сложностью. Явления, которые могут наблюдаться в любой системе, отличаются разнообразием, харак-



теризуются самой разной продолжительностью, могут возникать одновременно и налагаться друг на друга. Для моделирования этих процессов требуются огромные математические системы, обработку которых следует вести в реальном масштабе времени. К сожалению, большинство созданных на сегодняшний день тренажеров предназначено для ограниченной области применения и позволяют лишь частично решить проблему. Расширение области применения и есть та цель, которую поставили перед собой разработчики FAST-DTS.

### **FAST: система моделирования, расширяющая рамки ограничений**

Большинство тренажеров ориентированы на явления «phenomena oriented». Это означает, что они были разработаны для моделирования определенного ряда явлений. Явления, наблюдаемые в энергосистемах, можно классифицировать по различным критериям, в первую очередь, по скорости их развития или по тому, связаны ли они с активной или реактивной мощностью. Явления, поддающиеся моделированию на конкретном тренажере с достаточной точностью, определяют область применения тренажера.

Например, если тренажер предусматривает моделирование долговременной устойчивости, он не сможет корректно смоделировать быстропротекающие процессы. Обоснованием такого подхода служит то, что чем уже область применения, тем проще оказывается математическая модель. А если математическая модель проста, система моделирования также оказывается простой.

У такого подхода есть определенные ограничения, первое из которых чисто практическое: если операторов необходимо обучить работе в различных условиях и при различных нештатных ситуациях, необходимо применять несколько тренажеров, а это зачастую оказывается практически невозможным. Основное же ограничение, однако, принципиально: в энергосистемах все взаимосвязано. Быстропротекающие явления оказывают влияние на долговременное поведение сети, активная и реактивная мощности неотделимы друг от друга, а процессы совершенно различной природы могут протекать в одно и то же время. Даже при использовании тренажера в его расчетной области применения моделируемое поведение системы может оказаться под вопросом, если в тренажере систематически игнорируются явления, выходящие за его область применения.

Единственный способ преодоления описанных ограничений — строить разработку на основе обобщенной модели, т.е. модели, которая может отразить явления всех видов, вне зависимости от их временного масштаба, связи с активной или реактивной мощностью или характера протекания процессов — последовательного или параллельного.

Модель именно такого типа была выбрана для FAST-DTS. Конечно, такая модель значительно усложняет процесс моделирования, но и выгоды очевидны: система может моделировать события и процессы, начиная от выхода генератора из синхронизма (например, из-за короткого замыкания) и заканчивая медленной динамикой паровых котлов или действиями централизованной диспетчерской службы. Иными словами, моделируются как явления с характерной частотой 10 Гц, так и квазистатические. Разработчики считают, что подробная математическая модель близкая к физической природе явлений, и обрабатываемая мощным решающим аппаратом, более надежна, чем упрощенные модели, обычно применяемые в тренажерах. Такая обширная модель позволяет моделировать сложные аварийные ситуации вплоть до отключения энергосистемы и сохраняет точность количественных оценок в тех ситуациях, в которых большинство тренажеров либо дают приблизительные качественные оценки, либо терпят крах.

### **Архитектура FAST-DTS**

С точки зрения оператора аппарат моделирования тренажера фактически заменяет собой реальную энергосистему, т.е. он принимает команды от системы управления и возвращает значения в точках съема аналоговых и цифровых телеметрических сигналов. Такое представление оправдано и при рассмотрении архитектуры FAST-DTS — аппарат моделирования является независимой системой, отличной от системы управления. Эти две системы связываются между собой с помощью общего протокола (ELCOM), реализованного на коммуникационных уровнях системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA). Для обеспечения максимально возможной гибкости система FAST была интегрирована в систему Network Manager компании АББ. (Решение для диспетчерских центров, обеспечивающее безопасное и эффективное управление энергосистемой. Платформа также выступает в качестве системы энергетической информации и обеспечивает персонал, принимающий решения, надежной информацией о протекающих процессах.)

Эта архитектура обладает следующими преимуществами:

- Система управления, подключенная к аппарату моделирования, является точной копией системы, установленной в диспетчерском центре. Операторы работают с ней в точности так, как они работали бы в диспетчерском центре.
- Интеграция FAST в платформу ABB Network Manager позволяет использовать ее, не копируя средства системы управления. Эта возможность оказывается ценной в том случае, если пользователь желает получить «облегченную» версию FAST-DTS, в которой аппарат моделирования и система управления не разделены между собой.

## ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗА РУБЕЖОМ

- Также платформа ABB Network Manager обеспечивает в качестве имитационной инфраструктуры для инструктора современную среду, позволяющую ему эффективно работать над построением и контролем сеансов обучения.

- База данных для аппарата моделирования не имеет отличий от базы данных для системы управления — она является копией последней. Персоналу, занятому поддержкой базы данных, не требуется дважды выполнять одну и ту же работу при обновлении базы данных.

- Допускается использование нескольких каналов ELCOM, если к аппарату моделирования необходимо подключить несколько систем управления. Эта возможность оказывается очень удобной, например, если сеансы обучения связаны с координацией действий нескольких операторов или диспетчерских центров. При соблюдении протокола ELCOM могут быть подключены даже системы управления различных типов и от различных производителей.

Каковы требования к данным для динамической модели? Обобщенная модель FAST требует наличия определенных данных, которые отсутствуют в стандартной базе данных системы управления. Фактически, модель FAST полностью совместима с EUROSTAG®. Это позволяет настроить динамическую модель с необходимой гибкостью, характерной для учебного средства, а после тонкой настройки ее можно загрузить в основную базу данных аппарата моделирования. Совместимость моделей позволяет экспортировать информацию о состоянии сети из аппарата моделирования и загружать ее в EUROSTAG®. Отдельные элементы сеанса обучения можно повторить и тщательно изучить, например, для анализа динамики, которая недостаточно подробно представлена в SCADA. Такой анализ представляет большую ценность не только для обучаемых, но и для инструкторов при построении новых сценариев.

### Приложения FAST-DTS

Область применения FAST-DTS можно описать с двух точек зрения: структурной и феноменологической.

Оценка со структурной точки зрения (рис.1) вытекает из архитектуры FAST-DTS. Как уже было сказано, существует возможность подключения к аппарату моделирования различных систем управления. Благодаря такой архитектуре тренажер FAST-DTS обеспечивает проведение сеансов обучения, которые имитируют не только средства управления, но и иерархию. Эта особенность очень ценна при анализе важнейших взаимодействий между операторами и/или диспетчерскими центрами в нормальных и аварийных ситуациях, в особенности при испытании новых последовательностей операций. Тренажер также является идеальной платформой для оперативного

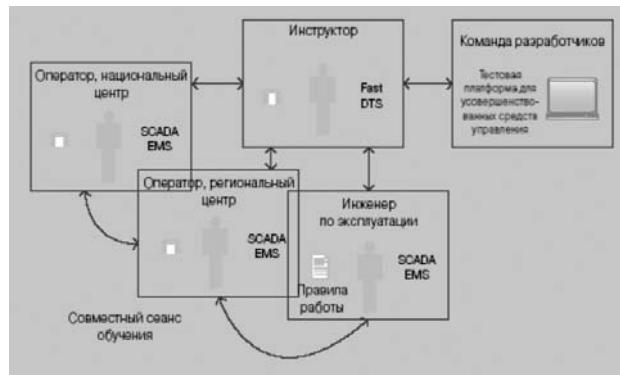


Рисунок 1.

Структурное представление FAST-DTS

тестирования специализированных средств управления, например, схем диспетчерского управления с ограничениями по надежности или централизованного регулирования напряжения.

Оценка с феноменологической точки зрения (рис.2) может быть получена из рассмотрения динамической модели FAST-DTS. Чем более общий характер носит модель, тем шире диапазон явлений, которые могут быть смоделированы. Приведенный ниже список не является исчерпывающим:

- команда переключения линий,
- короткое замыкание на линии, в трансформаторе или внутри подстанции,
- работа компенсаторов реактивной мощности,
- включение/отключение защитного устройства или автоматики регулирования,
- изменение уставки генератора (активной мощности и напряжения),
- включение/отключение специальных функций регулирующего устройства генератора,
- включение/отключение управления выключателем (отказ выключателя),
- команда переключения ответвлений под нагрузкой.

Разнообразие событий, которые могут быть учтены системой FAST-DTS, позволяет моделировать работу электросети практически в любом состоянии.

### Учебный центр Tractebel Engineering

Компания ELIA пользуется учебным центром Tractebel Engineering для непрерывного обучения своих диспетчеров. Тренажер FAST-DTS эксплуатируется с начала 2004 года. Часть тренажера, соответствующая системе управления, сконфигурирована в виде полной копии (SCADA плюс EMS) двух диспетчерских центров. Конфигурация адаптируется в соответствии с учебным сценарием и/или местом работы операторов. В модель входят 900 подстанций, 175 генераторов, 3000 линий или трансформаторов, 17500 выключателей и более 6000 устройств защиты.



