

МАЙ-ИЮНЬ 2014

TRANSMISSION & DISTRIBUTION WORLD

TM
www.tdworld.com

RUSSIAN EDITION



www.tdworld.ru

Развитие высоковольтных сетей NV Energy

4

Сила команды

Рик Буш (Rick Bush), главный редактор журнала «Transmission & Distribution World»

6

Новостная колонка

10

NV Energy поставляет энергию

Новая линия электропередачи 500 кВ компании NV Energy поставляет энергию от удалённых возобновляемых источников потребителям и соединяет северные и южные территории штата Невада.

Джон Бердоу (John Berdou) и Стив Пайн (Steve Payne), NV Energy

16

Oncor прочит популярность методу динамической оценки пропускной способности линий электропередачи

Оценка параметров линии электропередачи в динамическом режиме обеспечивает более высокую эффективность за счёт устранения ограничений, которые налагают статические данные.

Тип Гудвин (Tip Goodwin), компания Oncor Electric Delivery Co.

22

Компания EDP усиливает распределительные электросети

Португальская энергокомпания оптимизирует эксплуатационную эффективность новыми технологиями и новыми технологическими процессами.

Пауло Лусио (Paulo Lucio), Педро Пауло (Pedro Paulo) и Мириам Бусинья (Miriam Boucinha), компания EDP Distribuição

28

Самовосстанавливающиеся сети уже функционируют в Нидерландах

В пилотном проекте Stedin интеллектуальные контроллеры используются для автоматизации сети 23 кВ.

Эдвард Костер (Edward Coster) и Вим Керстменс (Wim Kerstens), компания Stedin

32

Распределённое накопление энергии

Вначале был пилотный проект и два устройства для накопления тепловой энергии, теперь установлено более 150 устройств.

Патрик Кинер (Patrick Keener), Redding Electric Utility

36

Мониторинг состояния трансформаторов

Hydro-Québec разрабатывает новые технологии определения состояния устройств РПН и вводов.

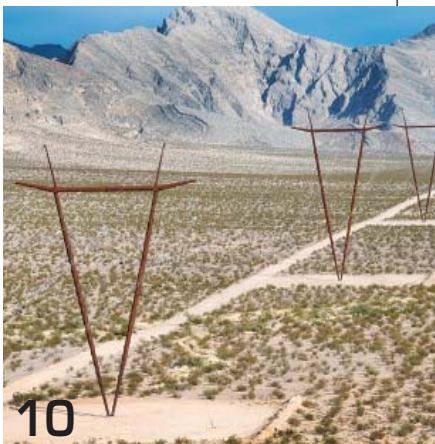
Патрик Пише (Patrick Picher), Hydro-Québec IREQ, и Клод Райо (Claude Rajotte), Hydro-Québec TransÉnergie

42

Риск равен вероятности повторения

Тщательная проработка проектов трансформаторов и подстанций может уменьшить последствия пожаров.

Арне Петерсен (Arne Petersen), AP Consulting



10



32



36

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ РОССИИ



02–05
ДЕКАБРЯ

2014

Москва, ВВЦ
МВЦ «МосЭкспо» (пав. 75)

В РАМКАХ ВЫСТАВКИ
СОСТОИТСЯ
КОНКУРС ЭКСПОНАТОВ

При поддержке:

- | Минэнерго РФ
- | Торгово-промышленной палаты РФ

Организаторы:

- | «Совет ветеранов энергетиков»
- | ЗАО «Электрические сети»

(495) 771-6564, 963-4817

EXHIBIT@TWEST.RU

WWW.EXPOELECTROSETI.RU

Разделы выставки:

Электротехническое оборудование и распределительные устройства.

Воздушные и кабельные линии электропередачи.

Устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики.

АСУ ТП и информатизация, связь, АСКУЭ.



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ПАРТНЕР



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ПАРТНЕР В СЕТИ
ИНТЕРНЕТ



ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ПАРТНЕР



ОТРАСЛЕВОЙ ПАРТНЕР

Информационная поддержка



ТЕРРИТОРИЯ
НЕФТЕГАЗ

РЫНОК
Электротехники



ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ
БИЗНЕС & КЛАСС

TRANSMISSION
& DISTRIBUTION
RUSSIAN EDITION



ЭНЕРГОПОЛИС
ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

ЭНЕРГЕТИКА
РОССИИ



ВЕСТИ
POWER'S NEWS
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ



НОВОСТИ
Электротехники

Академия Энергетики



Сила команды

Понимание работы в команде требует времени. Когда я начинал карьеру, мне не нравилось работать в команде. Я не мог работать как мне хотелось и по собственному графику. Это выглядело так, что в каждой команде есть как минимум один бездельник, который тянет всю команду вниз.

Работа в команде — это образ жизни. Конечно, у работы в команде есть свои недостатки, однако работа в одиночку теряет многие свои преимущества, и в особенности, как я понял, сотрудничество значительно интереснее и приносит превосходные результаты.

Хочу привести пример начинания, которое могло быть реализовано только при командной работе. Я работал в команде, которую компания Georgia Power привлекла для небольшого местного проекта по качеству электроэнергии. В течение года я узнал, что в Georgia Power есть множество выдающихся талантов. В нашей команде были специалисты по качеству электроэнергии, управлению сетями, работе с клиентами, маркетингу, защите и управлению, из метрологической и испытательной лаборатории.

Каждый сотрудник в этой команде доказал свою важность при выдаче нашим клиентам «дорожной карты» с предложением более высокого качества электроэнергии. Предложение, которое мы представили руководству, было гораздо лучше тех, что мог представить любой департамент. Несколько фокус-групп помогли нам в действительности понять, чего хотят наши клиенты и какой к ним нужен подход. Финальное предложение включало использование индивидуальных устройств подавления помех в домах и устройств учёта с молниезащитой. Хотя я и покинул компанию до окончательного запуска программы, но узнал, что она была принята хорошо.

Не все команды имеют одинаковую поддержку

Иногда командный принцип неправильно используется на предприятиях. Без грамотного руководства совместные усилия часто терпят крах. Я видел компании, где командный принцип применялся для удержания людей: если ты не хочешь работать в команде, ты будешь исключён из неё. Многие инженеры уволились из-за такого заявления.

Даже в лучших компаниях время от времени на руководящие посты назначают людей, которые для них не подходят и, в общем, вредят компании. Работа с командами, где имеется один из подобных руководителей, как правило, пустая трата времени.

Посмотрим, сможет ли ваш отдел пережить один из таких типов руководства.

Руководитель-путешественник

Этому человеку на роду написано руководить. Однако, прежде чем он стал руководителем, он имел двухгодичную работу в широком спектре организаций. Он не очень хорошо понимает суть вашего бизнеса и поэтому

ему будет сложно руководить командой. Кроме того, он скорее уйдёт на новое место, прежде чем команда будет организована для поставленных им задач.

Руководитель-разрушитель

Этот руководитель назначен для реструктуризации отдела, чтобы очистить его от неэффективных сотрудников и таким образом сделать компанию «легче» и продуктивнее. Его роль состоит в разрушении, а не в созидании. Команда — это не актуально, пока руководит такой человек.

Руководитель — бывший военный

Такой руководитель, как правило, нужен, чтобы повысить дисциплину в отделе. Конечно, при таком прошлом он легко использует власть для управления командой. Такие руководители часто ломают работу отделов передачи и распределения электроэнергии. Слишком часто у таких руководителей имеется существенная нехватка навыков работы с людьми. При этом в электросетевых компаниях есть множество критически важных моментов, которые требуют наличия работников, наделённых полномочиями, а не ограниченных в возможностях.

Руководитель — рубаха-парень

Такого руководителя назначают, когда более практичные руководители уже ушли из компании. Он не особенно-то и руководит, поэтому многие процессы затягиваются. Также, хотя команды и могут быть хорошо подготовлены, они будут охотно заниматься бесполезными вещами вроде приготовления кофе или тимбилдинга.

Руководитель, дающий возможности

Это мой любимый тип руководителя. Он понимает и не ждёт серьёзных неприятностей, когда нанимает людей таких же умных, как он, или умнее. Такой руководитель назначает сотрудников в компании так, чтобы работа была успешно выполнена, воодушевляет свою команду работать вместе для достижения целей и празднования успеха.

Мы хорошо знакомы с принципом командной работы, но не всегда находим ей нужное применение. Только если руководство верит в профессионализм своих сотрудников и работает над раскрытием их талантов, которые есть в каждой организации, можно достичь настоящих успехов. Большинство из нас пришли в энергетику, чтобы работать, и мы очень хотим работать в команде для достижения лучших результатов.

Рик Буш (Rick Bush), главный редактор журнала «Transmission & Distribution World»

TRANSMISSION & DISTRIBUTION WORLD RUSSIAN EDITION

Приложение к журналу
«ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение»
№ 3 (24), май–июнь 2014 г.

Главный редактор:
Екатерина Гусева
e-mail: info@eepr.ru

Заместитель главного редактора:
Елена Ставцева
e-mail: stav@eepr.ru

Главный научный редактор:
Михаил Линт, к.т.н.
e-mail: lint@eepr.ru

Директор по стратегическим проектам:
Александр Павлов,
e-mail: pavlov@eepr.ru

Дизайн и вёрстка:
Елена Ермакова
e-mail: erm@eepr.ru

Корректор:
Анжела Петровская
e-mail: korr@eepr.ru

Научные редакторы:
Л.А. Дарьян, д.т.н., Э.Н. Зуев, к.т.н.,
А.В. Петров, В.А. Шкапцов, к.т.н.

Перевод:
Борис Олексюк

Руководитель отдела рекламы:
Марина Ефремова
e-mail: reklama@eepr.ru

Приложение «Transmission and Distribution World.
Russian Edition» доступно только для
подписчиков журнала
«ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение».

Адрес редакции: 111123, Москва, Электродный
проезд, д. 6, оф. 14

Тел./факс: +7 (495) 645-12-21

Отдел подписки: +7 (495) 645-55-82

E-mail: mail@eepr.ru

www.eepr.ru, www.tdworld.ru

Настоящее издание «Transmission & Distribution World®.
Russian Edition» (торговая марка Penton Media) публикуется по лицензии, предоставленной Penton Media, и является журналом, охраняемым авторским правом © 2012 Transmission & Distribution World®.



Компании DTE Energy, Consumers Energy и Nexant присоединяются к Ассоциации «умных сетей» по управлению спросом

Ещё три ведущих компании по разработке технологий интеллектуальных сетей по управлению спросом присоединились к Ассоциации «умных сетей» по управлению спросом [Association for Demand Response & Smart Grid (ADS)], международной компании по разработке технологии «умных сетей» и управления спросом (DR). Новыми членами Ассоциации являются компании DTE Energy, Consumers Energy и Nexant.

ADS является некоммерческой организацией, базирующейся в Вашингтоне, штат Колумбия, деятельность которой направлена на развитие и обмен информацией между лицами, отвечающими за формирование политики, энергокомпаниями, компаниями по разработке технологий и другими заинтересованными лицами. Сюда входят как компании — члены Ассоциации, — так и организации и отдельные лица, которые считают себя профессионалами в деле разработки технологий «умных сетей» и по управлению спросом.

«Мы рады приветствовать новых членов ADS, с помощью которых надеемся расширить наши возможности в деле обеспечения сообщества услугами по управлению спросом и технологиями «умных сетей», —

говорит Дэн Делюри (Dan Delurey), исполнительный директор Ассоциации. — Вместе компании DTE Energy и Consumers Energy обеспечивают энергоснабжение большей части штата Мичиган. Обе разработали целый ряд программ по управлению спросом, и в результате у них накопился богатый опыт внедрения технологий «умных сетей» и по управлению спросом, которым они могут поделиться в широком масштабе нашего сообщества. Nexant является лидером в поддержке компаний в энергетической отрасли в таких областях, как DR, интеллектуальная сеть, коммерциализация технологий и потребительского взаимодействия, и, таким образом, обладает достаточной компетентностью в проблемах DR и «умных сетей» для нашего сообщества.

Ассоциация готовит 11-е Международное совещание по технологиям «умных сетей» и управлению спросом, которое состоится 19—21 мая в Вашингтоне, штат Колумбия. TDWR

Подробная информация на сайте www.demandresponsetownmeeting.com

Солнечная электростанция Айвенпах (Ivanpah) полностью готова к работе



Основой солнечной электростанции башенного типа является инновационный блок солнечных зеркал, программы оптимизации и система управления, которые позволяют получить пар высокой температуры.

Солнечная система Айвенпах, которая является крупнейшей в мире электростанцией концентрированной солнечной энергии, полностью готова к работе. В основе работы системы используется концентрированная солнечная энергия, отражённая от сотен тысяч зеркал и направленная на башню. Она нагревает бойлер, который производит пар для привода в движение турбин для генерирования электрической энергии.

На полной мощности установка может производить до 400 МВт солнечной энергии, которой достаточно для снабжения чистой энергией 140 тыс. домов в Калифорнии, исключая таким образом выброс в атмосферу около 400 тыс. тонн двуокиси углерода в год.

Станция Айвенпах, которая расположена в высохшем озере с одноимённым названием в штате Калифорния, считается крупнейшей тепловой станцией своего рода и на неё приходится почти 30% солнечной энергии, производимой в Соединённых Штатах. Этот проект был разработан компаниями NRG Energy Inc., BrightSource Energy Inc. и Google, общая стоимость проекта составила около 2,2 миллиарда долларов. TDWR

На сайте www.brightsourceenergy.com

Первое трансграничное объединение электрических сетей между Бангладеш и Индией закончено

В марте 2011 года электросетевая компания Power Grid Company Bangladesh Ltd. заключила контракт с компанией Сименс по объединению электрических сетей Бангладеш и Индии при помощи вставки постоянного тока мощностью 500 МВт. В этот проект «под ключ» входили инженерно-конструкторские разработки, строительные работы, поставка всех компонентов, монтажные и пусконаладочные работы комплексной системы HVDC. В декабре 2013 года строительство установки мощностью 500 МВт было закончено. Система рассчитана на будущее увеличение пропускной способности до 1000 МВт.

Первые 175 МВт мощности из Индии в Бангладеш поступили в сентябре 2013 года. Это первое объединение электрических сетей стран-членов СААРК при помощи линии переменного тока 400 кВ между Индией и Бангладеш посредством вставки постоянного тока HVDC было официально открыто премьер-министрами обеих стран.

Реализация этого проекта стала возможной благодаря программе обмена мощностями, финансируемой Азиатским банком развития (Asian Development Bank).

Эта монополярная система HVDC соединяет восточную энергетическую сеть Индии с западной сетью Бангладеш. Станция HVDC в Бангладеш соединена с существующей сетью страны 230 кВ. Новая высоковольтная воздушная линия переменного тока 400 кВ обеспечивает трансграничное соединение с подстанцией 400 кВ в Индии. Этот проект также позволяет энергетике Бангладеш сократить количество менее эффективных дизельных электростанций, снизив тем самым уровень выбросов.



Вентильный зал вставки постоянного тока 500 МВт системы HVDC.

Трейдинговые компании — Индийская государственная энергетическая компания VidyutVyapar Nigam Ltd. и Управление по развитию энергетики Бангладеш — подписали межправительственное соглашение на покупку 250 МВт мощности, в рамках которого Бангладеш может закупить срочно требуемые энергоресурсы по выгодному курсу. Что касается оставшихся 250 МВт, у Бангладеш в 2013 году подписан другой контракт с компанией PTC India Ltd. Станция HVDC в Бангладеш включена в контракт, в рамках которого будет осуществлено надёжное соединение энергетических систем обеих стран. TDWR

Нав сайт www.siemens.com

Компания Com Ed штрафует «отказников» от интеллектуальных счётчиков

Компания Commonwealth Edison вводит штрафы для потребителей за отказ от установки новых «умных счётчиков». Комиссия по торговле штата Иллинойс [Illinois Commerce Commission (ICC)] одобрила введение ежемесячного тарифа величиной 21,53 доллара к счетам за электричество потребителям, которые отказываются от установки новых «умных счётчиков». «Умные счётчики» представляют собой беспроводные цифровые устройства, которые напрямую передают информацию о потреблении электроэнергии энергокомпаниям, устраняя необходимость считывания показаний.

«Если потребитель принимает решение об отказе устанавливать «умные счётчики» и принимает на себя ответственность нести ежемесячные расходы за такой шаг, то это делается с полным осознанием того, что

этот отказ всего-навсего является отсрочкой неизбежного», — говорится в приказе ICC.

Компания ComEd к 2021 году в рамках модернизации электрической сети должна перевести все 4 миллиона своих потребителей на «умные счётчики». ICC объясняет, что дополнительный сбор является оплатой за обслуживание и считывание аналоговых счётчиков. Но в документах комиссии сказано, что даже тем потребителям, которые отказываются устанавливать «умные счётчики», таковой будет выдан. В компании Com Ed считают, что учёт при помощи «умных счётчиков» более точен, поскольку в нём не учитываются сами счётчики. «Умные счётчики» уведомляют энергокомпанию об отключениях электроэнергии. TDWR

Посетите наш сайт www.comed.com

Проект EstLink 2 по созданию линии электропередачи на постоянном токе увеличивает пропускную способность в три раза

Компания Siemens Energy закончила проект EstLink 2 по созданию линии электропередачи на постоянном токе, состоящий из преобразовательных станций, расположенных в городах Анттила (Anttila), Финляндия, и Пюсси (Pussi), Эстония. Теперь электроэнергия передаётся от потребителей компании Fingrid, системного оператора передающей сети Финляндии, и компании Elering, системного оператора передающей сети Эстонии. Эта новая линия увеличивает пропускную способность электропередачи между двумя странами в три раза. Благодаря новой линии возможности транзита мощности между двумя странами заметно выросли — с 350 до 1000 МВт.

Этот проект играет важную роль в интеграции рынков энергоносителей между странами Балтии и Скандинавии, открывая доступ к источникам возобновляемой энергии и создавая источники, приносящие доходы. Он является важным этапом в достижении целей Плана Евросоюза по объединению энергорынков Балтийско-

го региона, целью которого является интеграция сетей Литвы, Латвии и Эстонии с передающими сетями рынков энергоносителей Евросоюза.

Общая длина передачи по проекту EstLink 2 составляет 170 км, из которых 14 выполнены воздушной линией, проходящей по территории Финляндии, 145 — подводный кабель, проложенный по дну Финского залива, и около 11 км занимает подземный кабель, проходящий по территории Эстонии.

Компания Siemens разработала систему HVDC по монополярной схеме с обратным проводником. В проект «под ключ» входили поставка, установка и ввод в эксплуатацию преобразовательных станций HVDC, за исключением воздушных и кабельных линий между подстанциями. Стоимость проекта «под ключ» преобразовательных станций составила 100 миллионов евро. TDWR

*Посетите наш сайт
www.fingrid.fi and estlink2.elering.ee*

Технологии FACTS способствуют повышению устойчивости энергосети провинции Квебек

Компания Hydro-Quebec заключила контракт с ABB на сумму 60 млн долл. по замене важных компонентов линии электропередачи сверхвысокого напряжения, которая служит для передачи чистой электроэнергии с севера на юг провинции Квебек. Компания ABB произведёт модернизацию двух статических компенсаторов реактивной мощности (SVC) на подстанции Albanel, расположенной в 500 км к северу от Монреаля, которые предназначены для быстрой компенсации реактивной мощности электросети 735 кВ.

SVC являются частью технологий семейства FACTS компании ABB, которые способствуют увеличению производительности и гибкости систем передачи электро-

энергии и развитию «умных сетей». Они компенсируют колебания напряжения и тока, увеличивая пропускную способность сети и обеспечивая её устойчивость и безопасность.

Технологии FACTS позволяют увеличить производительность уже существующих сетей передачи электроэнергии. Результатом применения этих технологий является снижение инвестиционных расходов и сокращение времени внедрения по сравнению с традиционным строительством новых электростанций и линий электропередачи. TDWR

Подробнее на сайте www.abb.com

Накопитель энергии компании Con Edison

Для своей энергоаккумулирующей системы Аврора (Aurora) компания Eos Energy Storage выбрала технологию компании Ideal Power на основе аккумуляторных преобразователей 30 кВт. Эта система будет подключена к сети и задействована компанией Con Edison в проекте New York City pilot project во втором квартале 2014 года.

В энергоаккумулирующей системе Aurora используются гибридные технологии катода цинка, разработанные компанией Eos. Система предназначена для повышения генерации возобновляемых источников, увеличения эффективности и устойчивости сети, снижения стоимости электроэнергии и уменьшения счетов за электричество для потребителей. Компактная конструкция аккумуляторной батареи и преобразователя мощности позволит использовать её в офисных зданиях и в условиях ограниченного пространства.

Недорогая энергоаккумулирующая система Aurora компании Eos предназначена для удовлетворения

потребностей рынка систем хранения энергии в масштабах сети. При большой энергоёмкости, немедленном быстродействии и модульной конструкции систему Aurora можно отмасштабировать и сконфигурировать на получение максимальной прибыли в рамках энергопредприятия, в коммерческом и промышленном использовании.

Аккумуляторный преобразователь 30 кВт компании Ideal Power обеспечивает высокую эффективность в модульном исполнении и исполнении для лёгкой установки, которые могут улучшить экономику в области хранения энергии. Демонстрационный проект компании Con Edison проводился при финансовой поддержке Управления по исследованиям и разработкам в области энергетики штата Нью-Йорк. TDWR

*Посетите наши сайты
www.eosenergystorage.com и www.IdealPower.com*

Комплексная модернизация распределительных электрических сетей

Быстрый рост нагрузки в распределительных сетях приводит к снижению надёжности электроснабжения и качества электроэнергии, а также к высокому уровню потерь в электрической сети. Традиционный способ модернизации только путём замены устаревшего оборудования не помогает решить указанные проблемы. Создание плана долгосрочного развития распределительных сетей создаёт комплексную стратегию развития и защищает необходимые инвестиции энергокомпании, которым занимается подразделение Power Technologies International (PTI) компании «Сименс». Данное подразделение является поставщиком консультационных услуг в области электрических сетей, программного обеспечения для различных расчётов электрических сетей.

Как показывает практика, в начале процесса долгосрочного планирования основной проблемой, с которой сталкиваются проектные компании, является сбор исходной информации, например такой, как однолинейные схемы сетей, величины нагрузок у потребителей, прогноз роста нагрузки и многое другое. Использование современного программного обеспечения (ПО) может облегчить данную задачу. Для этих целей в «Сименс» PTI обычно используется ПО PSS@SINCAL.

ПО PSS@SINCAL (Siemens Network Calculation) — это высокопроизводительный инструмент для проведения большого количества различных расчётов электрических сетей. В одном мощном и интуитивно понятном интерфейсе реализована самая современная технология программного обеспечения на основе открытой базы данных, которая содержит все необходимые методики для проектирования и оптимизации электрических сетей.

На основе полученных данных о системе электроснабжения и с учётом роста нагрузки создаётся модель электрической сети на заданную перспективу. На основании перспективной модели сети создаётся несколько сценариев развития сети, которые включают в себя концепции релейной защиты, автоматизации и управления сетью. Создание нескольких сценариев развития и их технико-экономическое сравнение позволяет выбрать оптимальный вариант развития сети. Итоговый сценарий, как правило, выбирается совместно с заказчиком на основании проведённых расчётов. После выбора итогового сценария развития сети создаётся дорожная карта перехода к перспективной модели сети. Для каждого этапа создаётся смета оборудования и работ, необходимых для реализации, и оцениваются соответствующие затраты. Таким образом, можно оптимизировать и сократить необходимые инвестиции на модернизацию электрической сети.

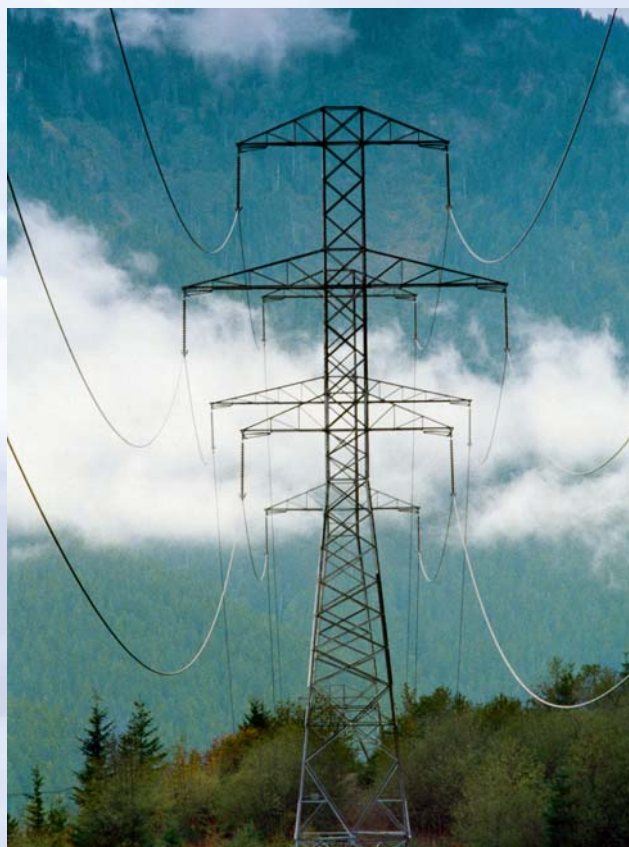
Одним из примеров может служить проект распределительной сети Stadtwerke Ettlingen (Германия). Исследование включало в себя анализ существующей сети, разработку новой структуры сети и необходимых шагов для её реализации, а также анализ режимов работы нейтралей. Общее потребление города составляет 35 МВА (пиковая мощность), которое покрывается за счёт нескольких подстанций напряжением 110 кВ. Суммарная длина сети (кабельные линии 20 кВ) составляет 100 км. Предварительный анализ показал, что структура сети слишком усложнена, поэтому в ней очень трудно обеспечить какие-либо оперативные решения для повыше-

ния надёжности электроснабжения. Поэтому было выполнено изменение топологии сети. Модель сети была создана и проанализирована с помощью PSS@SINCAL. С использованием новой структуры сети была снижена частота и длительность отключений сети за счёт использования чёткой и однозначной топологии. Новая разработанная структура сети позволила отказаться от нескольких подстанций. В результате суммарные затраты на создание новой структуры сети на 45% были покрыты за счёт доходов от продажи демонтированного оборудования.

Примером выполнения аналогичных работ в России может служить проект с компанией ОАО «БЭСК». Компанией «Сименс» было выполнено моделирование электрической сети г. Уфа в ПО PSS SINCAL, анализ текущего состояния данной сети и предложено несколько сценариев её развития. Сценарии включали в себя не только предложения по изменению топологии сети, но также решения по автоматизации, защите и управлению этой сетью. Результатом проекта стала дорожная карта перехода от текущего состояния сети к выбранному сценарию развития с подробным расчётом необходимых инвестиций на каждом шаге.

Подход комплексной модернизации электрической сети с созданием плана долгосрочного развития позволяет интегрировать новые технологии, оптимально заменять устаревшее оборудование, а также снижать эксплуатационные и капитальные издержки энергокомпании.

www.siemens.ru/smart-grid



NV Energy поставляет

Новая линия электропередачи 500 кВ компании NV Energy поставляет энергию от удалённых возобновляемых источников потребителям и соединяет северные и южные территории штата Невада.

Джон Бердоу (John Berdow) и Стив Пайн (Steve Payne), NV Energy



энергию

Слово «уникальный» применяется слишком часто в современном развивающемся обществе. Тем не менее это обозначение полностью применимо для одноцепной линии электропередачи 500 кВ длиной 372 км One Nevada в США.

На какой ещё линии монтажники должны тепло одеваться из-за пришедшей с гор снежной бури, в то время как на другом конце линии монтажники постоянно потеют из-за того, что температура выросла до 100°C?

Какая ещё линия подвешена на V-образных опорах, позволяющих садиться на них хищным птицам, чтобы

ловить пустынных черепах в южной Неваде и тетеревов в северной Неваде?

Какая ещё линия передачи предлагает критически важное решение для соединения двух сетей впервые в истории и делает возможным для потребителей Невады получать преимущества от распределённых генераций?

И какая ещё линия может передавать мощность от большого парка ветрогенераторов, нескольких геотермальных станций, больших солнечных электростанций и малых полигонов энергетических ресурсов?



ЛИНИЯ Электропередачи



Башня Crescent Dunes высотой 640 футов (192 м) в Неваде собирает более 100 МВт мощности. Эта мощность будет передаваться в Лас-Вегас по линии ON Line в 2014 году.

Ответ на эти вопросы подтверждает, что слово «уникальный» полностью подходит к линии электропередачи One Nevada или ON Line, которая была пущена в эксплуатацию первого января 2014 года.

Возобновляемые источники энергии

Разнообразие возобновляемых источников энергии в Неваде значительно больше, чем в остальных штатах, и линия ON Line играет ключевую роль в передаче энергии к центрам нагрузки. Причиной сооружения этой линии стало то, что энергия 20 геотермальных станций могла быть использована только в северной Неваде. Энергия от восьми из них была закуплена специально для передачи по линии ON Line компанией NV Energy в район Лас-Вегаса. Энергия от солнечных электростанций в южной и центральной Неваде теперь может передаваться в обоих направлениях по этой линии туда, где она наиболее необходима.

Важнейший проект, который будет использовать новую линию электропередачи практически эксклюзивно — солнечная электростанция мощностью 110 МВт Crescent Dunes Solar Energy Project, которая является крупнейшей солнечной электростанцией с накопителем энергии. Благодаря накопителям энергии с соляным теплоносителем, эта электростанция способна генерировать энергию длительное время после захода солнца, когда кондиционеры ещё работают, чтобы скомпенсировать жару более 35°C в полночь.

Новая линия электропередачи также позволит передавать до 152 МВт мощности от ветрогенераторов Spring Valley Wind Project, расположенных к востоку от Лас-Вегаса. В общем, на стартовом этапе линия спроектирована для передачи примерно 600 МВт мощности от возобновляемых источников.

Общие усилия

Для того чтобы спроектировать и построить ON Line, NV Energy объединилась с Great Basin Transmission-South, LLC, аффилированной компа-

нией LS Power. Great Basin владеет 75% линии, а NV Energy — 25% линии и имеет права на 100% мощности, передаваемой по линии на начальном этапе.

NV Energy управляла процессом сооружения ВЛ, включавшим установку 844 опор, сооружение новых ПС 500/345 кВ, расположенных в удалённых частях Невады, сооружение коммуникационной сети, сооружение короткой отпайки к существующей линии 345 кВ в северной Неваде и обновление ПС 500 кВ Harry Allen, расположенной к северу от Лас-Вегаса.

Компания Sturgeon Electric Co, Inc совместно с MYR Group Inc. обеспечили сооружение линии, включая меры по защите окружающей среды, отведение земли, установку фундаментов и конструкций, подвеску проводов и тросов.

Компания Wilson Utility Construction Co. обеспечила сооружение новой подстанции Robinson Summit, расположенной к востоку от Или, Невада. Работы включали мероприятия по защите окружающей среды, работы по землеустройству, установку фундаментов и конструкций, а также установку электрооборудования.

Компания POWER Engineers проводила работы по проектированию линии электропередачи и подстанций.

Уникальное сооружение опор ВЛ

Для проекта линии ON Line было решено впервые применить трубчатые V-образные опоры с обратной конусностью. Высота опор варьируется от 34 до 49 м в зависимости от типа грунта, длины пролёта и изменения профиля трассы. Опоры изготовлены из стали, самоприспосабливающейся к атмосферным воздействиям, которая приобретает насыщенный коричневый цвет, хорошо вписывающийся в пустынный пейзаж Невады.

Новая линия практически полностью проходит по землям, находящимся в федеральном пользовании и управляемым Бюро по управлению государственными и общественными землями США (U.S. Bureau of Land Management), а опоры требуют минимального землеотвода под фундаменты по сравнению со всеми конструкциями, использованными ранее.



Опоры линии ON Line имеют заметно меньшее влияние на окружающую среду благодаря небольшому бетонному фундаменту и опорам с четырьмя оттяжками.

Для V-образных опор применены трубчатые тонкостенные стальные стойки с обратной конусностью, что позволяет уменьшить вес опоры и площадь фундамента. Опора устанавливается на конусный фундамент площадью около 0,5 м², который поднимается над землей примерно на 0,3 м и имеет размеры примерно 0,9x0,5 м. Стойки опоры опираются на две стальные пластины, которые крепятся к нижним частям стоек шпильками.

Другими элементами фундаментов являются четырёхгранные бетонные опоры и анкерные элементы. Анкерные элементы были заглублены на 12 м. Каждый анкерный элемент был испытан на месте установки нагрузкой 36287 кг и обрывом двух оттяжек, одна из которых имела диаметр 22 мм, а вторая — 13 мм. Было установлено более 3000 анкерных элементов и только два из них разрушились при приложении нагрузки и были заменены.

Подъём опор

Трубчатые V-образные опоры собирались на месте и устанавливались одним краном, автопогрузчиком и при помощи грузовиков на четырёх точках опоры. В течение продолжительного периода бригада из 10 подготовленных рабочих устанавливала новую V-образную опору каждые 50 минут. Это время включало перемещение крана к новой площадке установки опоры, его установку, подготовку к работе, подъём опоры, её установку на фундамент и удержание на месте до момента закрепления опоры и натяжки двух оттяжек с усилием 4356 кг.

Провода и тросы со встроенными волоконно-оптическими кабелями тянул вертолёт, что позволило существенно сократить время сооружения по сравнению с традиционными работами на опоре. Вертолёты также применялись для проверки установленных опор и установки вышек сети связи на удалённых горных вершинах Невады.

Внимание к окружающей среде

Все бригады прошли инструктаж по изучению чувствительной окружающей среды, которая была затронута при работах над проектом. Так, например, находящиеся под охраной пустынные черепахи представляли наибольшую проблему для осуществления проекта. Биологи осматривали места проведения работ перед началом установки опор, осторожно удаляли черепах из опасных зон и оказывали поддержку рабочим бригадам во время их работы для соблюдения требований по охране окружающей среды. Биологи также контролировали перемещение грузовиков, техники и людей через места обитания черепах и других чувствительных к воздействию видов животных и растений.

Специализированный персонал наблюдал и контролировал проведение работ для защиты растений, палеонтологических и археологических ценностей, мигрирующих птиц и тетеревов.

Растения, находящиеся под защитой, такие как кактусы и юкка, растущие на запланированных площадках строительства или на подъездных путях, были временно удалены из опасных мест и содержались в питомнике, пока шло строительство. После завершения строительства растения были возвращены на своё место. Поверхностный слой грунта, удалённый перед началом строительства, был перемещён и пущен на нужды национального семенного фонда.



Из-за высоты конструкций примерно 400 рабочих были заняты на различных работах по сооружению линии ON Line.

Для дальнейшего восстановления растительного покрова временных рабочих площадок были высажены растения, характерные для данной местности, а также кактусы и юкка, которые были удалены перед началом строительства. Биологи следили за тем, чтобы каждое растение было высажено так близко к своему первоначальному месту положения, как возможно.

Определённые ограничения были наложены на работы по строительству в особых зонах из-за сезонных явлений дикой природы, таких как зимовка чернохвостых оленей, токование тетеревов и гнездование мигрирующих птиц. Опоры ВЛ были спроектированы таким образом, чтобы предотвратить поражение током орлов и других крупных хищных птиц, разработка мероприятий велась в соответствии с «Руководством по защите птиц при сооружении ВЛ», разработанным Институтом Эдисона (Edison Electric Institute), и в сотрудничестве с

Проект ON Line в цифрах:

- 844 опоры ЛЭП, из них 759 — V-образные трубчатые опоры;
- 11 миллионов футов (3,4 миллиона метров) проводов;
- 23 миллиона фунтов (11,3 миллиона килограммов) стали для опор;
- 3036 новых анкерных элементов;
- 13 новых вышек для системы связи, всего вышек в системе связи — 20;
- 1,4 миллиона рабочих часов;
- 101 миллион галлонов (382 миллиона литров) воды для уменьшения количества поднимаемой пыли.

ЛИНИЯ Электропередачи



Благодаря использованию усилия от преднапряжённых оттяжек, опоры линии ON Line опираются только на опорные пластины, которые крепятся к нижней части опоры двумя шпильками длиной 15 см.



При сооружении линии с помощью вертолёта было натянуто в общей сложности более 1100 миль проводов и грозозащитных тросов. Как видно на фото, наиболее сложной задачей была натяжка провода средней фазы.

Департаментом по защите окружающей среды штата Невада (Nevada Department of Wildlife) и Службой охраны рыбных водоёмов и дикой природы США (U.S. Fish and Wildlife Service). На опорах были установлены специальные устройства, предотвращающие гнездование воронов и хищных птиц в местах обитания черепах и тетеревов.

Благодаря внимательности биологов, неподалёку от площадки строительства были обнаружены следы растения возрастом в 300 миллионов лет. Редкая для Невады окаменелость была чётко определена как кусок коры чешуйчатого дерева, выросшего до 31 м.