**Рисунок 2.**  
Феноменологическое представление FAST-DTS

Аппарат моделирования исполняется на двухпроцессорном компьютере, а среди типовых сценариев имеются сценарии по управлению потоками мощности, регулированию напряжения и черному пуску.

### Еще один продукт для пакета Network Manager

Тренажер FAST-DTS рассматривается как еще одно достижение в совместной работе АББ и Tractebel.

Тренажер может применяться в виде автономной системы, может быть интегрирован при модернизации существующей системы управления сетью или внедрен в качестве дополнения к новой системе управления.

Кроме уже существующего классического тренажера по типу EPRI компания АББ представит новый тренажер, входящий в группу продуктов Network Manager.

*По материалам АББ Ревю. 2/2005*

## Взгляд в будущее. Перспективы управления энергосистемами

**Петр Корба, Матс Ларссон, Александр Удалов и Отто Прайсс,  
ABB Switzerland, Corporate Research**

По мере роста экономики и увеличения населения увеличивается необходимость в повышении надежности, пропускной способности и динамичности систем передачи электроэнергии. Надежная энергосистема — один из главных элементов инфраструктуры, обеспечивающих существование развитой экономики, и один из важнейших факторов для экономики развивающейся. Надежное электроснабжение с приемлемыми затратами обеспечивается сетями передачи и распределения электроэнергии, связывающими производителей энергии с ее потребителями.

В меняющихся условиях рынка энергосистемам необходимо искать пути более эффективного использования старых линий электропередачи, возможности взаимодействия со смежными системами и способы поддержания качества электроснабжения. Эта ситуация неизбежно должна была создать повышенный интерес к современным решениям.

Все решения, основанные как на традиционных методах, так и на новых технологиях, должны обеспечивать управление потоком энергии от производителя к потребителю и гарантировать устойчивость энергосистемы.

Компания АББ в настоящее время работает над новым поколением устройств управления и автоматизации для энергосистем, пользуясь при этом опытом и поддержкой двух знаменитых университетов: Имперского колледжа Лондона и Федерального технологического института в Цюрихе.

Одной из множества задач, стоящих перед компанией АББ, является создание технологий построения устойчивых энергосистем, обладающих долговременной надежностью. Под устойчивостью подразумевается способность энергосистемы выдерживать возмущения без прекращения обслуживания потребителей, а это определяется, в основном, характеристиками самой физической системы.

В настоящее время происходит ряд процессов, меняющих важнейшие физические параметры энергосистем.

#### • Объединение электрических сетей

Общая тенденция в последние годы — открытие энергетических систем Европы с востока. Это означает, что электрические сети, которые в прошлом были интегрированы в незначительной степени, теперь должны быть тщательно синхронизированы. В связи с этим меняется фазовая устойчивость сети, что ведет к нежелательным (или даже недопустимым по ус-

## ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗА РУБЕЖОМ

ловию устойчивости) качаниям мощности, которые, в свою очередь, влияют на надежность сети.

### • Дерегулирование энергетического рынка

По линиям электропередачи теперь требуется передавать большие мощности на большие расстояния, что связано с развитием рынка электроэнергетики. Фактически, теперь энергию необязательно производить в стране, где она потребляется. У этого процесса есть и обратная сторона: давно построенные маломощные линии теперь становятся важными коридорами для передачи электроэнергии, и риск нежелательных перетоков и качаний мощности значительно возрастает.

### • Рост озабоченности вопросами экологии

Повышенное внимание общественности к вопросам экологии подразумевает возрастание протеста против воздушных линий, проявление интереса к нынешней проблеме выбросов CO<sub>2</sub> или, в некоторых странах, требования отказаться от ядерной энергетики. Эти факторы приводят ко все большему распространению распределенных источников энергии и более активному использованию возобновляемых источников. Как следствие, все большая часть электроэнергии вырабатывается при более низком напряжении и установками с меньшей выходной мощностью.

### • Распределенное производство электроэнергии

Чем больше расстояние между возобновляемым источником энергии и предполагаемой точкой потребления, тем больше вероятность непостоянной выработки энергии. ГЭС, солнечные или ветровые электростанции могут быть построены в местах, связанных очень слабыми линиями с сетями передачи и распределения электроэнергии. Поскольку выработка электроэнергии в значительной степени зависит от погодных условий, для обеспечения стабильного и надежного электроснабжения необходима какая-либо схема компенсации (аккумулирования энергии). Это приводит к изменениям в нынешних схемах выработки электроэнергии и распределения потоков мощности в электросетях.