Проблема вибраций от воздействия ветра

Опыт показал, что высокие и тонкие трубчатые V-образные опоры чувствительны к вибрациями от воздействия ветра. Для решения этой проблемы на опорах были укреплены спиралевидные пояса производства Chicago Metal Rolled Products. Спиралевидные пояса являются эффективным в смысле затрат и хорошо проверенным решением, которое изменяет поток ветра вокруг опоры и предотвращает появление завихрений.

Благодаря тщательным проверкам и постоянному мониторингу на 11 опорах, спиралевидные пояса успешно снижают вибрации от воздействия ветра.

Объединение систем

Компания NV Energy образовалась из двух компаний в Неваде — Sierra Pacific Power Co., которая обслуживала площадь около 108780 км² в северной и западной частях штата, и Nevada Power, которая обслуживала район Лас-Вегаса. После введения линии ON Line в коммерческое использование первого января 2014 года, эти две компании объединились и теперь могут пользоваться ресурсами 10 электростанций и 38 источников возобновляемой энергии в Неваде.

Такая независимость поможет сетевым предприятиям обеспечить ещё большую надёжность, а потребителям — избежать платы по высокому тарифу за энергию, приобретённую у других поставщиков, особенно в жаркие летние месяцы.

В целости и сохранности

В проекте было занято более 400 рабочих. Не принимая в расчёт тысячи часов на планирование, менеджмент, инженерные работы и прочие мероприятия, на работы по строительству и мероприятия по защите окружающей среды было потрачено 725000 рабочих часов. Безопасность была главным приоритетом, важность которого подчеркивалась до того, как была вынута первая лопата грунта, и так было каждый день. Примечательно, что коэффициент потери времени из-за несчастных случаев был ниже 1,1, однако даже один несчастный случай, приведший к травмам рабочих — это уже очень много.

Однако не только обеспечение безопасности при работах на линиях электропередачи, но и проведение мероприятий, связанных со сложностями, вызванными работой в зоне обитания охраняемых видов, а также в тяжёлых климатических условиях, условиях сильного ветра, было необходимо при проведении работ на ON Line. TDWR

Поставщики проекта ON Line

Конструкции	Thomas & Bett
Провода	Midal Cables Ltd.
Изоляторы	NKG Insulators Ltd.
Анкерные элементы	Williams Form Engineering
Пиротехнические зажимы	BURNDY
Приспособления для вертолётов	Brim Aviation
Вертолётная техника	Soil Tech Inc.
Организация подъездных путей	W.W. Clyde & Co.

Компании, упомянутые в статье:
 Chicago Metal Rolled Products | www.cmrp.com
 Edison Electric Institute | www.eei.org
 HDR | www.hdrinc.com
 LS Power | www.lspower.com
 NV Energy | www.nvenergy.com

**Арматура «Dervaux» для высоковольтных линий электропередачи
с применением проводов серий AC и Aero-Z: AAAC, AACSR, ACSS, ACCR**

Анкерные прессуемые зажимы



Шлейфовые зажимы



Поддерживающие зажимы



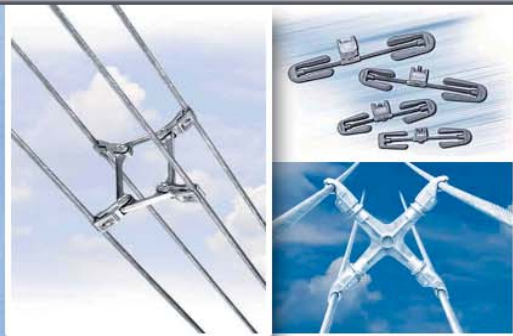
Устройство защиты птиц



Сферические маркеры



**Амортизирующие и полужесткие распорки с автоматическим
зажимом провода, а также виброгасители**



Сигнальные лампы



Соединительные и ремонтные гильзы



А также:

- опрессовочный инструмент;
- арматура ВЛЗ и ВЛИ;
- средства защиты персонала "CATU";
- индикаторы повреждений ВЛ и кабельных линий "NORTROLL";
- средства защиты ВЛ от перенапряжений.

Опрос прочит популярность пропускной способности



методу динамической оценки линий электропередачи



Оценка параметров линии электропередачи в динамическом режиме обеспечивает более высокую эффективность за счёт устранения ограничений, которые налагают статические данные.

Тип Гудвин (Tip Goodwin), компания Oncor Electric Delivery Co.

Альберт Эйнштейн однажды сказал: «Человек должен искать то, что есть на самом деле, а не то, что, по его мнению, должно быть». Поскольку в контексте научных процессов данная цитата обозначает избавление от предрассудков, то этот принцип можно применить к состоянию энергетической системы. Перефразируем: «Система должна работать в том состоянии, в каком она есть, а не в том, в котором она должна быть гипотетически».

В ходе последнего демонстрационного проекта компании Oncor по интеллектуальным сетям [Smart Grid Demonstration Project (SGDP)], софинансируемого Министерством энергетики США, совет Эйнштейна был применён следующим образом: не учитывались данные по ориентировочным расчётам термической стойкости воздушных линий в режиме реального времени. На основе результатов демонстрационного проекта (SGDP) компания Oncor рассчитала экономические издержки при эксплуатации воздушных линий, связанные с ограничениями по термостойкости, и сравнила оценку состояния линии, сделанную по традиционной методике, с оценкой линии на основе мониторинга в реальном масштабе времени. В ходе реализации проекта SGDP было сделано несколько открытий, и в настоящее время его результаты переносятся на другие ключевые области.

Экономические издержки

Oncor является государственной компанией, которая осуществляет передачу и распределение электроэнергии. Она обслуживает 10 миллионов потребителей на территории штата Техас. Электрические сети компании Oncor состоят приблизительно из 1500 линий электропередачи (рис. 1). С течением времени нагрузка сети резко меняется. Сейчас в зонах нефтегазовых разработок в Техасе наблюдается быстрый рост нагрузки со стороны потребителя, в то время как в зонах размещения ветроэлектростанций и добычи угля наблюдаются изменения в сфере генерации. Вершиной

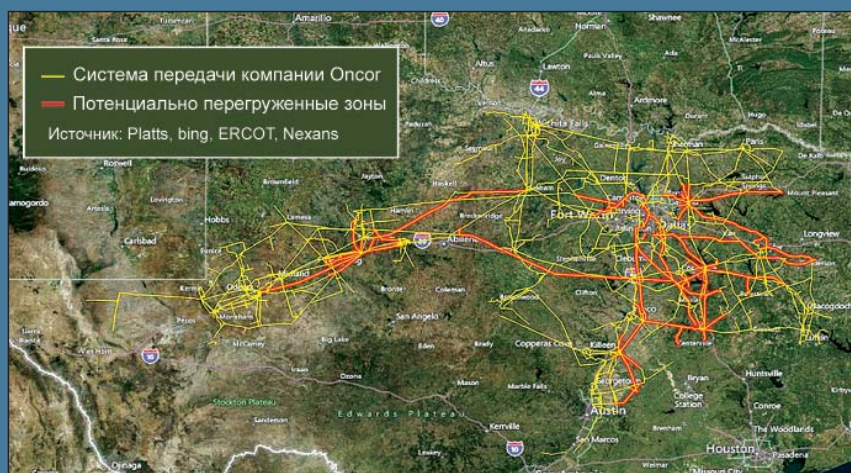


Рис. 1. На карте энергосистемы компании Oncor красным цветом выделены зоны потенциальных перегрузок.

РЕЙТИНГ Линий электропередачи

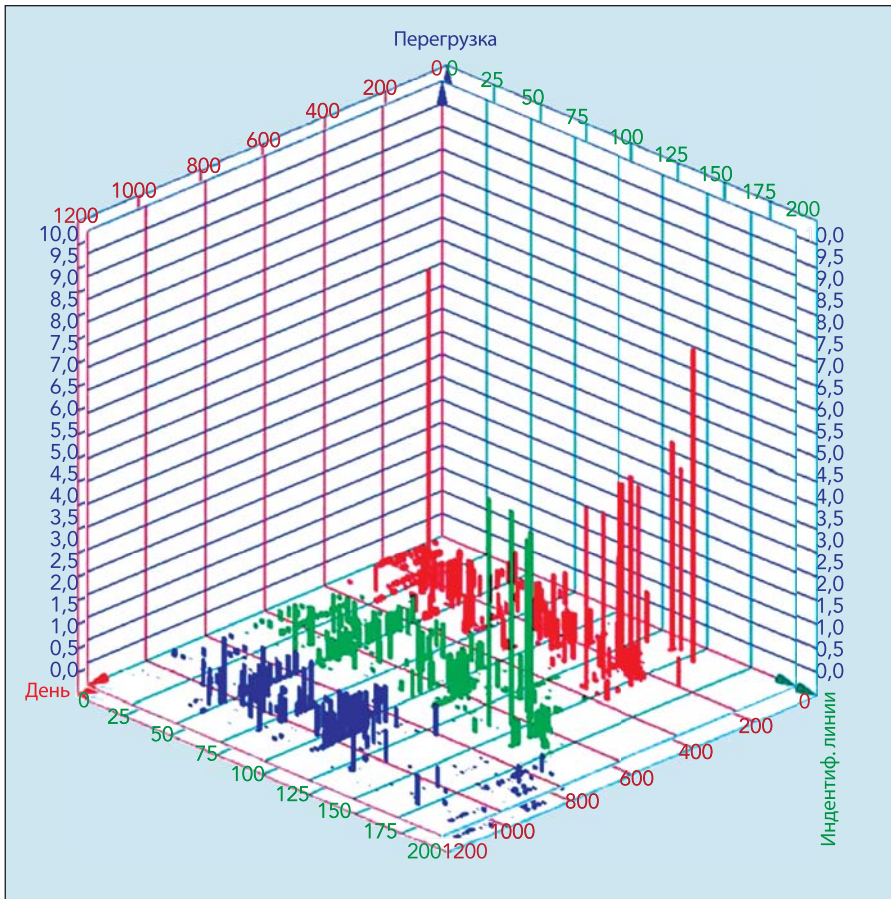


Рис. 2. Величины перегрузок (доллары, синие вертикальные осевые) на отдельных линиях (идентификация линии, красные осевые) по дням (зелёные осевые). Перегрузки имеют нерегулярный характер, но ограничены множеством всех линий.

такой динамики являются ежедневно изменяющиеся цены, что увеличивает непредсказуемость прочностных характеристик надёжности какой-либо линии электропередачи.

На рис. 2 показана диаграмма перегрузок за три года. В тех случаях, когда перегрузки идентифицированы по дате и линии, неустойчивость перегрузки в рыночной среде очевидна. Показаны несколько линий с хроническими перегрузками, и финансовые последствия варьируются в течение одного рабочего дня от нескольких долларов до миллионов. Каждый столбик диаграммы представляет собой ежедневные финансовые последствия по каждой конкретной линии электропередачи. За трёхлетний период около 200 линий будут испытывать периодические, а иногда и постоянные перегрузки в условиях надёжности N-1, N-1-1 или N-2.

Хотя Совет по надёжности электроснабжения штата Техас [(Electric Reliability Council of Texas (ERCOT))] пытается перераспределить нагрузки системы с учётом ограничений, накладываемых

возможными авариями, сумма затрат по перегрузкам в связи с этими ограничениями ежегодно составляет 172 миллиона долларов, несмотря на то что линии в нормальных условиях редко работают на предельных нагрузках. Если бы энергокомпаниям удалось увеличить тепловую перегрузочную способность существующих линий, то затраты на обслуживание потребителей можно было бы снизить не только за счёт доступа к более дешёвой электроэнергии, но и за счёт снижения издержек на её передачу.

Данные на рис. 2 указывают на необходимость гибкого подхода к обеспечению нестабильной нагрузки системы. По мере изменения топологии сети — вследствие изменений роста нагрузки, генерации (изменения в конструкции, консервация, изменение ценообразования и подключения распределённых источников энергии), а также вследствие усовершенствований и обновлений линий электропередачи, реконструкции и строительства новых — будет трудно предусмотреть потребности каждой отдельной линии. Нагрузки могут появляться и исчезать в течение запланированных периодов времени и периодов реконструкции, связанных с традиционными обновлениями или строительством новых линий электропередачи.

Для полного и быстрого удовлетворения требований по пропускной способности линий необходимо внедрение в сеть технологий smart grid.

В большинстве случаев скрытые возможности существующих ресурсов передачи электроэнергии помогут преодолеть изменяющиеся условия эксплуатации.

Новые системы мониторинга

Провод линий электропередачи ведёт себя как подвешенный в воздухе термометр. Под влиянием солнечной радиации, температуры окружающей среды и

Натяжение: замена температуры

Температура на каждом метре участка линии может меняться вследствие пространственной изменчивости ветра, воздействующего на провод. К счастью, характеристики проводов подчиняются физике и математической модели цепной линии, вследствие чего определение средней температуры провода не представляет никакой сложности.

Горизонтальное тяжение провода от опоры до опоры будет уравновешиваться по мере того как гирлянды изоляторов будут раскачиваться и отклоняться с целью компенсации дисбаланса тяжения, поскольку один пролёт может быть горячее или холоднее другого. Таким образом, мониторинг тяжения или стрелы провеса провода охватывает пространственные изменения погодного воздействия на температуру проводника и обеспечивает средства определения его средней температуры.

В настоящее время существует несколько технологий определения тяжения или провеса (тяжение и провес обратно пропорциональны) в режиме реального времени. Путём измерения этих параметров можно определить среднюю температуру фазного провода линии и рассчитать динамическую оценку пропускной способности линии в реальном времени.

ветра температура провода на каждом метре по всей протяжённости линии может быть разной. Основным фактором здесь является ветер. Подобно людям провода также ощущают охлаждающее действие лёгкого ветра в жаркий солнечный день или обжигающий холод порывов зимнего ветра.

Рис. 3 воплощает в себе наставление Эйнштейна и показывает, как путём наблюдений могут возникнуть идеи, не доступные для тех, кто занимается предположениями. На диаграмме отображена оценка пропускной способности трёх различных линий за трёхдневный период: статическая оценка, оценка, скорректированная по состоянию окружающей среды, и динамическая оценка.

Обычно энергокомпании пользуются статической оценкой пропускной способности (SLR), которая представляет собой фиксированное значение с учётом наиболее тяжёлых климатических условий. При статическом определении пропускной способности используется предположение, что скорость ветра составляет 0,6 м/с и дует он перпендикулярно линии электропередачи при температуре окружающей среды 40°C и максимальной солнечной радиации.

С 2004 г. операторы передающих сетей Совета по надёжности электроэнергетики штата Техас (ERCOT) имеют возможность использовать оценку линии, скорректированную по состоянию окружающей среды (AAR), которая зависит от изменения температуры окружающей среды, но включает в себя такие же жёсткие значения скорости ветра и солнечной радиации, как и статическая оценка. Обычно AAR зависит от суточных изменений дневной и ночной температур.

В конечном итоге динамическая оценка линии (DLR) отображена зелёным цветом и корректируется с учётом изменения скорости ветра, интенсивности солнечной радиации и температуры окружающей среды на протяжении суток. Необходимо отметить, что динамическая оценка может опускаться ниже оценки линии, скорректированной по состоянию окружающей среды (AAR) и ниже статической оценки (SLR). Такие падения могут происходить при скорости ветра меньше 0,6 м/с и температурах выше, чем при статической оценке и оценке, скорректированной по состоянию окружающей среды.

Оценки на рис. 3 могут быть определены в результате мониторинга натяжения или провеса проводника в режиме реального времени для получения среднего значения температуры по всей протяжённости фазного провода линии электропередачи. Затем значение эффективной температуры используется для расчёта эффективного значения средней скорости ветра. Объединив среднюю эффективную скорость ветра с температурой в реальном режиме времени, уровень солнечной радиации и нагрузку линии можно рассчитать и использовать для динамической оценки её пропускной способности для заданной максимальной рабочей температуры.

Характеристики проводов подчиняются законам физики и математической модели цепочечной линии.

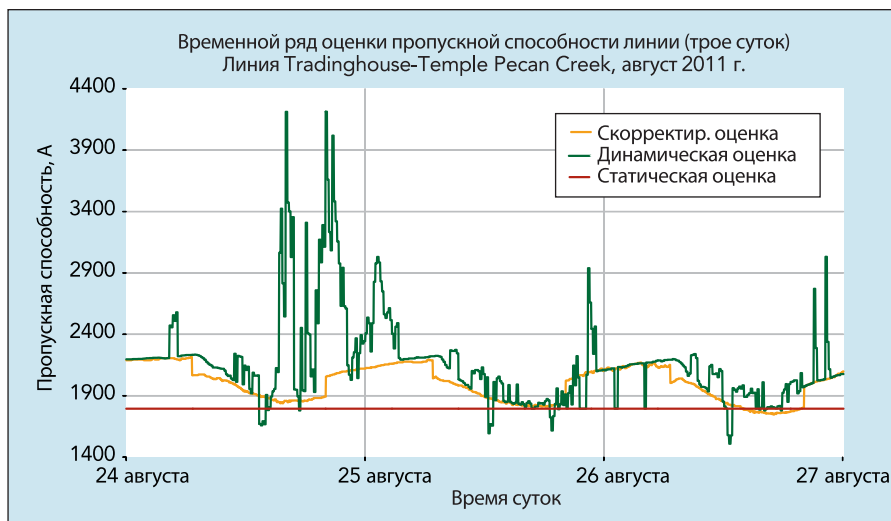


Рис. 3. Сравнение результатов статической, динамической оценок и оценки, скорректированной по состоянию окружающей среды конкретной линии в течение трёх суток.

Тяжение, провес и температура подчиняются законам математической модели. Зная один или два параметра, не составляет труда определить другие параметры. Итак, осознание того, что провес или тяжение проводника отображают тепловые характеристики проводника, можно рассчитать динамическую оценку пропускной способности линии. В настоящее время существует несколько технологий, которые позволяют определить тяжение или стрелу провеса в реальном времени. При помощи этих параметров и данных об окружающей среде на протяжении всей линии можно смоделировать её полную динамическую характеристику и дать динамическую оценку пропускной способности.

Экономическое значение теплоёмкости

Когда данные по оценке пропускной способности накапливаются за несколько месяцев работы, можно определить кумулятивную кривую вероятностей (рис. 4). Кривые по каждой из трёх линий отличаются друг от друга положением по отношению к направлению ветра и типом рельефа вдоль трассы линии, которая может проходить по открытому ландшафту, городским районам или под деревьями. На диаграмме отображаются данные для одной линии, и они не могут быть экстраполированы на другие линии. Кроме того, какой-то процент статической оценки с каждым часом будет изменяться. Для динамической оценки требуются данные мониторинга каждой отдельной линии в реальном режиме времени с последующим введением этих данных в систему управления сетью.

На рис. 4 также показано время (в процентном выражении), в течение которого результат динамической оценки пропускной способности (DLR) выше результата статической оценки. Уровни пропускной способности разграничены горизонтальными линиями, обозначающими 105, 110 и 125% результата статической оценки (SLR). Динамическая оценка в 98% времени определяет пропускную способность линии выше статической. Сейчас компания Opsog применяет предельное приращение уставок на 25 % выше SLR для релейной защиты и токоограничивающих элементов по всему участку линии, таких как трансформаторы тока, коммутационное оборудование и фильтры присоединения.

РЕЙТИНГ Линий электропередачи

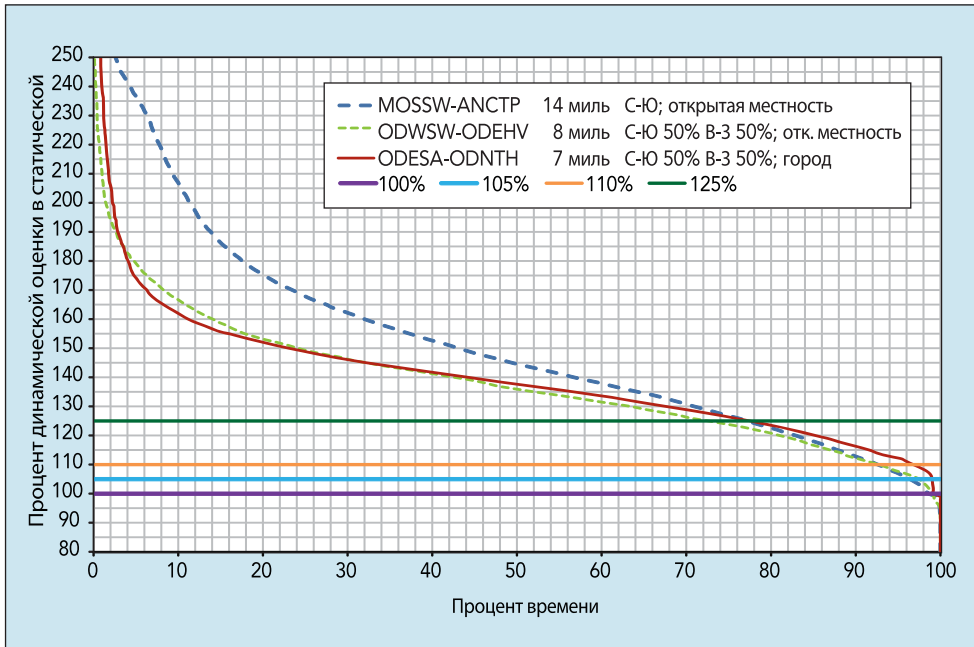


Рис. 4. Кривая вероятности динамической оценки для нескольких линий.

Большинство линий испытывают эксплуатационные ограничения, которые на несколько процентов выше SLR или AAR. Для нештатных ситуаций, соответствующих критерию N-1, применимы такие методы оценки состояния, при которых послеаварийные нагрузки должны быть ниже пропускной способности линии. Следовательно, номинальный режим работы начинается с такого уровня эксплуатации, при котором система в случае выхода из строя одного сетевого элемента остаётся в устойчивом режиме.

В ходе демонстрационного проекта (DOE SGDP) было обнаружено, что прирост пропускной способности отдельных линий от 5 до 10% ведёт к значительному снижению затрат, связанных с перегрузкой. Как показано на рис. 4, в 90% времени без DLR дополнительная пропускная способность линий остаётся скрытой и неиспользуемой. DLR открывает более чем достаточные мощности для улучшения экономических показателей сети.

От датчика на рынок

На рис. 5 показан монтаж системы мониторинга состояния линии на П-образной опоре. Этот элемент может служить одним из дистанционных звеньев схемы развёртывания, которая показана на рис. 6. Дистанционные системы мониторинга передают данные в блок хранения, расположенный на подстанции, откуда они затем передаются в систему SCADA или в систему сбора данных диспетчерского центра посредством различных систем связи, включая сотовую.

Данные передаются посредством алгоритма для получения параметров пропускной способности по каждому месту мониторинга и затем по каждому участку линии с учётом самой низкой пропускной способности участка вдоль трассы линии. Система управления энергопотреблением имеет автоматическую логическую функцию оценки качества и надёжности данных, которая проверяет, насколько полученные данные по пропускной способности соответствуют данному участку линии и насколько они укладываются в допустимый диапазон.

После прохождения проверки данные поступают на обработку в телеметрическую систему. В том случае, если функция оценки качества данных сомневается в их достоверности или качестве, то на пульт оператора приходит сигнал для определения оценки. При необходимости ввиду сбоя логики проверки данные по пропускной способности возвращаются в систему номинальной оценки, которая используется в энергокомпании.

Функция динамической оценки пропускной способности встроена в процесс обработки потока данных, который используется при оценке состояния в течение обычного цикла (например, цикл продолжительностью от 2 до 5 минут). Интегрированная функция динамической оценки пропускной способности

(iDLR) обеспечивает оптимальную работу системы точными показателями пропускной способности линий электропередачи, зависящими от времени.

Ввиду того что система осуществляет постоянный мониторинг пропускной способности и обновляет дан-



Рис. 5. Линейный рабочий подключает систему мониторинга с датчиками тяжения и окружающей среды на П-образной опоре.

ные в зависимости от реальных эксплуатационных условий и условий окружающей среды, передаёт эти данные в систему диспетчеризации с учётом безопасности режимов (SCED) или на её эквивалент — систему анализа состояния, — а также использует фактические данные о производительности линии для принятия решений по надёжности и экономическому распределению нагрузки, то можно утверждать, что система iDLR обеспечивает такую глобальную наблюдаемость энергосистемы (WASA), которую ни одна другая система обеспечить не в состоянии. WASA поддерживает циклический характер оценки и автоматически корректирует работу сети с целью наиболее полного использования дополнительной пропускной способности линий и надёжного поддержания целостности сети и экономичности режимов.

Важнейшим достижением демонстрационного проекта (DOE SGDP) является рыночная интеграция работающей в реальном времени системы iDLR в телеметрический поток информации, используемый для управления работой энергосистемы. Динамическая оценка состояния линий, передаваемая с полевых датчиков в систему диспетчеризации оператора рынка электроэнергии, постоянно используется для минимизации затрат потребителя. Время и затраты на получение таких рыночных преимуществ по сравнению с капитальными инвестициями в систему минимальны. Кроме того, оператор сети передачи электроэнергии имеет возможность реагировать на проблемы вновь загружаемых линий при увеличении пропускной способности путём снижения ограничений по нагрузке линий, уменьшения загрузки центра управления, обеспечивая глобальную наблюдаемость системы (WASA).

Будущее уже здесь, и его не остановить

Статической оценки было достаточно в старые времена, когда нагрузки генерации были более предсказуемы. В настоящее время природоохранные, экономические и инфраструктурные потребности создают непредсказуемые изменения во всех участках сети, что в свою очередь, вызывает потребность в большей эксплуатационной гибкости. Что касается линий с ограничениями по тепловому режиму работы фазного провода, то технология DLR может обеспечить дополнительный прирост мощности, необходимый для преодоления этих ограничений за короткое время после внедрения самой технологии (за каких-то шесть месяцев), а также гибкость, необходимую при переносе оборудования на другое место в зависимости от потребностей системы, при необходимости изменений и при минимальной подготовке оперативного персонала и минимальной его загрузке.

С учётом успеха проекта SGDP Oncor установила в Западном Техасе вторую систему с целью удовлетворения потребностей, которые возникли после получения гранта Министерства энергетики (DOE). Отбросив предположения для наблюдений, сеть улучшается так, что заставило бы улыбнуться самого Эйнштейна.

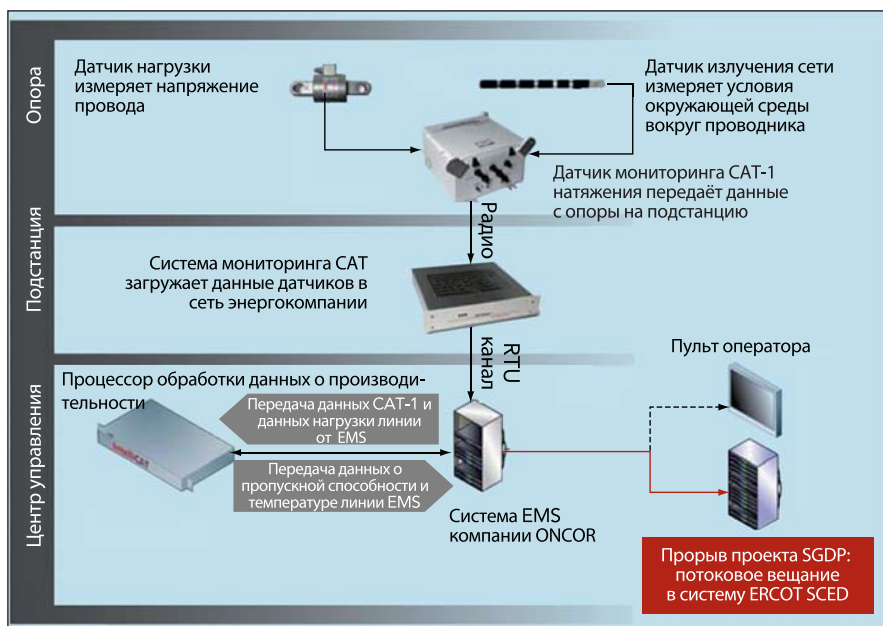


Рис. 6. Схема связи системы iDLR, на которой показана потоковая передача данных в систему ERCOT SCED (экономическая диспетчеризация с учётом безопасности режимов).

Признательность

Информация для данной статьи является кульминацией совместного проекта компании Oncor и DOE по программе SGDP. Прделанная работа и статья — это результат совместных усилий Рона Стелмака (Ron Stelmak), Роба Мора (Rob Mohr) и Сэнди Айвалиотиса (Sandy Aivaliotis) из компании Nexans; Гари Регсдейла (Gary Ragsdale), Шоно Митчема (Sean Mitchem), Герарда Тревино (Gerardo Trevino) и Джо Лумиса (Joe Loomis) из Юго-западного научно-исследовательского института; Нила Хёрста (Neal Hurst) из EDM International; Стива Сайрекьюза (Steve Syracuse) из Promethean Devices и Джастина Джонсона (Justin Johnson), Кейла Смита (Cale Smith), Эдди Кларка (Eddie Clark), Майка Джуричека (Mike Juricek) и Рауля Эспехо (Raul Espejo) из Oncor Electric Delivery. TDWR

Тип Гудвин (Tip Goodwin, tip.goodwin@oncor.com) — инженер-консультант в компании Oncor Electric Delivery, в настоящее время работает в группе стандартов передачи электроэнергии компании Oncor. Имеет большой стаж работы в области передачи и распределения электроэнергии, проработав на таких крупных энергопредприятиях, как Pennsylvania Power & Light, Entergy и Oncor. 16 лет проработал в качестве консультанта в компании GAI Consultants and PBS&J, а также в сфере НИОКР в компаниях EPRI Sverdrup Technology. Гудвин является членом общества IEEE Power & Energy, возглавлял и работал в рабочих группах IEEE и технических комитетах по опорам и проводам линий электропередачи. Член Комитета СИГРЭ В2 WG 06 по надёжности, технический советник комитета IEC TC11.

Компании, упомянутые в статье:
 Department of Energy | <http://energy.gov>
 Oncor Electric Delivery | www.oncor.com

ВЫСОКАЯ Надёжность

Компания EDP усиливает распределительные электросети

Португальская энергокомпания оптимизирует эксплуатационную эффективность новыми технологиями и новыми технологическими процессами.

Пауло Лусио (Paulo Lucio), Педро Пауло (Pedro Paulo) и Мириам Бусинья (Miriam Boucinha), компания EDP Distribuição

Район Лиссабона (DRCL) является частью зоны обслуживания Португальской энергокомпании EDP Distribuição. Площадь района составляет 2896 квадратных километров, население — около 2,7 миллиона человек. Несмотря на то что район занимает всего 3% территории Португалии, он снабжает электроэнергией 28% потребителей, на которых приходится 27% общего потребления электричества в стране.

Компания EDP Distribuição начала реализацию проекта OMDRCL в районе Лиссабона, основной целью которого является обеспечение высокой надёжности энергоснабжения потребителей и повышение уровня обслуживания клиентов с точки зрения учёта потребле-

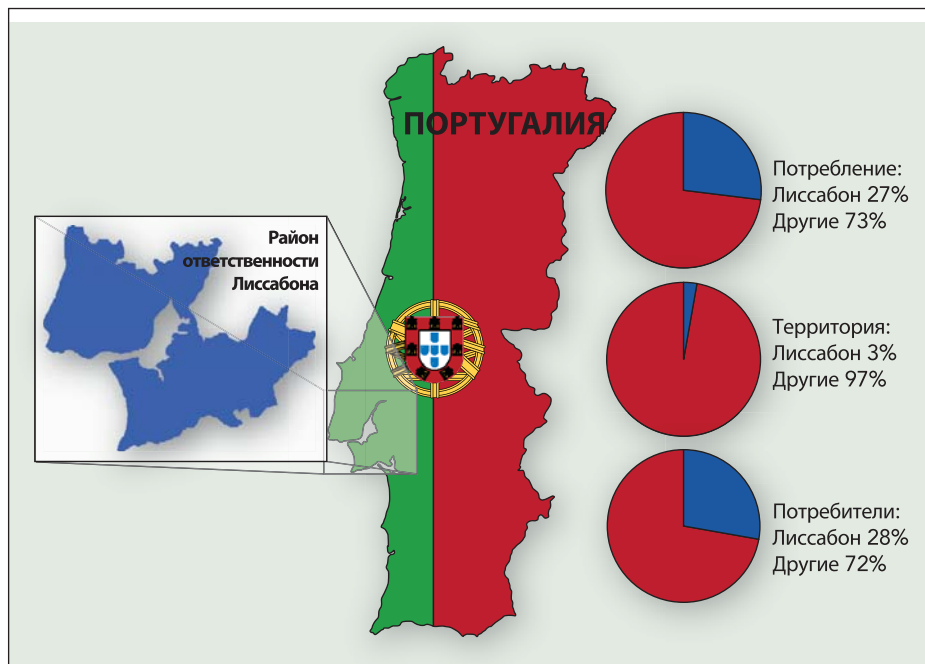
ния электроэнергии. Это требует оптимизации организации существующей сети с включением новых разработок и усовершенствованием процессов управления, в которые входят программы по контролю устойчивости и охране окружающей среды. Этот проект удовлетворяет необходимость обеспечения роста энергопотребления и стремление усовершенствовать сеть путём решения проблем оборудования, управления персоналом и информационной системой, проблемами автоматического учёта и сектора микрогенерации.

Управление персоналом

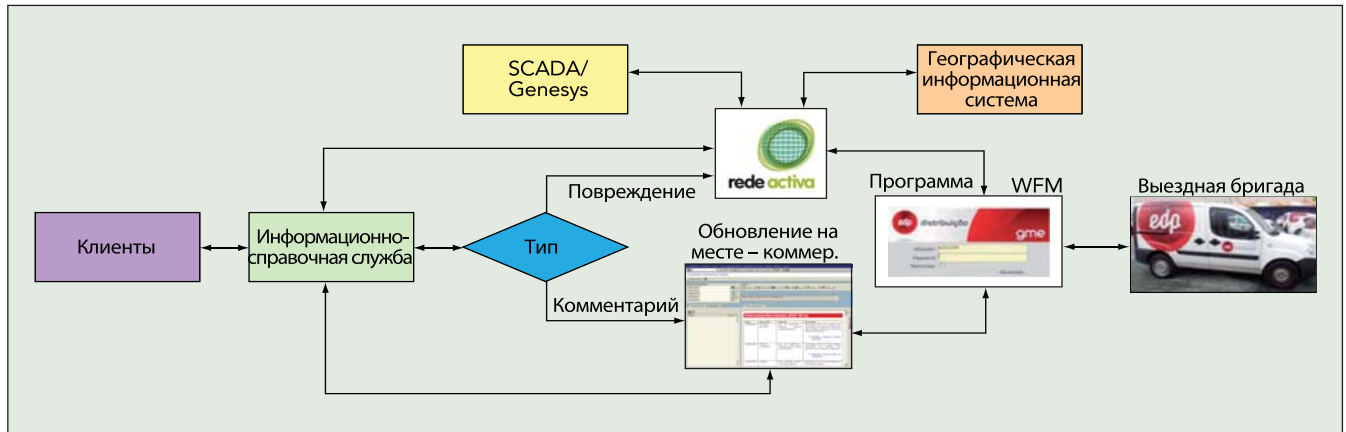
В целях повышения производительности компания EDP Distribuição внедряет систему управления персоналом (WFM) для замены менее

эффективных технологических процессов в сфере коммерческих услуг, управления сетью и мониторинга аварийных ситуаций. Сейчас для выдачи задания выездным бригадам компания использует онлайн-систему. Этот новый подход постепенно заменяет телефонную связь и сокращает объём бумажной работы, характерный для прошлых времён, а также обладает преимуществами сохранения в цифровом формате всего информационного обмена.

Управление производственными программами осуществляется из центра, поэтому команда центра управления сохраняет полномочия и обеспечивает возможность выдачи индивидуальных заданий по выполнению специальных или аварийных работ. Система



Район Лиссабона находится в центре зоны обслуживания компании EDP Distribuição.



Потребители электроэнергии звонят в специальные информационно-справочные службы по вопросам отключения электричества или по иным вопросам. Полученная информация передаётся в специальные корпоративные системы (Rede Activa — по устранению неисправностей — или ISU — управление промышленными операциями), которые поддерживают двустороннюю связь с платформой. Информация автоматически передаётся выездным бригадам, использующим онлайн-платформу, которая в свою очередь передаёт нужную информацию в корпоративные системы о типе работ, времени ожидания прибытия бригады к потребителю и выполнения ремонтных работ в случае необходимости.