### • Устаревание инфраструктуры

Для замены старых компонентов энергосистемы используются новые компоненты. Они обычно изготовлены по другим технологиям (силовая электроника), а следовательно, оказывают отличное влияние на физические характеристики сети. Потребность в обеспечении надежности сети и управлении потоками мощности подразумевает увеличение необходимого числа мощных контроллеров. Это, в свою очередь, может оказать негативное влияние и привести к значительному ухудшению общих характеристик.

Изначально электросети проектировались и строились без учета вышеперечисленных соображений. Эволюция многих электросетей требует, чтобы новые идеи и технологии были применимы в изменчивых

условиях. Основная задача тем не менее остается той же: управление потоком мощности от поставщика к потребителю и поддержание устойчивости энергосистемы. Чтобы это обеспечить, необходимо поддерживать стабильность напряжения и частоты. Все генераторы, подключенные к одной сети переменного тока, должны быть синхронизированы между собой (фазовая устойчивость), тогда как направление перетока мощности соответствует определенному «договорному пути» к потребителю.

Компания АББ решает описанные вопросы с помощью методов анализа, моделирования и управления. Исследования ведутся в сотрудничестве со знаменитыми университетами в Лондоне (Имперский колледж) и Цюрихе (ETH, Федеральный технологический институт).

## Тенденции развития систем управления энергосистемами

Тенденции будущего развития систем управления в энергетике в аспекте управления потоками мощности, а также обеспечения стабильности частоты, напряжения и фазы отражают те же общие изменения: от управления с местными измерениями к координированному управлению на основе местных измерений и телеметрии (рис. 1).

Для выполнения задач управления потоками мощности с сохранением устойчивой работы энергосистемы в алгоритмах управления необходимо учитывать традиционные автоматические регуляторы напряжения (AVR), стабилизаторы энергетической системы (PSS) и трансформаторы, а также адаптивные устройства для систем передачи переменного тока (FACTS). Полученные алгоритмы затем применяются в системах, характеризуемых сочетанием следующих расширенных методов управления.

### • Многомерное управление

Управляющие воздействия, ранее традиционно определяемые на основе одного местного сигнала обратной связи (рис. 2), теперь будут определяться с учетом

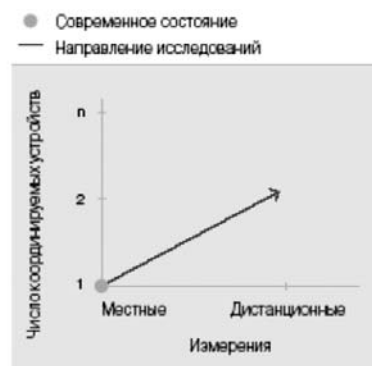


Рисунок 1.

Перспективы развития методов управления энергосистемами: стабильность напряжения, фазовая устойчивость, стабильность частоты, потоки мощности

## ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗА РУБЕЖОМ

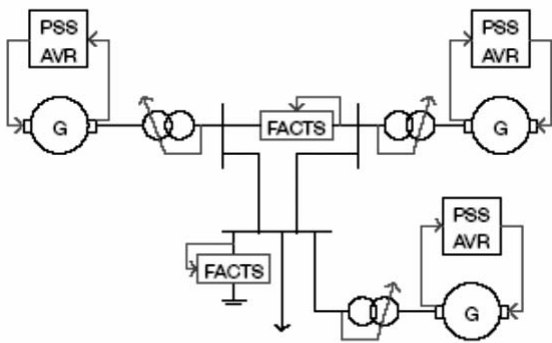


Рисунок 2.

Традиционно управление энергосистемами основывается на одном независимом локальном сигнале обратной связи

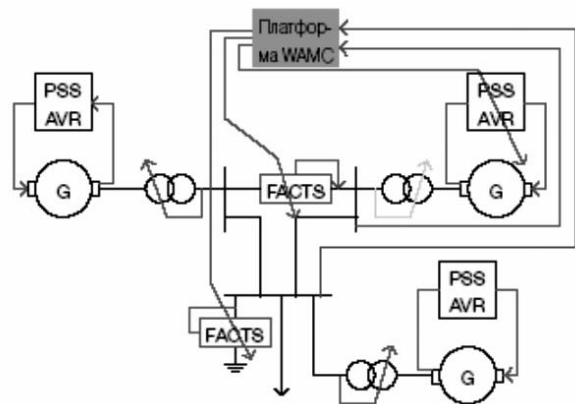


Рисунок 3.