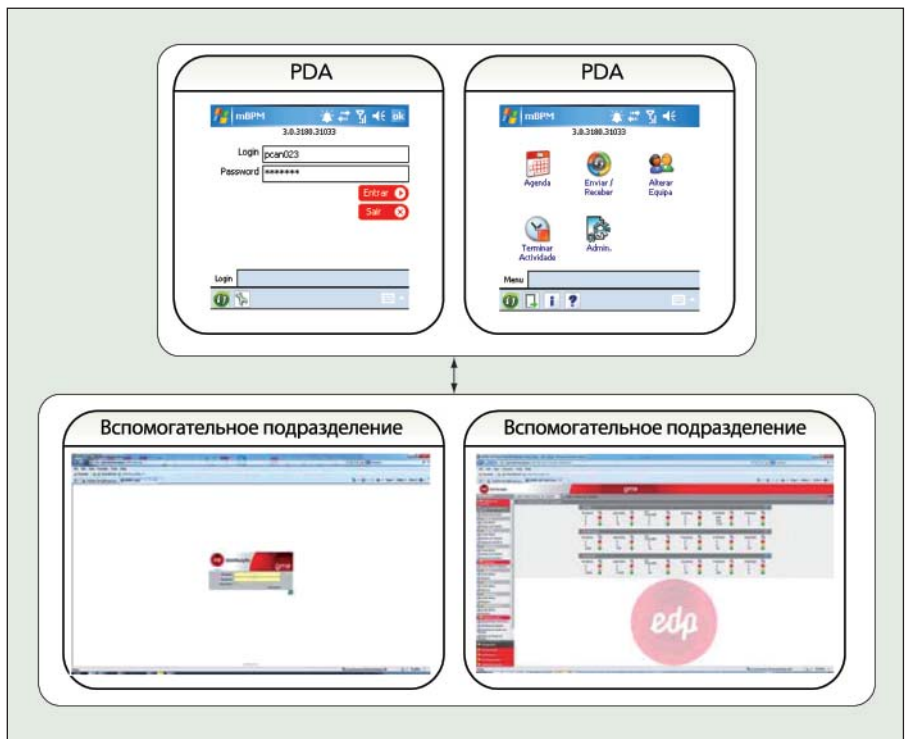
также позволяет выдавать комплексные задания на производство неотложных работ или на следующий день.

Все выездные бригады обладают персональным цифровым помощником (PDA) со специально разработанным приложением, которое позволяет получать рабочие задания из центра. Эти задачи содержат подробную информацию относительно порученной работы, а также дополнительную информацию, содержащуюся в корпоративной системе, которая может понадобиться в процессе выполнения дополнительных работ.

По окончании работ информация обновляется при помощи устройства PDA по заранее определённому сценарию. Обновлённая информация передаётся на хранение в центр, таким образом вся информация и обновления немедленно фиксируются в корпоративных системах. Поэтому, снижается риск ошибки, которая может возникнуть во время обновления системы в ручном режиме, и это позволяет операторам информационно-справочной службы обеспечивать потребителей подробной и точной информацией о ходе выполнения любой работы выездной бригадой.

Новым путём

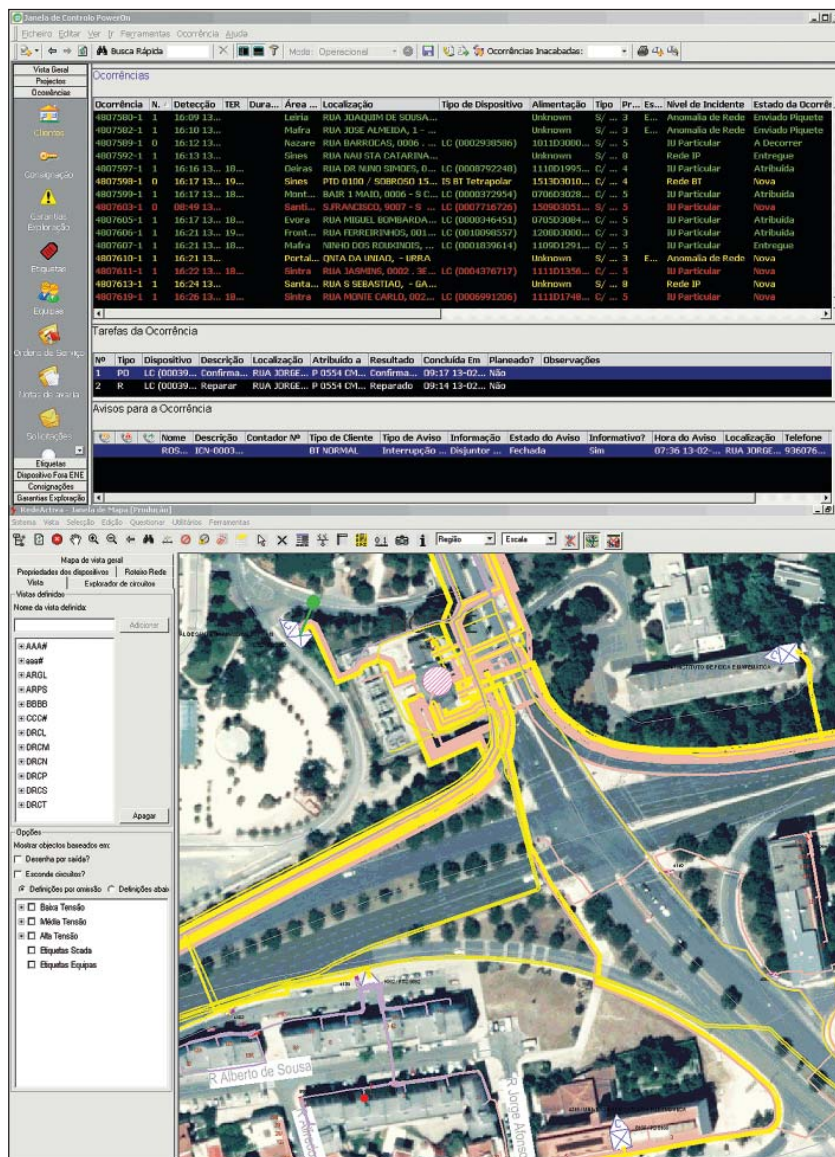
Программа управления персоналом (WFM) вместе с устройствами PDA, будучи удобным для пользователя интерфейсом, позволяет снизить риск появления большинства ошибок при обновлении корпоративных систем. До внедрения программы эти задачи приходилось выполнять выездным бригадам, и обновление корпоративных систем производилось вручную. С внедрением программы WFM повысилась эффективность



Применение PDA выездными бригадами для управления персоналом и обзор обязанностей вспомогательного подразделения.

работы, поскольку теперь стало гораздо быстрее и легче управлять выездными бригадами и производить автоматическое обновление корпоративных систем. Она также позволяет улучшить качество работ и повысить уровень централизованного управления, что является показателем эффективности системы. Решение этой ранее почти невыполнимой задачи теперь вполне реально, поскольку вся информация хранится в системе и любая фаза технологического процесса может быть тщательно проанализирована.

Для прокладки маршрута движения бригад в систему WFM-PDA встроен GPS-навигатор. Для по-



Power-On — это интегрированная система для оперативного управления сетями всех классов напряжения.

вышения эффективности в навигатор заложена информация о расположении всех трансформаторных подстанций СН/НН. Сюда включена система быстрого реагирования на экстренные ситуации, что позволяет бригадам более гибко выполнять поставленные задачи, а не раздумывать, знакомы ли они с данным участком сети.

Система быстрого реагирования с WFM также частично отвечает за повышение надёжности сети среднего напряжения, оцениваемого по основному показателю качества электроэнергии при отключениях: ТИЕР1 [эквивалентная длительность перерывов электроснабжения в перерасчёте на установленную мощность (минуты потерь нагрузки)]. Качество электроэнергии, оцениваемое по показателю ТИЕР1, определяется уровнем воздействия перерывов электроснабжения в определённой географической зоне за определённый период времени. Для этого требуется расчёт количества отключений, их продолжительность и недоотпуск электроэнергии, связанные с отключениями, по отноше-

нию к установленной мощности для данной географической зоны. С 2008 по 2013 гг. снижение показателя ТИЕР1 составило 52%.

Корпоративные системы поддерживают все работы, проводимые в рамках электрической сети EDP Distribuição, следовательно, интеграция систем является важным инструментом в деле повышения общей производительности.

Вместе с WFM существуют ещё несколько систем, которые необходимы для последовательного выполнения работ.

Новые программные средства

Power-On является интегрированной системой оперативного управления сетями всех классов напряжения. Эта программа для определения состояния сети использует геоинформационную систему (GIS). При изменении элемента сети в системе Power-On, например при перерыве электроснабжения, система автоматически показывает повреждённую сеть, количество потребителей, подверженных отключению, а также первоочередные мероприятия, которые необходимо предпринять для восстановления электроснабжения пострадавших потребителей в кратчайшие сроки. Кроме того, пришлось преобразовать данные сети, хранящиеся в схематичном формате предшествующего программного обеспечения, в формат для использования в новой геоинформационной системе.

Система Power-On также поддерживает связь с системой SCADA/Genesys, что значительно упрощает и ускоряет управление сетью. Таким образом, сочетание системы Power-On с системой WFM и возрастающим количеством трансформаторных под-

станций СН/НН с дистанционным управлением в огромной степени способствовало улучшению показателей ТИЕР1.

Разрабатываются новые проекты расширения сети с новыми программами проектирования Design Manager (в начальной стадии разработки), которые позволят использовать существующую модель сети GIS. Программы проектирования используются для обеспечения быстрого и эффективного обновления сети. Однако Design Manager — это нечто большее, чем просто программа проектирования, поскольку она участвует в управлении проектом начиная со стадии планирования до стадии внедрения при расширении сети.

Интеграция систем третьих лиц

Большинство разработанных служебных программ совместимы с требованиями внешних поставщиков услуг (ESP). В качестве примера можно привести успешную совместимость программы WFM office с

программами предыдущей системы по отработке повреждений и аварийных ситуаций, а также оперативному управлению операциями в промышленной сфере. Программа управления работами в промышленной сфере разрабатывалась с целью удовлетворения требований EDP Distribuição и ESP, поскольку она уже управляет 95% всех работ в сети.

Всех потребителей электроэнергии в сети Лиссабона (DRCL) как минимум раз в три года посещают представители энергокомпании, часто это происходит по просьбе самих потребителей, например по вопросам оценки точности системы учёта электроэнергии в новых контрактных условиях. Сюда включены посещения с целью снятия показаний счётчиков один раз в три месяца.

Для оптимизации управления выездными работами на промышленном уровне была разработана версия упрощённого контракта с несколькими правилами платежа, включающими большой перечень выездных работ, которые могут быть разработаны в связи с оборудованием учёта. При помощи такой системы компания EDP Distribuição может связать платежи за каждый заказ на работу, выполняемую поставщиками внешних услуг (ESP). Основными преимуществами этого процесса для компании EDP Distribuição является то, что ей необходимо управлять качеством выполняемой работы и контролировать тип платежа за полевые работы. У ESP тоже свои преимущества — быстрый платёж за выполненные работы.

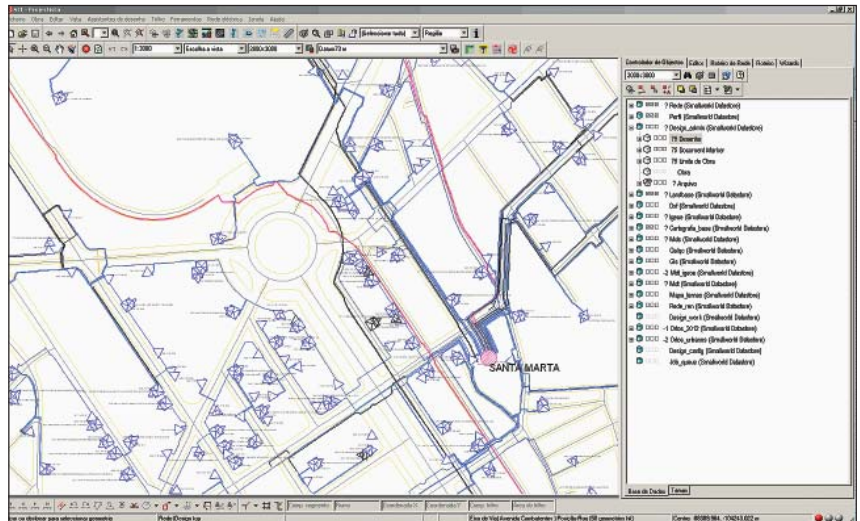
Телеизмерения

С целью сведения к минимуму негативных воздействий от перерывов электроснабжения все работы были сконцентрированы на оптимизации сети и управлении системой; большое количество трансформаторных подстанций СН/НН были оборудованы системами телеуправления в зависимости от важности обслуживаемого потребителя, нагрузки сети и трудности доступа к установке.

Монтаж телеизмерительной аппаратуры также способствует оптимизации проекта. В зоне Лиссабона все потребители среднего напряжения оснащены приборами дистанционного учёта. Самым распространённым способом является подключение GSM-модема к счётчику электроэнергии. Это решение было постепенно реализовано для потребителей низкого напряжения с нагрузкой выше 41,4 кВА или у которых имелись установки малой мощности. Другие решения были испытаны в сети DRCL с использованием систем GSM или технологии передачи информации по электрическим сетям.

Оборудование сети

Для оптимизации оборудования сети компания EDP Distribuição внедрила политику, в соответствии с которой существующие распределительные трансформаторы с избыточной мощностью устанавливаются на подстанциях с высокой нагрузкой. Такая простая процедура позволяет усовершенствовать сеть без существенных дополнительных капитальных затрат.



Программа Design Manager использует проекты по расширению существующей сети на базе GIS.



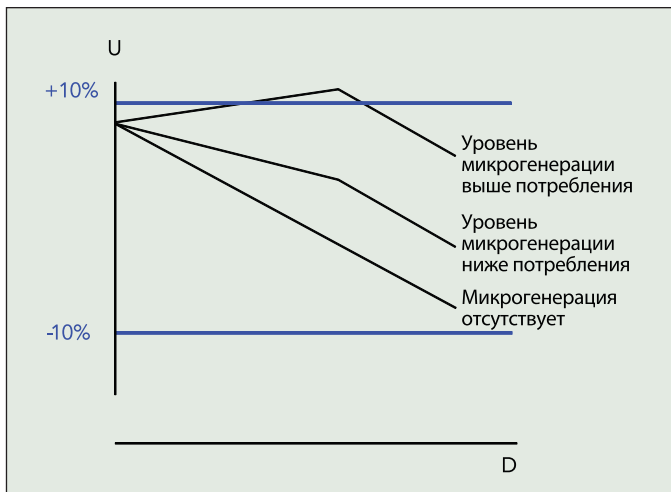
В целях удовлетворения требований по охране окружающей среды бригада демонтирует масляный трансформатор СН/НН с содержанием полихлорбифенила.

Возможность эксплуатации сети при оптимальном использовании мощности трансформаторов СН/НН достигнута путём загрузки трансформаторов до номинала, причём относительные потери электроэнергии сведены до минимума. Таким образом снижается необходимость строительства новых подстанций, что немаловажно для густозаселённых районов, где трудно найти место для размещения новых подстанций. Одними из самых значительных мероприятий компании, связанных с охраной окружающей среды, являются программа и методика замены при необходимости распределительных трансформаторов, в которых используется трансформаторное масло с полихлорбифенилом (PCB).

Установки малой мощности

Стремясь сократить выброс CO₂, ассоциированный с производством электроэнергии, и в соответствии с постановлениями ЕС и нормативными уровнями выбросов, предусмотренными Киотским протоколом, Правительство Португалии приняло программу сти-

ВЫСОКАЯ Надёжность



Воздействие микрогенерации на уровень напряжения сети..

мулирования потребителей. Новая методология предоставляет потребителям низкого напряжения право устанавливать оборудование для производства электроэнергии для собственных нужд. Сюда включены следующие источники возобновляемой энергии: солнечная энергия, энергия ветра и когенерационные установки.

Процедура перехода к производству электроэнергии для постоянных потребителей довольно проста. Для этого необходимо пройти регистрацию на специальном интернет-портале, выбрать из соответствующего списка источник энергии и производителя оборудования без прохождения изнурительных процедур по утверждению проекта.

Выборанное решение часто связано с установками НН, поэтому поставляемая в сеть энергия измеряется при помощи счётчика с модемом GSM. Таким образом, энергосбытовая компания при необходимости может получить соответствующую информацию. Однако объём поставляемой в распределительную сеть электроэнергии ограничен 50% потребляемой энергии по условиям контракта.

Существующие правила определяют специальные кредитные условия для тех, кто устанавливает оборудование для систем отопления и водоснабжения, если мощность установленной нагрузки не превышает 3,68 кВт. Максимально допустимая мощность установленной нагрузки ограничена уровнем 5,75 кВт, несмотря на то что для мощностей выше 3,68 кВт государственная поддержка по кредитам не предусмотрена. Каждый киловатт электроэнергии, произведённой сверх установленного лимита и подаваемый в существующую распределительную сеть низкого напряжения, оплачивается.

На сегодняшний день правилами разрешается установка систем микрогенерации тем потребителям, которые устанавливают такие системы для исправления

проблем с сетью. Однако для производителей собственной электроэнергии, которые поставляют её в сеть, существуют ограничения: во избежание возникновения проблем с потоками электроэнергии суммарная мощность, произведённая этими установками электроэнергии, не должна превышать 25% установленной мощности трансформатора СН/НН, обслуживающего данный участок.

Развитие сети

Представление и параметры электрических сетей вместе с картографической базой данных в цифровом формате, которая используется в качестве справочного материала, является стратегическим информационным ресурсом сети.

Технологические разработки являются ключевыми инструментами для усиления сети, создания предпосылок для внедрения планов развития сети в русле технологии smart grid посредством процессов, происходящих в энергокомпании EDP Distribuição, благодаря проекту Inovgrid.

Все инициативы по развитию сети повышают её управляемость, что в сочетании с растущим информационным обеспечением о спросе потребителей на электроэнергию поможет EDP Distribuição обеспечить такой уровень обслуживания потребителей, который позволит достичь главной цели — стать эталонной электро-сетевой компанией. TDWR

Компании, упомянутые в статье:
EDP Distribuição | www.edpdistribuicao.pt



КОММЕНТАРИЙ

Наталья Эрпшер, начальник управления организационного развития Департамента кадровой политики и организационного развития ОАО «Россети»

Ключевой ценностью и главной целью работы электросетевых компаний в секторе распределения электроэнергии является бесперебойное и надёжное электроснабжение конечных потребителей. В этом смысле сложно переоценить значение новых технологий, позволяющих не только обеспечить рост производительности труда за счёт сокращения объёмов живого труда, но и минимизирующих риски, обусловленные ошибками персонала.

Автоматизация бизнес-процессов — от проведения проектных работ, развития сети, управления активами до учёта потреблённой электроэнергии — даёт возможность решить задачи по снижению потерь, оптимизации структуры активов, повышению качества обслуживания потребителей.

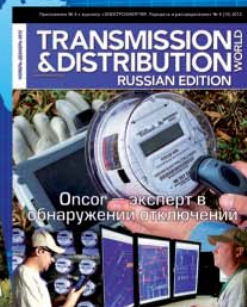
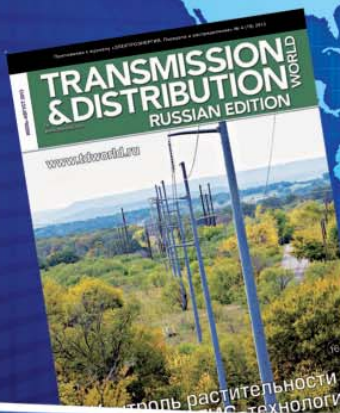
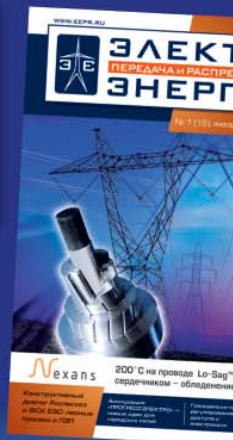
Кроме того, внедрение технологических инноваций — это путь к новым управленческим решениям. Сегодня главные резервы снижения удельных затрат на персонал, рост производительности труда лежат в технологической плоскости. Централизация ряда функций, высокая степень автоматизации — та платформа, на которой можно строить оптимальную, сбалансированную структуру управления, эффективно использовать трудовые ресурсы, высвободить/перераспределить персонал, занятый рутинной работой, что чрезвычайно важно в условиях трудодефицита, характерного как для европейских стран, так и для России.



ЭЛЕКТРО ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИЯ

111123, Москва, Электродный проезд, д. 6, офис 14
Тел./факс: +7 (495) 645-12-21
world@eepr.ru, info@eepr.ru

www.eepr.ru



www.tdworl.ru

TRANSMISSION & DISTRIBUTION WORLD RUSSIAN EDITION

➤ **АУДИТОРИЯ:** главные инженеры, начальники подстанций, руководители технических департаментов, обслуживающий персонал.

➤ **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:** известные в отрасли специалисты и деятели науки, принимающие активное участие в подборке материалов, их оценке и анализе, а также в формировании базы распространения.

➤ **МЕРОПРИЯТИЯ:** журнал соорганизатор и генеральный информационный партнёр ряда отраслевых мероприятий среди которых: XII Всемирный электротехнический конгресс (ВЭЛК-2011), конференция «Инновационные проекты в электросетевом комплексе», Деловой форум ОАО «Холдинг МРСК» и многие другие.

➤ **ПРИЛОЖЕНИЕ:** каждый выпуск журнала содержит приложение — лицензированную русскоязычную версию журнала «Transmission and Distribution World» (США), в которую входят только лучшие и актуальные материалы первоисточника, содержащие опыт ведущих специалистов мирового уровня. В каждой статье имеются комментарии отечественных экспертов, которые помогают адаптировать обсуждаемые в статьях зарубежные технологии к российской электроэнергетике.

➤ **ПОДПИСКА:** +7 (495) 645-55-82



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ Распределительные сети

Самовосстанавливающиеся сети уже функционируют в Нидерландах

В пилотном проекте Stedin интеллектуальные контроллеры используются для автоматизации сети 23 кВ.

Эдвард Костер (Edward Coster) и Вим Керстенс (Wim Kerstens), компания Stedin

Преобразование экономического развития и прироста населения в растущий спрос на энергетические услуги. Такое положение наряду со строгими требованиями по качеству и надёжности электроснабжения активизирует операторов

распределительных сетей (DNOs) в их усилиях по сохранению работоспособности линий электропередачи. Несмотря на огромные инвестиции на замену стареющей инфраструктуры с целью минимизации возможных отказов оборудования, полностью предотвратить отказы сетевого оборудования не удаётся. Поэтому при возникновении повреждений в задачу DNOs входит сведение к минимуму воздействия аварий путём сокращения длительности перерыва электроснабжения и количества потребителей, оставшихся без электричества.

Для минимизации длительности перерыва электроснабжения голландский оператор распределительных сетей компания Stedin приступил к реализации проекта по внедрению системы автоматизации в распределительной сети. Первая фаза проекта включает установку индикаторов пути протекания тока короткого замыкания (FPI), а остальные две фазы предполагают использование более продвинутых технологий, таких как компактные КРУЭ с дистанционным управлением и полностью самовосстанавливающиеся линии распределительной электросети.

Пилотный проект

Голландская распределительная электросеть состоит из подземных кабелей, а это означает, что проблема постоянно возникающих повреждений не может быть решена при помощи отдельных реклоузеров. Компания Stedin разработала пилотную самовосстанавливающуюся сеть на основе процесса восстановления сети при помощи программного обеспечения, использующего несколько устройств телемеханики (RTUs). Для отключения повреждённого участка сети и автоматического восстановления энергоснабжения (FLIR) RTU поддерживают связь по сети GPRS.

Автоматические схемы восстановления электроснабжения могут иметь различную архитектуру. В полностью централизованной архитектуре используется система управления распределением электроэнергии (DMS), которая имеет полную картину топологии сети. В местной централизованной архитектуре использованы интеллектуальные контроллеры, каждый из которых поддерживает связь с ограниченным числом управляемых устройств.

Архитектура, используемая компанией Stedin, полностью децентрализована, интеллектуальные устройства распределены между несколькими узлами сети. Алгоритм FLIR использует сообщения, которыми об-



Внешний вид устройства T200 компании Schneider Electric с подключениями электроприводов, а также аккумулятора, модема и RTU.

мениваются устройства телемеханики. Следовательно, архитектура сети связи отображает электрическую сеть, что упрощает процесс добавления и удаления узлов.

Автоматизированная сеть

Для реализации пилотного проекта самовосстанавливающейся распределительной сети была выбрана электрическая сеть среднего напряжения (23 кВ) в центральной части Роттердама. Эта сеть состоит из 33 трансформаторных подстанций 23 кВ, соединённых кабельными линиями в кольцо, работающее как два радиальных фидера при наличии точки деления сети в кольце.

Правильней всего было бы оборудовать все 33 подстанции автоматическими распределительными устройствами, но это довольно дорогой вариант. С экономической точки зрения наиболее выгодным было выбрать пять распределительных подстанций и разделить кольцо на два фидера, каждый из которых состоял из кабелей приблизительно одинаковой длины и соизмеримым количеством подключённых потребителей.

Все пять распределительных подстанций были оснащены следующим автоматическим распределительным оборудованием:

- электроприводы выключателей нагрузки;
- модули телемеханики с запрограммированной логикой;
- индикаторы протекания тока короткого замыкания;
- датчики наличия напряжения.

Автоматические выключатели 23 кВ (V502 and V503) на центре питания были оснащены другим автоматическим оборудованием:

- устройства релейной защиты для отключения выключателя;
- модули телемеханики, работающие в системе SCADA для мониторинга и управления;
- RTU с функцией самовосстановления, интеллектуальный контроллер для запуска автоматического отключения повреждённого участка сети и повторного включения выключателя.

Шкаф самовосстанавливающейся системы оборудован модулем телемеханики, в состав которого входит аккумулятор и модем GPRS для связи. Факт протекания тока короткого замыкания определяется модулем телемеханики при помощи трансформаторов тока на входящих и отходящих кабелях. И, наконец, на каждом присоединении установлен датчик наличия напряжения ёмкостного типа.

Этот пилотный проект был реализован совместно с компанией Schneider Electric, разработчиком платформы T200i — модуля телемеханики, готового для автоматизации кабельных линий. T200i были установлены в самовосстанавливающейся сети компании Stedin. Именно для этого проекта компания Schneider Electric также разработала программное обеспечение, необходимое для создания алгоритма самовосстановления для модуля телемеханики.

Все автоматизированные подстанции оснащены компактными КРУЭ типа RM6 производства компании



Распределительная подстанция 23 кВ с высоковольтным распределительным устройством и устройством Schneider Electric T200 в навесном исполнении.

Schneider Electric и оборудованы электрическими приводами Schneider Electric. В точках деления сети установлены распределительные устройства другого типа, которые оснащены приводами общего назначения LINAK. Электроприводы LINAK могут быть адаптированы под любой тип распределительных устройств.

Самовосстанавливающаяся сеть

Главной задачей самовосстанавливающейся сети является автоматизация процесса локализации места повреждения и восстановления энергоснабжения. Самовосстанавливающаяся сеть быстро восстанавливает работу двух из трёх фидеров и автоматически восстанавливает энергоснабжение потребителей, оставляя третий фидер отключённым. Поиск фактического повреждения на изолированном участке и восстановление энергоснабжения оставшимся потребителям производится вручную.

Самовосстанавливающаяся система способна идентифицировать повреждения кабелей и сборных шин внутри распределительных устройств. При возникновении двух повреждений одновременно самовосстанавливающаяся сеть способна восстановить электропитание некоторых потребителей.

Существует два основных принципа работы алгоритма обнаружения и определения места повреждения:

- если индикаторы протекания тока короткого замыкания обнаруживают повреждение между двумя узлами, что однозначно указывает на повреждение кабеля, выключатели нагрузки этой кабельной линии отключаются;
- если индикаторы протекания тока короткого замыкания указывают на наличие повреждения в самом узле, то, возможно, повреждение произошло внутри распределительного устройства. В этом случае отключение выключателей в узле сети не означает, что повреждение отключено. Поэтому система отключает (или оставляет отключёнными) выключатели нагрузки на линиях, соединяющих повреждённый узел с двумя соседними узлами.

Алгоритм должен учитывать следующие особенности.

- **Безопасность.** При переключении управления в любом узле сети в режим «местное» схема самовос-

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ Распределительные сети



Применение электропривода LINAK на распределительном устройстве (вид спереди).

становления автоматически отключается на всех остальных узлах.

- **Надёжность.** Если выключателю не удастся отключить повреждение, то система пытается использовать вышестоящий выключатель.
- **Отказоустойчивость.** Это способность системы учитывать отсутствие индикаторов протекания токов короткого замыкания.

Определение узла

При стандартной процедуре восстановления повреждённый участок сети отключается двумя выключателями нагрузки. Возобновление электроснабжения неповреждённых участков сети происходит путём включения нормально отключённого выключателя. Это приводит к определению двух типов узлов: размыкающего и замыкающего.

Размыкающие узлы используются для отключения повреждённого элемента сети, а замыкающие — для восстановления питания сети среднего напряжения. Настройка контроллеров соответствует определению узлов.

Алгоритм

определения и отключения повреждений

Эта последовательность включается в тот момент, когда контроллер на центре питания регистрирует срабатывание релейной защиты. Алгоритм работает в два этапа. На первом этапе происходит отключение выключателя на центре питания: каждый узел сети анализирует место повреждения, и если оно находится со стороны питания самого узла, он отключает питающую линию. Во втором этапе происходит отключение линии на стороне нагрузки: если место повреждения находится на стороне нагрузки самого узла, то при необходимости автоматика отключает линию, питающую нагрузку.

Поэтапная работа

На первом этапе сообщения передаются со стороны нагрузки, т.е. с размыкающего на замыкающий узел. При поступлении сообщения на размыкающий узел последний анализирует состояние указателей протекания тока короткого замыкания и определяет, находится ли повреждение на стороне нагрузки. Если да, то узел от-

ключает один из своих выключателей, чтобы отключиться от повреждения.

В том случае, если размыкающий узел отключает повреждение, он передаёт сообщение на замыкающий узел: «повреждение со стороны питания обнаружено и отключено». Как только это сообщение поступает на замыкающий узел, то он немедленно включает выключатель.

На втором этапе целый набор сообщений передаётся с замыкающего узла на размыкающие узлы и обратно на замыкающий узел кабельной линии. В течение этого этапа каждый размыкающий узел успевает определить, находится ли повреждение на стороне нагрузки. Если да, то он отключает выключатель, чтобы не позволить выключателю центра питания включиться на повреждение со стороны нагрузки.

Как только размыкающий узел успешно отключает повреждение, он немедленно передаёт следующее сообщение на модуль управления выключателем линии питания от замыкающего узла: «повреждение со стороны нагрузки обнаружено и отключено». При поступлении этого сообщения модуль управления выключателем линии питания от замыкающего узла производит повторное включение выключателя.

В конце этого рабочего цикла без питания остаются только отключённые участки сети. Состояние каждого контролируемого узла направляется в диспетчерский центр, который отправляет выездную бригаду непосредственно на отключённый участок сети для ремонта.

Полный рабочий цикл самовосстанавливающейся электросети занимает около минуты в зависимости от количества необходимых переключений и скорости выключателя нагрузки. Таким образом, большинство потребителей остаются без электроснабжения в течение одной минуты. Это крупное достижение по сравнению со средним временем прерывания электроснабжения, которое составляет примерно два часа.

Полученный практический опыт

Начатый в октябре 2011 года пилотный проект компании Stedin по созданию самовосстанавливающейся сети был завершён и полностью сдан в эксплуатацию в июне 2012 года. С момента пуска в эксплуатацию на этой автоматизированной сети не произошло ни одного повреждения, в связи с чем в настоящее время отсутствует практический опыт автоматического восстановления линий, а также отсутствуют данные по длительности перерыва энергоснабжения потребителей в минутах.

Система связи GPRS, используемая в проекте, спроектирована как телефонная сеть, и её можно использовать для передачи данных. Однако качество связи больше сравнимо с традиционной телефонной, что может негативно сказаться на готовности использования сети для нужд самовосстановления. Кроме того, провайдер связи в ночное время в целях экономии отключает несколько антенн, что также оказывает негативное влияние на уровень получаемого сигнала на автоматизированных подстанциях. Такие проблемы необходимо решать на стадии проектирования инфраструктуры связи для самовосстанавливающихся сетей.

Большая часть времени простоя самовосстанавливающейся сети была вызвана сбросами модема,

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ Распределительные сети

которые были вызваны действиями провайдера связи. Провайдер ежедневно производит сброс неиспользуемых соединений, что вызывает перезапуск модемов на модулях телемеханики. Во время такого сброса самовосстанавливающаяся сеть находится в состоянии неготовности в течение двух минут.

В целом для разработки будущих приложений интеллектуальных электрических сетей больше внимания следует уделять работе сети связи. В компании Stedin надеются, что провайдеры услуг связи адаптируют работу этого типа сетей путём изменения условий контракта таким образом, чтобы сеть связи стала пригодной для приложений подобного рода.

Проектирование сети

Не все сети среднего напряжения подходят для внедрения самовосстанавливающихся систем. В сложносвязанных сетях существует несколько возможностей восстановления сети после повреждения. Тем самым усложняются системные программы и увеличивается риск неправильной работы. Поэтому для получения наилучших результатов работы автоматизации эти функции следует включать в проекты будущих распределительных сетей. Это означает, что для нормального функционирования самовосстанавливающейся сети наиболее пригодна кольцевая схема с одной точкой деления сети. В настоящее время в зоне обслуживания компании Stedin все распределительные сети — кольцевого типа.

Перспективы разработки

Компания Stedin начала второй проект по созданию самовосстанавливающейся сети, в основе которого лежит не полностью децентрализованная архитектура, а зональный контроллер, размещённый в центре питания, и целый ряд блоков местного управления, установленных на распределительных подстанциях. В этом проекте для связи между зональным и местными контроллерами также используется сеть GPRS.

Основой системы является зональный контроллер, в котором задействован алгоритм самовосстановления, вырабатывающий все решения о необходимости переключений для восстановления сети. Блоки местного управления предназначены для исполнения этих переключений и обеспечивают зональный блок управления фактическими данными о состоянии сети.



Общий вид размыкающей точки сети (показан электропривод LINAK).



Применение электропривода на компактном распределительном устройстве (вид сбоку).

Компания Stedin начала внедрение системы управления распределением электроэнергии (DMS) в своём диспетчерском центре. Эта система также будет снабжена алгоритмами самовосстановления, и компания планирует полностью задействовать все функциональные возможности этой системы.

Признательность

Авторы выражают глубокую признательность доктору Тому Берри (Tom Berry) из компании Schneider Electric за сотрудничество, без которого этот проект мог не состояться. TDWR

Эдвард Костер (Edward Coster, edward.coster@stedin.net) получил степень бакалавра в области электротехники в 1997 году, окончив университет TH Rijswijk и степень магистра в Политехническом институте в Дельфте (Delft University of Technology) в 2000 г.. Он поступил на работу в Stedin в 2000 году в качестве ведущего специалиста по планированию развития сети. В 2006 г. Костер поступил в Технологический университет Эйндховена (Eindhoven University of Technology) в заочную аспирантуру в области магистральных сетей, которую закончил в 2010 году. Темой диссертации была распределённая генерация, защита энергетических сетей, распределительная автоматика, динамическая оценка линий передачи и устойчивость энергосистем.

Вим Керстенс (Wim Kerstens, wim.kerstens@stedin.net) является экспертом в области управления активными компонентами Stedin. Имеет степень бакалавра в области электротехники. За свой 33-летний стаж получил опыт работы в области диспетчерского управления и сбора данных, управлении энергосистемами и информационных технологий. Керстенс — член Голландского комитета NEC 57 и инфраструктурной платформы центра обработки данных (Netbeheer Nederland). Последние пять лет занимается разработкой технической концепции компании по автоматизированным системам подстанций на основе требований стандарта IEC 61850 и внедрению этих систем на центрах питания.

Компании, упомянутые в статье:

LINAK | www.linak.com

Schneider Electric | www.schneider-electric.com

Stedin | www.stedin.net



Установка солнечных батарей и накопителей Ice Energy на крыше магазина Kohl's для смещения пика производства электроэнергии.

Распределённое накопление энергии

Вначале был пилотный проект и два устройства для накопления тепловой энергии, сейчас установлено более 150 устройств.

Патрик Кинер (Patrick Keener), Redding Electric Utility

Для повышения эффективности энергосистемы и учитывая жёсткие законы штата Калифорния, Электрическое предприятия города Реддинг (Redding Electric Utility, REU) в 2004 году начало разработку альтернативных методов достижения более высокой эффективности, основанных на оценке существующей сети без ввода новых генерирующих мощностей. На сегодняшний день REU имеет генерирующую мощность 160—180 МВт при пиковом потреблении в 250 МВт.

REU обнаружило новый на тот момент накопитель тепловой энергии (Thermal energy storage, TES), разработанный Ice Energy Holdings Inc., который на тот момент был уже вполне проработанным решением, и, кроме того, уникальные методы управления, разработанные Ice Energy Holdings Inc., делали его ещё эффективнее для управления пиковыми нагрузками.

Для REU накопитель тепловой энергии стал привлекательным готовым решением для управления пиковыми нагрузками. Предприятие запустило небольшой пилотный проект в 2004 году.

Накопители энергии Ice Energy

Накопители тепловой энергии работают совместно с системами кондиционирования во время пиковых нагрузок, которое, как правило, начинается в шесть часов вечера. В режиме разряда охладители отключены, и экологически безопасный хладагент R-410a, охлаждающийся за счёт плавления льда, находящегося в накопителе, прокачивается насосом через специальный змеевик, установленный в существующей системе кондиционирования. В режиме разряда насос потребляет

малую часть мощности, используемую для охладителя (менее 5%).