Тенденции развития методов управления энергосистемами заключается в переходе к обработке дополнительной информации обратной связи, поступающей по каналам телеметрии

как местных, так и дистанционных измерений. Необходимо, однако, принять решение, какие из доступных измерений имеют наибольшее значение (рис. 3).

#### • Иерархическое управление

Управление отдельным параметром, например, качаниями мощности, координируется набором устройств, чтобы задача управления, например, требуемое демпфирование качаний, выполнялась при любых обстоятельствах (рис. 3).

#### • Многокритериальное управление

Законы управления отражают влияние одного явления на другое, например, изменения перетока мощности, ведущие к слабо демпфированным качаниям.

#### • Адаптивное управление

Контроллеры обнаруживают и учитывают фактическое (в реальном времени) состояние энергосистемы, ее характеристики и изменения в структуре и физических параметрах.

### Предпосылки и возможности

Для реализации указанных методов управления необходимо наличие платформы глобального мониторинга и управления (wide-area monitoring and control, WAMC), осуществляющей предварительную обработку всех измерений, полученных в энергосистеме.

Благодаря применению усовершенствованных алгоритмов при обработке телеметрических сигналов стабильность энергосистемы может быть оценена в режиме реального времени [1–3] — такие параметры, как частота, демпфирование электромеханических колебаний, тепловая перегрузка линии или неустойчивость напряжения в линиях контролируются динамически. Полученная динамическая информация может быть просмотрена на обычной станции оператора.

Первая платформа WAMC уже представлена на рынке, но поскольку она в настоящее время обеспечивает только мониторинг, принятие решений при отклонениях от штатного режима остается за оператором или другим ответственным лицом. Новые разра-

ботки направлены на передачу всей дополнительной информации непосредственно в быстродействующие контроллеры энергосистемы, что, в свою очередь, должно открыть новые возможности для расширенного управления энергосистемами.

Компания АББ в Швейцарии, в частности, корпоративный исследовательский центр, известна своими новаторскими разработками платформ WAMC. Поскольку первые результаты внутренних исследований оказались весьма многообещающими, в настоящее время запущено несколько университетских проектов, нацеленных на укрепление позиций АББ в области расширенного управления энергосистемами: Имперский колледж Лондона и швейцарский Федеральный технологический институт (ETH) в Цюрихе исследуют новые подходы к управлению одним и несколькими устройствами FACTS.

### Имперский колледж, Лондон

Компания АББ и Имперский колледж Лондона работают над повышением фазовой устойчивости энергосистем. Предыдущий совместный проект системы надежного управления FACTS успешно завершился в конце 2004 г. разработкой мощного инструментального средства проектирования мультипараметрических контроллеров FACTS. Это средство предназначено для улучшения демпфирования нежелательных электромеханических колебаний в электрических сетях. Его работа основана на методах выпуклой оптимизации с применением линейных матричных неравенств, а также методах упрощения динамических моделей. Решение было протестировано в нескольких имитационных ситуациях, в которых было рассмотрено несколько типов устройств FACTS и множество эталонных моделей энергосистем.

Тем не менее после тщательных испытаний подразделением FACTS компании АББ в Вестерос (которое тоже принимало участие в проекте) был обнаружен ряд практических недостатков метода.

## ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗА РУБЕЖОМ

Например, для проектирования контроллера необходима относительно точная динамическая модель рассматриваемой энергосистемы, но не всегда есть возможность получить такую модель. Для обеспечения необходимой точности параметров АББ Имперский колледж в настоящее время разрабатывают процедуру, определяющую параметры требуемой динамической модели непосредственно из оперативных измерений. Эта процедура окажется составной частью контроллера, а в результате будет сформирована косвенно адаптивная схема управления. Таким образом мы обеспечим гарантию корректной работы контроллера в широком диапазоне условий эксплуатации. Однако даже без указанных поправок предлагаемое решение превосходит другие, уже представленные на рынке [4].