Компания Ice Energy Holdings Inc. изготавливает накопители, охлаждение которых длится до 6 часов в период пика нагрузки. Это охлаждение обеспечивается замораживанием 1730 л воды ночью, когда потребление энергии мало, а тарифы низки. Охлаждающая способность накопителей Ice Bear обеспечивается льдом, находящимся в изолированном баке. Охлаждение зданий происходит за счёт плавления льда, таким образом, в часы пиковых температур окружающего воздуха замещаются охлаждающие устройства систем кондиционирования.

Компания REU запустила два пилотных проекта по внедрению накопителей энергии Ice Bear для определения их долгосрочного использования в течение нескольких сезонов. Результаты испытаний показали, что технология отвечает требованиям компании REU к надёжности при долгосрочном использовании и при этом эффективна в смысле инвестиций.

Ускорение программы

Компания REU приняла решение об ускорении программы внедрения накопителей энергии. В результате были приобретены 10 накопителей в 2007 году и ещё 50 — в 2008 году. Все они при этом остались в собственности компании REU, были установлены в зданиях и на объектах собственности клиентов REU и для клиентов обслуживались бесплатно.

В одной из программ города Реддинг система накопления энергии была включена в проект строительства нового здания. Компанией The Imperial Group совместно

с REU, Ice Energy, производителем систем кондиционирования Trane и местными архитекторами был разработан проект сооружения одноэтажного офисного здания площадью 1950 м². Дополнительно к 11 высокоэффективным устройствам кондиционирования, установленным на крыше, и накопителям энергии в здании было предусмотрено теплоотражающее покрытие крыши белого цвета и теплоизолированный бетон толщиной 30 см — все эти меры приняты для достижения максимальной энергоэффективности.

Опытная эксплуатация в течение года и мониторинг показали, что здание демонстрирует превосходные эксплуатационные характеристики. Комбинация системы кондиционирования и накопителей энергии позволяет снизить пиковое энергопотребление здания на 107 кВт, перенести потребление 23,3 МВт·ч на период низких нагрузок, демонстрируя надёжность 98,9% в течение 12 месяцев. При этом накопители энергии обеспечивают лучшую охлаждающую способность, чем стандартная система кондиционирования, причём не требуется отказ от использования кондиционирования или снижения его мощности. Ежедневное снижение нагрузки на систему кондиционирования позволило REU снизить тарифы при пиковых нагрузках и обеспечить наиболее низкую стоимость услуг для заказчиков.

Контроллер Ice Bear выполняет функции главного устройства и имеет беспроводное подключение к современной двухсторонней сетевой архитектуре AT&T (American Telephone & Telegraph). Служба удалённого мониторинга и управления расположена в RackSpace, провайдере защищённой обработки данных. Каждый накопитель энергии может быть удалённо настроен для работы в соответствии с питающим его присоединением, что позволяет избежать ограничений в сети, связанных с летними пиками нагрузки.

Используя графический интерфейс CoolData портала Ice Energy, операторы на станциях могут контролировать работу накопителей, систем обогрева, вентиляции и кондиционирования, а также планировать и управлять работой накопителей с тем, чтобы запустить и останавливать генерирующие мощности. Дополнительно распределённые накопители тепловой энергии могут увеличить использование возобновляемых источников энергии, которые часто производят энергию в периоды отсутствия пика нагрузки. Запасая энергию, полученную от возобновляемых источников, сетевые предприятия могут увеличить количество экологически чистых источников энергии путём переноса своего производства энергии в периоды дня, когда энергия наиболее дорога. Исследования Энергетической комиссии штата Калифорния (California Energy Commission) подтверждают, что перенос потребления энергии с дневного на ночное время позволит сэкономить сетевым предприятиям до 30% топлива.

Накопление преимуществ

После превосходных результатов пилотных проектов REU Ice Energy оказалась заинтересована в дальнейшем развитии технологии, которое позволило бы сэкономить мегаватты энергии. Так как технология уже была успешно опробована, вопрос стоял только в том, как спланировать проект.

В 2010 году REU получила разрешение от городского совета Реддинга на установку устройств Ice Bear мощностью 0,5 МВт и проведения исследований в мас-



Установка накопителя Ice Bear на крыше магазина Kohl's в Реддинге.

штабах города для определения потенциала накопителей тепловой энергии в его границах.

Компания Ice Energy успешно разработала, установила и ввела в эксплуатацию систему распределённого накопления тепловой энергии мощностью 0,5 МВт, обеспечив её элементами заказчиков REU, участвующих в эксперименте, продемонстрировав тем самым свою способность поставлять устройства вовремя и в рамках бюджета. Параллельно с установкой оборудования и в сотрудничестве с REU Ice Energy начала четырёхмесячное исследование по сбору данных о нагрузках систем кондиционирования от 4500 тысяч коммерческих организаций и промышленных предприятий, являющихся клиентами REU.

Результаты показали, что около трети (70 МВт) пиковой нагрузки (250 МВт) в Реддинге приходится на системы кондиционирования коммерческих организаций. Новые данные и предыдущий опыт оказались существенным основанием для начала программы по установке накопителей мощностью в мегаватты. Поначалу REU скептически отнеслась к этому начинанию, но такое отношение продлилось недолго, так как Ice Energy и местные подрядчики размещали накопители тепловой энергии Ice Bear мощностью в мегаватты, что позволило существенно снизить нагрузку на персонал REU.

Накопители Ice Bear устанавливались в существующие системы кондиционирования. Таким образом, оценка установленных накопителей определялась оценкой системы кондиционирования. В общем случае снижение пикового потребления мощности оказалось между 10 и 15 кВт на одну установку. В настоящее время из-за существующей структуры тарифов преимущества, которые получает заказчик, ограничиваются улучшенным охлаждением воздуха и увеличением срока службы системы кондиционирования, так как её компрессоры не эксплуатируются в шестичасовой период высоких температур окружающего воздуха.

Вскоре после того как программа применения системы накопителей мощностью 0,5 МВт была завершена и продемонстрировала снижение потребления мощности, REU сравнила эффективность затрат на накопители энергии и традиционные способы и разработала долгосрочный план установки накопителей энергии мощностью в мегаватты. На сегодняшний день REU установила 153 накопителя тепловой энергии в местных коммерческих компаниях и на промышленных предприятиях, что эквивалентно 2,22 МВт мощности в пиковый период.

УПРАВЛЕНИЕ Потреблением электроэнергии

Долгосрочный план REU состоит в том, чтобы противопоставить ежегодному росту пика нагрузки снижение пика нагрузки за счёт установки накопителей Ice Bear. Это поможет REU сократить поставки энергии при пике нагрузки и необходимость ввода новых генерирующих и резервных мощностей для соответствия пиковым нагрузкам. В июне 2012 года городской совет Реддинга одобрил проведение второй фазы установки накопителей тепловой энергии мощностью 6 МВт в течение пяти лет.

Общественная значимость

Компания REU приняла решение о расширении проекта не только для собственной практической пользы, но и в качестве инвестиций в местную экономику. Привлекательность применения накопителей энергии состоит в том, что они позволят сохранить средства на обеспечение пиковых нагрузок в местной экономике, вместо того чтобы потратить их на внешних поставщиков.

Компания Ice Energy привлекает к проектированию, изготовлению и обслуживанию оборудования местных предпринимателей из Реддинга. Материалы и необходимые средства поставляются местными производителями, обеспечивая местный бизнес и рабочие места. В течение года Ice Energy привлекла 14 местных предпринимателей и планирует работать с ними до окончания проекта.

Помимо создания рабочих мест, программа имеет и другие преимущества для Реддинга. Например, ресторан, принявший участие в пилотном проекте по внедрению накопителей тепловой энергии, теперь имеет выгоду от улучшенного охлаждения воздуха на кухне во влажные летние месяцы, выражающуюся в улучшении условий работы, и уменьшении текучки кадров. Теперь поддержание низкой температуры в ресторане не влечёт за собой повышение потребления энергии.

Программа по установке накопителей энергии мощностью в мегаватты имеет опцию для клиентов, включённых в программу автоматического управления потреблением мощности, которые полностью заменяют старые неэффективные системы кондиционирования на новые высокоэффективные. Соглашение позволяет REU отключать особые, некритичные системы отопления, вентиляции и кондиционирования на 30 или менее часов в течение года в особо жаркую погоду и при аварийных ситуациях в сети.

За прошедшие два года программа позволила заказчикам снизить потребление пиковой мощности, продемонстрировав надёжность более 98% в период пикового потребления мощности.

Сообщение об улучшенных показателях были получены от предприятий, где системы накопителей энергии заменили системы отопления, вентиляции и кондиционирования, которые прослужили 10 и более лет и использовались в тяжёлых условиях. Клиенты сообщили о лучшем охлаждении воздуха в жаркие летние дни.

Инициативы

В общем и целом программа REU по установке накопителей тепловой энергии уравнивает её программы по запасу и контролю потребления энергии и энергетической эффективности. Программа одновременно приводит в соответствие друг с другом программу предприятия по введению мощностей и его потребность в ресурсах, при этом появляются новые рабочие места, повышается эффективность системы REU и долговечность и надёжность сети. Долгосрочной целью является удержание пика нагрузки на уровне 250 МВт путём увеличения количества и мощности накопителей тепловой энергии, установленных для компенсации роста пика потребления нагрузки в системе. TDWR



КОММЕНТАРИЙ

Николай Панасейко, ведущий инженер Отдела технической поддержки, ОАО «Мобильные ГТЭС»

Описанная в статье технология является простой и эффективной, её внедрение на стадии проектирования систем не потребует значимого увеличения затрат. Кроме того, модернизация уже существующих объектов также не потребует серьёзных ка-

питаловложений. Однако необходимо понимать, для каких объектов применение этой технологии будет эффективно.

Данная система позволяет сглаживать пики потребления энергии, позволяет запасать энергию в тепловом аккумуляторе, расходовать энергию пропорционально, в зависимости от нагрузки на систему, что в свою очередь очень полезно, так как система в целом может работать в режимах, близких к режимам с максимальным КПД.

Наиболее перспективная для внедрения данной системы отрасль в России — проектирование или модернизация централизованных, многозональных систем кондиционирования воздуха типа чиллер-фанкойл, где теплоносителем является охлаждённая жидкость, циркулирующая между центральной холодильной машиной (чиллером) и локальными теплообменниками (узлами охлаждения воздуха, фанкойлами). Теплоносителем в таких случаях является обыкновенная вода или этиленгликоль, а холодильной машиной служит классический компрессионный кондиционер, работающий на безопасном хладагенте R-410a.

Второй по значимости отраслью, перспективной для внедрения данной системы, является проектирование или модернизация систем охлаждения промышленного оборудования, работающего в импульсном режиме, от которого требуется кратковременное отведение большого количества тепла. Например, инверторы большой мощности сетевых накопителей электроэнергии (СНЭ). Установка теплового аккумулятора в СНЭ позволит снизить мощность применяемого холодильного оборудования, хладопроизводительность которого в классическом случае определяется пиковым значением выделенного инвертором тепла. Следствием подобной модернизации будет уменьшение потребления электроэнергии на собственные нужды СНЭ и увеличение общего КПД установки.

В условиях постоянного увеличения энергопотребления внедрение подобных систем является приоритетной задачей. На сегодняшний день центральным источником любой мощности, будь она тепловой или механической, является электричество. Все сферы человеческой деятельности непосредственно связаны с электричеством, поэтому экономия и рациональное использование электроэнергии и природных ресурсов должны быть на каждом этапе потребления или производства.



Производство
трансформаторов,
подстанций,
электрооборудования
0,4 - 35 кВ

ТРАНСФОРМЕР

Производственная группа «Трансформер»

**Нужен трансформатор?
Жесткий бюджет?
Горящие сроки?**

www.transformator.ru



**Специальное предложение от группы «Трансформер»!
Снижение цен на трансформаторы со склада.
Отгрузка в день оплаты.**

«Трансформер» предлагает:

ТРАНСФОРМАТОРЫ ОТ РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДИТЕЛЯ.

Самый большой в России выбор трансформаторов. Трансформаторы I–III габаритов масляные (ТМ, ТМГ, ТМН, ТДН, ТРДН, ТМФ, ТМПНГ и другие) мощностью от 16кВА до 40.000 кВА, классом напряжения 0,4–35 кВ и сухие (ТСЛ, ТСЗЛ и ТС) мощностью от 16 кВА до 16000 кВА, классом напряжения 0,4–35 кВ, токоограничивающие реакторы РТСТ до 2500 А, трансформаторы АТМГ (с сердечником из аморфной стали) от 32кВА до 1000 кВА классом напряжения до 10 кВ.

Типовые позиции – всегда в наличии!

ТРАНСФОРМАТОРЫ ПОД ЛЮБЫЕ НУЖДЫ

Трансформаторы сейсмостойкие, морозостойкие, малошумные, экономичные, «умные»

МИНИМАЛЬНЫЕ СРОКИ ПОСТАВКИ

Склады готовой продукции в регионах от Москвы до Дальнего Востока.
Продуманная логистика, четкое соблюдение сроков.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

Собственное производство, проверенные поставщики материалов, контроль качества на всех этапах изготовления, современные испытательные лаборатории.

Соответствие всем нормам и требованиям ГОСТ.

Гарантийный срок - 5 лет гарантии, 30 лет бесперебойной службы!

БОЛЬШОЙ ВЫБОР КОМПЛЕКТУЮЩИХ

Ролики, виброгасители, защитные кожухи, шкафы автоматического управления, термометры, вентиляторы, вводы, устройства РПН и многое другое – все необходимое для монтажа и мониторинга работы трансформаторов.

Узнайте подробности на www.transformator.ru или по телефону у наших менеджеров :

Телефон: (495) 545-45-11, 580-27-20, 580-27-27
+7 919 105 43 54, +7 915 337 06 24, +7 985 250 35 08

Мониторинг состояния трансформаторов

Hydro-Québec разрабатывает новые технологии определения состояния устройств РПН и вводов.

Патрик Пише (Patrick Picher), Hydro-Québec IREQ, и Клод Райо (Claude Rajotte), Hydro-Québec TransÉnergie

Hydro-Québec имеет в эксплуатации более 2000 сетевых и генераторных трансформаторов со средним сроком эксплуатации более 30 лет и суммарной мощностью более 200 ГВА. Основной целью проекта является обновление парка трансформаторов, которое по понятным причинам имеет как технические, так и финансовые ограничения.

Для разрешения данной ситуации Hydro-Québec применило две стратегии для сохранения необходимых трансформаторов в эксплуатации в ближайшие годы. Первая стратегия заключается в обновлении парка трансформаторов, начиная с тех, состояние которых критично для энергосистемы. Вторая стратегия заключается в сокращении количества отказов с помощью удалённого мониторинга и оптимизированного технического обслуживания.

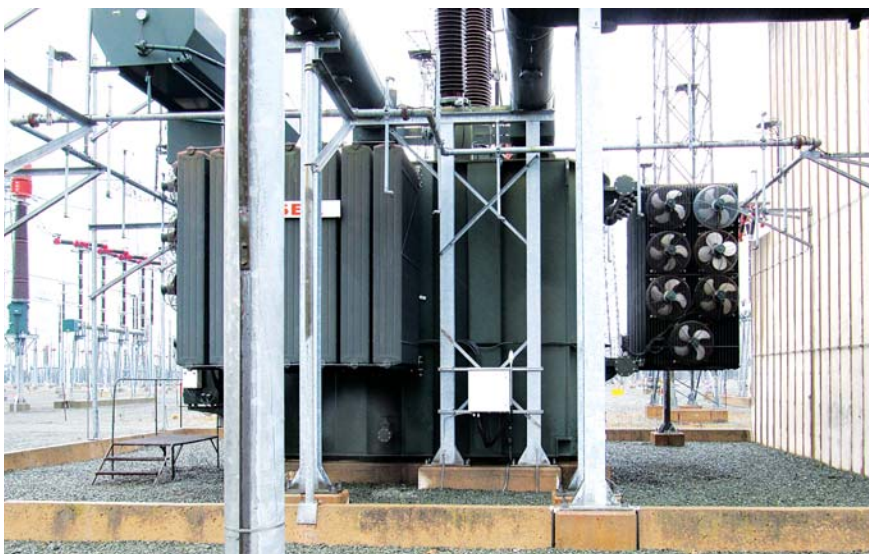
Управление ресурсом трансформаторов

Основным показателем состояния трансформаторов является результат анализа газов в трансформаторном масле. Hydro-Québec ежегодно производит отбор проб масла из трансформаторов и комплексный

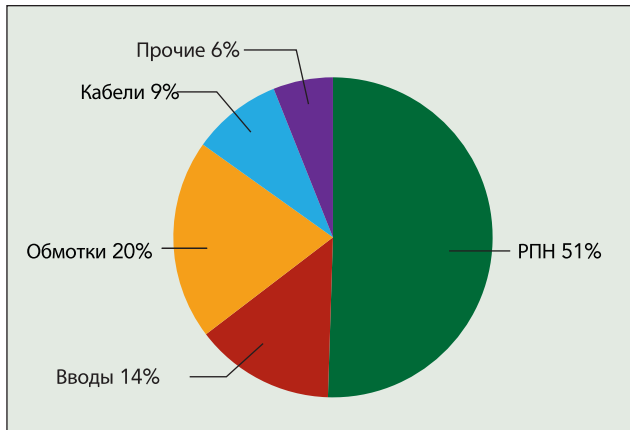
анализ масла каждые четыре года. Эта процедура применяется с 70-х годов XX века, и база данных содержит более 40000 результатов анализов. Параллельно с проверками на месте установки Hydro-Québec применяет мониторинг трансформаторов, с конца 80-х — мониторинг газов в режиме онлайн. Для этой цели применяется технология Hydrap для всех существующих и новых трансформаторов и реакторов с номинальным напряжением 735 кВ, а также для всех новых трансформаторов с номинальным напряжением 315 кВ. В середине 90-х Hydro-Québec распространила действие программы на все трансформаторы мощностью 47 МВА или с номинальным напряжением 120 кВ и выше.

Кроме того, в конце 90-х Hydro-Québec начала постепенно заменять механические указатели температуры на цифровые контроллеры и индикаторы температуры масла и обмоток, составляя таким образом комплекс по онлайн мониторингу своих трансформаторов. Эти разработки доказали свою эффективность в определении зарождающихся отказов в баке трансформатора, улучшении системы охлаждения трансформатора и системы сигнализации и защиты по температуре.