### Сотрудничество с Федеральным технологическим институтом в Цюрихе

Целью этого сотрудничества, начатого в сентябре 2004 года, является нахождение способа улучшить качество управления потоками мощности в энергосистемах. В последние годы ежегодное наращивание пропускной способности линий электропередачи имеет тенденцию к снижению, тогда как общее энергопотребление продолжает расти. Это означает, что сети электропередачи работают с загрузкой, близкой к предельной. Для снижения нагрузки могут быть применены методы управления потоками энергии, позволяющие более эффективно использовать пропускную способность существующих сетей [5].

Однако фундаментальным недостатком энергосистемы переменного тока является сложность управления потоком энергии по конкретной договорной траектории. Так называемые «кольцевые перетоки» могут привести к отклонению от наиболее прямого маршрута между генератором и потребителем, что повлияет на все смежные узлы, напрямую не участвующие в транзакции.

Для решения этой проблемы могут быть применены различные устройства управления потоками электроэнергии, выпускаемые АББ, такие как PSS, HVDC

и FACTS, перенаправляющие и равномерно распределяющие потоки энергии в передающей системе без необходимости менять график выработки или вносить изменения в топологию системы. Однако до недавнего времени традиционным способом решения этих проблем было добавление отдельных, индивидуально управляемых устройств к существующим сетям. При этом побочные эффекты от добавления нескольких устройств управления потоками мощности к существующей системе электропередачи остаются недостаточно изученными [6].

Совместный проект с EТН нацелен на разработку контроллеров, способных управлять несколькими устройствами, регулируемыми потоки мощности, что позволит устранить перегрузки в передающих сетях. Группа из нескольких контроллеров, работающих в одной зоне в тесной координации между собой, должна устранять все возможные отрицательные эффекты каждого отдельно взятого управляющего воздействия.

### Плодотворное сотрудничество

Совместные исследования — это способ для ученых в промышленности и в университетах развивать свои научные направления. Компании получают возможность быстрее выводить на рынок новые изделия, удовлетворяя интересы обеих сторон — стремление к новым знаниям и создание выгоды для общества в целом. Работа со сторонними специалистами может в значительной степени повысить качество и полноту исследований.

Именно эта идея лежит в основе сотрудничества компании АББ с двумя знаменитыми университетами. EТН и Имперский колледж Лондона активно участвуют в разработке следующего поколения систем управления и автоматизации для энергетики. Эти изделия основаны на технологии глобальных фазорных измерений — в этой области компания АББ является лидером рынка.

Компания АББ высоко оценивает эффект от связей с университетами в укреплении своей рыночной позиции. Фундаментальные исследования, движимые энтузиазмом университетских ученых, открывают интересные направления, позволяющие создавать новые ценные технологии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. P. Korba, M. Larsson, C. Rehtanz, «Detection of oscillations in power systems using Kalman filtering techniques», In Proc. of IEEE Conference on Control Applications, pp.183-188, Vol.1, 23–25 June, 2003.
2. P. Korba, M. Larsson, C. Rehtanz, «Detection of Power System Oscillations based on adaptive Kalman Filter.» European Patent EP 1 489 714, US Patent Appl. Nr 10/871,685.
3. Larsson, M., Rehtanz, C., Westermann, D., Improvement of Cross-border Trading Capabilities through Wide-area Control of FACTS, In Proc. of Bulk Power System Dynamics and Control VI, 22–27 August, Cortina D'Ampezzo, Italy, 2004.

4. B. Chaudhuri, P. Korba, B. C Pal, «Damping controller design through simultaneous stabilization technique», In Proc. of World Automation Congress, Seville, Spain, 28 June — 1 July, 2004.
5. R. Sadikovic, G. Andersson, P. Korba, «Power Flow Control Strategy for FACTS Devices», In Proc. of World Automation Congress, Seville, Spain, 28 June — 1 July, 2004.
6. A. Oudalov, P. Korba, «Coordinated Power Flow Control using FACTS», In Proc. of IFAC World Congress, Prague, Czech Republic, 4 — 8 July, 2005.
7. M. Zima, M. Larsson, P. Korba, C Rehtanz, G. Andersson, «Design Aspects for Wide Area Monitoring and Control Systems», Proceedings of the IEEE, Special Issue on Energy Infrastructure Defence Systems, May 2005.

*По материалам АББ Ревю. 2/2005*

**06.09-22Ж.21.** [Постепенный отказ от британской модели реформирования электроэнергетики]. *The British Model in Britain: failing slowly*. Thomas Steve. *Energy Policy*. 2006. 34, № 5. С 583–600. Англ.

Сообщается, что британская модель реформирования эл-энергетики, которая задумывалась в 1990 г., как модель для реформирования мировой энергетики, не оправдала надежд в создании конкурентного рынка генерирующих компаний и свободного доступа к распределительным сетям. Более того, отмечается снижение качества работы генерирующих предприятий и повышение стоимости эл-энергии для мелких потребителей.

**06.08-22Ж.1.** *Прошлое и будущее мировой электроэнергетики*. Кучеров Ю. Н., Лизалек Н. Н., Самородов Г. И. (ОАО «Федеральная Сетевая Компания ЕЭС»). *Электротехника и будущее цивилизации. Материалы Международной научно-технической конференции, Томск, 19–21 мая, 2004. Томск: Изд-во ТГУ. 2004. С. 90–93. Рус.*

Рассматриваются проблемы мировой электроэнергетики, ее прошлое, пути развития и будущее. В 2000 г. весь мир потреблял около 15 000 кВт-ч. Душевое электропотребление в среднем составляло 2500 кВт-ч в год. Ожидается, что к концу века средний уровень душевого потребления достигнет 5000 кВт-ч. Обеспечение такого роста ставит перед электроэнергетикой мира и отдельных стран сложнейшие проблемы. Уже в конце XX в. мировая электроэнергетика столкнулась с рядом проблем, острота которых в XXI в. продолжает нарастать. Перечислены и рассмотрены основные проблемы: 1) исчерпаемость основных невозобновляемых природных энергоресурсов; 2) выбросы и отходы при производстве электроэнергии, приводящие к глобальным климатическим изменениям; 3) воздействие электрических и магнитных полей, создаваемых высоковольтными сетями; 4) коэффициент повышения технического действия электроэнергетики, начиная от стадии преобразования энергоресурсов в электроэнергию и кончая ее потреблением; 5) организационная структура объединенных и национальных энергосистем, которые до последнего десятилетия XX в. во всех странах представляли вертикально интегрированные системы с жестким государственным регулированием их хозяйственной деятельности.

Л. А. Березина

**06.08-22Ж.2.** [Либерализация рынка электроэнергии в странах мира]. *25 years of turmoil - liberalisation or bust?* Smith. David (Великобритания). *Mod. Power Synl*. 2006. 26. № 1. С. 11, 13, 1 ил. Англ.

Приведен анализ некоторых результатов реформ в области электроэнергетики в странах мира, связанных с либерализацией рынка электроэнергии и сети обслуживания энергопотребителей. Высказаны сомнения относительно использования возобновляемых видов энергии в качестве одной из мер по предотвращению глобального потепления планеты. В качестве

основы национальной экономики США, Германия, Польша, Индия, Китай, Индонезия и Австралия считают усовершенствованную угольную технологию. Правительство Великобритании планирует к 2050 г. снизить уровень эмиссии CO<sub>2</sub> на 60%. Большие надежды возлагаются на месторождения нефти и природного газа в прибрежной зоне для повышения безопасности британской электроэнергетики.

Г. И. Балаев

**06.08-22Ж.3.** *Либерализация рынка электроэнергии. Fitting the bill*. Grimston M. (Royal Institute of International Affairs, Великобритания). *Nucl. Eng. Int.* 2005. 50. №617. С 36–37, 39–40. Англ.

Приведен краткий анализ хода реформы по либерализации рынков электроэнергии в ряде стран мира (напр., США, Чили) в 1980-х годах. Большую роль при реализации реформ сыграли национальные и международные организации Евросоюза, Федеральная комиссия по регулированию энергии США (FERC) и др., разработавшие рекомендации и осуществляющие контроль за получением, передачей и распределением электроэнергии, за деятельностью естественных монополий. Представлены данные по инвестированию в эту отрасль экономики (от 55 до 750 долл./МВтч). Рассмотрено состояние и развитие вертикально интегрированных структур на рынке электроэнергии: если в 5 наиболее крупных в Европе фирм - генераторов электроэнергии владели 46% этого рынка, то в 2002 г. их доля составила уже 62%.

Г. И. Балаев

**06.11-22Ж.101.** *Профессиональная подготовка студентов политехнического колледжа к оперативной деятельности на электроэнергетических предприятиях*. Булатова В.М., Лопухова Т. В. *Изв. вузов. Пробл. энерг.* 2005. № 9-10. С. 75–83. Библ. 4. Рус; рез. англ.

Изложены результаты педагогического исследования подготовки студентов политехнического колледжа к оперативной деятельности на электроэнергетических предприятиях. Предложена система подготовки будущих специалистов, включающая в себя выбор содержания, формирование профессиональных компетенций и профессиональный подбор на основе психолого-педагогической диагностики. Экспертные оценки начальников электроцехов Нижнекамской ТЭЦ-1 и Нижнекамской ТЭЦ-2, главного инженера и заместителя начальника службы подстанций Нижнекамских эл. сетей и специалистов Нижнекамских городских эл. сетей показали, что все студенты, проходившие производственную практику по специально разработанной программе, имеют достаточно высокий уровень умений и навыков выполнения задач оперативной деятельности на этих предприятиях.

© VINITI, 2006. За полным текстом статей обращаться в ВИНТИ РАН  
www.periodicals.ru  
info@periodicals.ru

## ОТВЕТЫ НА ДИСПЕТЧЕРСКИЕ ЗАДАЧИ

### ЗАДАНИЕ №1.

1. После поступления докладов от дежурных ПС А и ПС Б опробовать напряжением линию Л-9 еще один раз (после неуспешного двукратного АПВ). При успешном опробовании линии, замкнуть линию Л-9 в транзит.

2. При неуспешном опробовании линии Л-9, линия проверяется импульсным измерителем. Если при проверке импульсным измерителем повреждение не обнаружено, линия Л-9 еще раз включается под напряжение и при успешном включении замыкается в транзит.

3. Если при проверке импульсным измерителем повреждение на линии Л-9 будет обнаружено, Л-9 нужно выводить в ремонт. В этом случае необходимо принять меры для ликвидации возникшей перегрузки по линии 110 кВ Л-5.

(Инструкция по предотвращению и ликвидации аварий в электрической части энергосистем, п. 3.2.7, 3.2.8, 3.2.11–3.2.13).

(Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем (стандарт организации), п. 6.4.7, 6.4.8, 6.4.11–6.4.13).

### ЗАДАНИЕ №2.

1. После поступления докладов от дежурных ПС Б и ПС Г опробовать напряжением линию Л-5 еще один раз (после неуспешного АПВ). При успешном опробовании линии, замкнуть линию Л-5 в транзит.

2. При неуспешном опробовании линии Л-5, линия проверяется импульсным измерителем. Если при проверке импульсным измерителем повреждение не обнаружено, линия Л-5 еще раз включается под напряжение и при успешном включении замыкается в транзит.

3. Необходимо послать ОВБ на ПС В для осмотра оборудования 110-10 кВ (проверить положение отделителя и короткозамыкателя на подстанции: короткозамыкатель мог включиться и отказать в отключении отделителя; отказать мог вводной выключатель 10 кВ при КЗ на СШ 10 кВ). При обнаружении неисправности на ПС В по возможности отделить поврежденный участок и включить линию Л-5 в транзит.

4. Если при проверке импульсным измерителем повреждение на линии Л-5 будет обнаружено, Л-5 нужно выводить в ремонт. В этом случае необходимо принять меры для ликвидации возникшей перегрузки по линии 110 кВ Л-5.

(Инструкция по предотвращению и ликвидации аварий в электрической части энергосистем, п. 3.4.1–3.4.7).

(Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем (стандарт организации), п. 6.4.1.–6.4.14).

### ЗАДАНИЕ №3.

1. После поступления докладов от дежурных подстанций, дать команду дежурному ПС Г осмотреть панели РЗА и осмотреть масляный выключатель С-1 (выключатель С-1 мог не отключиться при КЗ на шинах 110 кВ ПС Г или на линиях 110 кВ вблизи от нее).

2. При отказе выключателя С-1 попробовать его отключить. После отключения выключателя С-1 очередное опробовать линии Л-5 и Л-6 с ПС Б и ПС А соответственно. При успешном опробовании линии, поочередно включить линии с ПС А и ПС Б.

3. При неуспешном опробовании линии Л-5 или линии Л-6 линия проверяется импульсным измерителем. Если при проверке импульсным измерителем повреждение не обнаружено, линия Л-5 или линия Л-6 еще раз включается под напряжение и при успешном включении замыкается в транзит.

4. Если будет обнаружено повреждение на линии Л-5 или линии Л-6 — линия выводится в ремонт, питание потребителей ПС Г переводится на одну из СШ 10 кВ остающейся в работе.

(Инструкция по предотвращению и ликвидации аварий в электрической части энергосистем, п. 3.2.7, 3.2.8, 3.2.11–3.2.13; 3.4.1–3.4.7).

(Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем (стандарт организации), п. 6.4.1.–6.4.14).