Статистика ремонтов Hydro-Québec показывает, что причинами двух третей отказов трансформаторов являются устройства РПН и вводы. Поэтому Исследовательский институт Hydro-Québec (Hydro-Québec IREQ) разрабатывал технологии мониторинга этих двух основных компонентов, которые позволили бы перейти от систематического технического обслуживания к техническому обслуживанию по необходимости и техническому обслуживанию, предотвращающему отказы, используя лучшие способы удалённого мониторинга. В настоящее время технологии находятся в процессе подготовки к промышленному применению и переводу в ближайшем будущем на коммерческую основу партнёрами Hydro-Québec.



Типичная подстанция Hydro-Québec. Показан один из установленных сетевых трансформаторов.



Классификация отказов основных частей трансформатора.

Технология мониторинга устройства РПН

Технология мониторинга устройства РПН использует токоизмерительные клещи на двигателе привода устройства РПН в шкафу управления трансформатора и вибро-акустический датчик на баке устройства РПН, расположенный настолько близко к переключателю устройства РПН. Измеренный ток используется в качестве сигнала для начала измерений в устройстве РПН. Как только результаты измерений записаны от обоих сенсоров, начинается обработка сигналов и обобщённых данных для диагностики. Положение устройства РПН и его температура также записываются, так как эти данные влияют на результаты измерений.

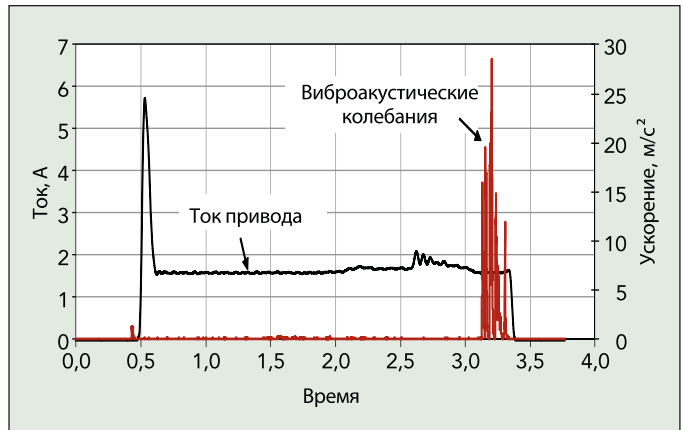
Некоторые параметры могут быть использованы для определения существенных изменений, которые могут стать причиной отказа. Эти параметры позволяют проверить время срабатывания, определить амплитуду тока и его график (в частности, величину пускового тока), задержку между запуском двигателя и переключением устройства РПН и время переключения. Анализ вибраций, возникающих при переключениях, позволяет определить величину и продолжительность воздействий, возникающих при размыкании и замыкании контактов устройства РПН.

Метод мониторинга основан на двух уровнях диагностики: первый определяет любые существенные изменения в измеренных величинах, второй производит более точный анализ состояния и позволяет определить возможный отказ (например, из-за износа контактов, положения контактов, возникновения дуги или неисправности двигателя).

Преимуществами виброакустической технологии диагностики состояния устройства РПН являются возможность определения широкого спектра неполадок и применение непроникающего контроля с использованием датчиков, расположенных вне бака устройства РПН.

Разработанные алгоритмы и возможность сравнения результатов предыдущих измерений на том же устройстве РПН позволяет существенно повысить точность контроля в режиме реального времени. Мониторинг в режиме реального времени имеет следующие дополнительные преимущества:

- диагностика в реальном времени в реальных условиях эксплуатации;
- повышенная точность по сравнению с периодическими проверками;



Пример типичной акустической сигнатуры устройства РПН.

- выявление неполадок, вызванных быстрым ухудшением свойств;
- соотнесение результатов диагностики с прочими данными, доступными на подстанции (например, нагрузка и температура).

Практический опыт

Два прототипа системы мониторинга состояния устройства РПН были установлены в феврале 2010 года и к настоящему моменту были проконтролированы 23000 переключений. Анализ результатов измерений был произведён для определения поведения устройства РПН в условиях реальной эксплуатации и определения требований для разработки точного и надёжного алгоритма автоматического мониторинга.

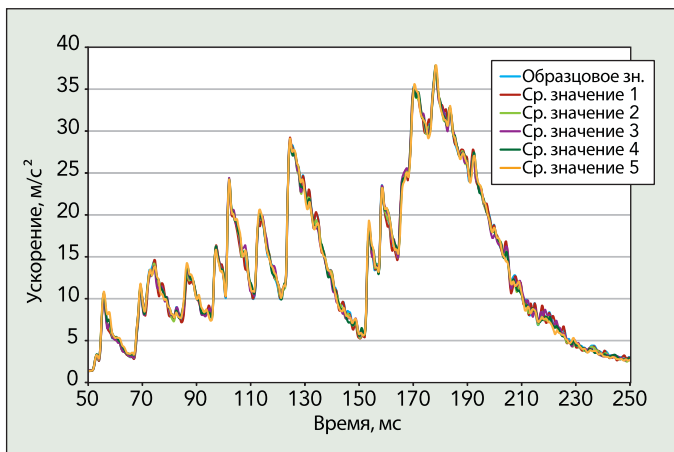
Алгоритм мониторинга основан на кратко- и долгосрочных изменениях, позволяющих определить различные возможные типы отказов. Отрегулированный по времени метод позволяет снизить естественные изменения акустических сигнатур устройства РПН в хорошем состоянии. Влияние температуры принимается в расчёт, так как общее время переключения при низкой температуре может быть превышено при высокой температуре более чем на 10%, что в свою очередь может быть расценено системой как отказ. Способ был применён для новых устройств РПН вакуумного типа и показал великолепную повторяемость результатов измерений.

Новая технология мониторинга вводов

Традиционный способ испытания изоляции (напряжением 10 кВ) показывает ограниченную способность предотвращать или определять отказы вводов трансформаторов на начальной стадии их появления. Диагностика в режиме онлайн имеет преимущество в смысле оценки состояния изоляции при рабочем напряжении и рабочей температуре. Кроме того, так как измерения проводятся в режиме реального времени, на трансформаторе, находящемся в эксплуатации, проведение диагностики позволяет выявить неполадки с коротким периодом проявления.

Практическое применение методов определения параметров изоляции, таких как ёмкость, коэффициент мощности и тангенс угла диэлектрических потерь, измеренных на вводе, показывает, что результаты измерений на вводах одной фазы более точны, чем метод

МОНИТОРИНГ



Виброакустические измерения на вакуумном устройстве РПН.

суммирования токов или любой расчёт по результатам измерений на разных фазах.

Технология, применяемая для таких измерений, требует электрического соединения между вводами, на которых проводятся измерения, и центральной измерительной системой, а также синхронной фиксации сигналов от вводов для определения фазового угла. Кабели, необходимые для такого распределённого измерения, увеличивают расходы на его применение и, следовательно, ограничивают применение этого метода мониторинга вводов трансформаторов при большом их количестве.

Для разрешения этой проблемы Исследовательский институт Hydro-Québec (Hydro-Québec IREQ) разработал новый принцип распределённых измерений с применением передатчиков GPS для обеспечения синхронизации по времени. Это позволяет снизить стоимость применения данной технологии (не нужны кабели между трансформаторам) и обеспечить требуемую точность измерений.

Эти измерения требуют высокоточного оборудования, так как сдвиг фазы примерно на одну десятую градуса между двумя вводами может означать предотказное состояние одного из вводов. Высокая точность ещё более важна, если речь идёт о вводах сверхвысокого напряжения, так как они имеют в своём составе множество ёмкостных элементов, соединённых последовательно (например, около 100 в вводе 735 кВ).

Новая система распределённых измерений

Децентрализованная измерительная система состоит из устройства мониторинга трансформатора (TMU), которое передаёт атрибутированные по времени GPS-результаты измерения в устройство диагностики трансформатора (TDU), используя имеющуюся на подстанции коммуникационную сеть.

Устройство мониторинга трансформатора подключено к датчикам ввода трансформатора и находится в шкафу управления. Вход устройства мониторинга трансформатора также может быть отрегулирован для измерения образцового сигнала от трансформатора напряжения. Антенна GPS установлена на передатчике сигналов времени устройства мониторинга трансформатора. Устройство диагностики трансформатора, установленное в ОПУ, получает данные от устройства мониторинга трансформатора, вычисляет тангенс угла

диэлектрических потерь и амплитудные значения величин, сохраняет данные, производит тенденционный анализ, производит локальную диагностику и передаёт предупреждения в центр мониторинга.

Модульный принцип организации системы позволяет пользователю комбинировать пары контролируемого оборудования на подстанции с помощью конфигулятора устройства диагностики трансформатора. Это позволяет обслуживающему персоналу получать и анализировать данные удалённо.

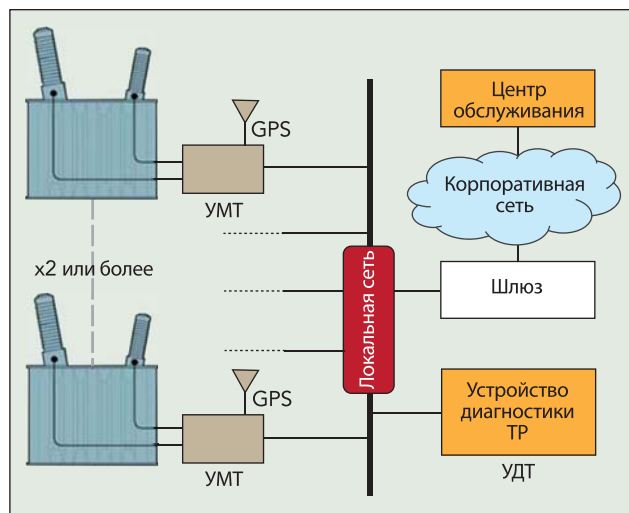
Практический опыт

Система была установлена на трёх фазах однофазного автотрансформатора 735/230 кВ мощностью 370 МВА, всего было установлено девять устройств, соединённых параллельно. Ежедневные изменения в децентрализованной системе были близки к мгновенному разбросу, что показывает её высокую работоспособность по сравнению со стандартным способом измерений.

Типичная дневная стабильность измерений тангенса угла диэлектрических потерь оказывалась лучше 0,05% кроме особых событий, таких как переключения в сети или дождь. В обоих случаях тангенс угла диэлектрических потерь изменялся во время события и базовая линия оказывалась несколько иной, соответствующей новым условиям эксплуатации (например, температуре трансформатора или очистке изоляторов). Небольшие изменения динамики также отмечены для амплитудных значений измеряемых величин.

Во время практических испытаний системы дождь шёл много раз. Метеорологические данные были собраны с метеорологических станций, при этом было замечено, что флуктуации тангенса угла диэлектрических потерь превосходят 0,15% во время дождя, однако базовая линия флуктуаций соответствует нормальной базовой линии флуктуаций в течение дня.

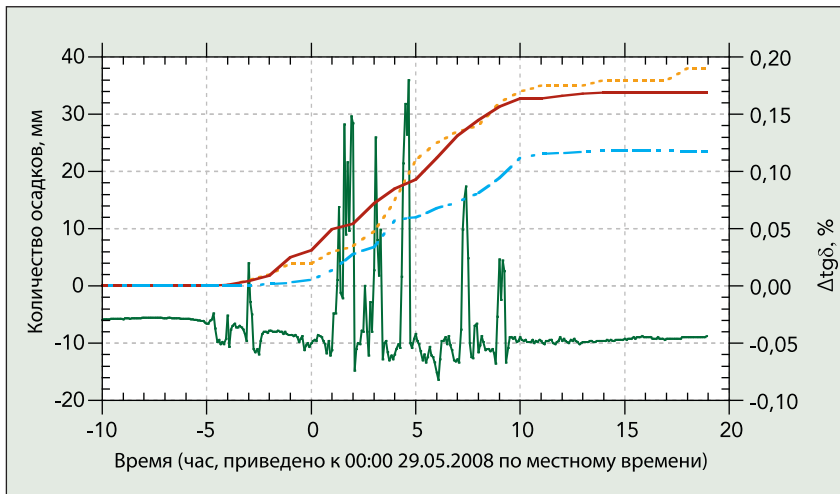
Таким образом, отсеечение внешних влияний является важным аспектом при разработке алгоритма диагностики вводов. Алгоритм отсеечения основан на временном постоянстве измерений по отношению к стандартному отклонению после нескольких успешных измерений отклонения тангенса угла диэлектрических потерь. Результат измерения считается непригодным,



Новая распределённая система измерений для вводов.

Информация о мониторинге состояния

Применение технологий мониторинга предоставляет новые возможности эксплуатации и ремонта трансформаторов. При традиционном подходе сигнал и данные мониторинга отправляются исключительно в центр управления, который сообщает их персоналу подстанции. При новом подходе в центр управления направляются только критически важные сообщения, в то время как удалённый центр обслуживания применяет алгоритмы для подготовки предупреждений. Удалённый центр мониторинга имеет всю информацию о состоянии трансформатора, необходимую для технического персонала при обнаружении неисправностей, и передаёт рекомендации по



Данные, полученные от трёх метеостанций (красная, оранжевая и синяя линии), показывают влияние дождя на измерение $\Delta tg\delta$ (зелёная линия).

если стандартное отклонение превышает пороговое значение. Пороговое значение может быть задано вручную или определено на основании статистического анализа результатов измерений, проведённых ранее.

техническому обслуживанию персоналу подстанции.

Другим важным аспектом проекта по мониторингу является обеспечение определения состояния трансформаторов, что позволит определить приоритет технического обслуживания и инвестиций. Hydro-Québec применяет матрицы рисков для оптимизации своей



КОММЕНТАРИЙ

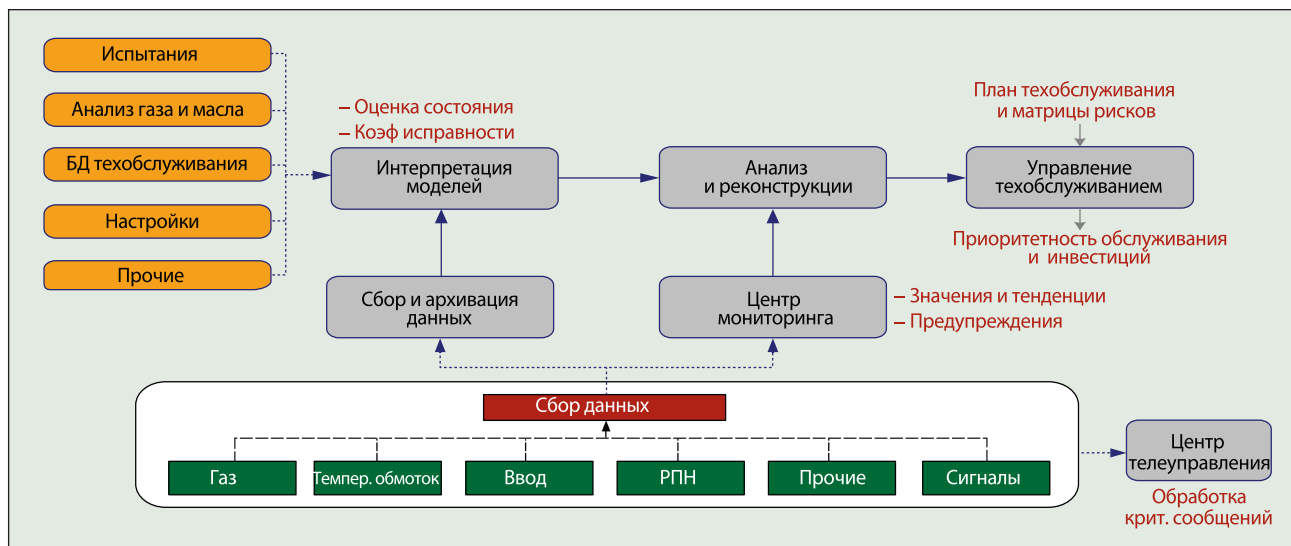
Леонид Дарьян, заместитель директора по аналитической и методологической работе ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС», д.т.н.

В статье «Мониторинг состояния трансформаторов» сотрудники Исследовательского центра (IREQ) канадской компании Hydro-Québec Патрик Пише и Клод Райо описывают опыт удалённого мониторинга и оценки технического состояния силовых трансформаторов с целью обеспечения безаварийной эксплуатации, с одной стороны, и оптимизации технического обслуживания — с другой. Стоящая перед электроэнергетической компанией задача — достаточно тривиальная для сложившейся в мировой электроэнергетике ситуации: оборудование стареет, а средств для обновления устаревшего оборудования не хватает. Стратегия компании Hydro-Québec заключается в оснащении трансформаторов, находящихся в эксплуатации 30 и более лет, системами мониторинга. По данным, приведённым авторами, основное количество отказов трансформаторов связано с отказами РПН (51%) и высоковольт-

ных вводов (14%). В связи с этим основное внимание уделяется непрерывному контролю состояния именно этих функциональных узлов трансформаторов. Интересно отметить, что контроль состояния вводов производится с применением систем GPS, что позволяет обеспечить необходимую точность и снизить стоимости измерительных систем.

Схема сбора, передачи и обработки данных о контролируемых параметрах трансформатора построена следующим образом. Вся информация поступает в режиме реального времени в два центра — Центр управления и Центр дистанционного мониторинга. Задачей Центра управления является принятие необходимых оперативных мер при возникновении проблем с трансформатором, например перераспределение нагрузок, отключение и т.д. В Центр управления направляются только наиболее важные сообщения — предупредительные или аварийные сигналы. Таким образом, Центры управления «разгружаются» от излишней информации. В Центре дистанционного мониторинга концен-

трируется вся информация о состоянии трансформаторов. В случае обнаружения повреждений или других отклонений в режиме реального времени проводится анализ ситуации и выдача рекомендаций опытных экспертов по дальнейшим действиям в рамках технического обслуживания. Таким образом, появляется возможность устранения проблем на ранней стадии их возникновения, до того как они становятся критическими и передаются в Центр управления. Решение задач в Центре дистанционного мониторинга осуществляется на базе соответствующего аналитического обеспечения, работающего в режиме реального времени. Оба Центра имеют доступ к одним и тем же исходным данным, поступающим от систем мониторинга оборудования подстанций. В заключение отметим, что создание корпоративного Центра непрерывного контроля состояния оборудования энергообъектов является актуальной для электроэнергетических компаний Российской Федерации задачей, которая позволит повысить эффективность управления активами на объектах электроэнергетики.



Маршрутизация информации для сбора, обработки и оценки состояния трансформатора.



КОММЕНТАРИЙ

Евгений Алсуфьев, заместитель исполнительного директора по развитию ООО «РАКУРС-ИНЖИНИРИНГ»

Безусловно, развитие систем мониторинга и диагностики необходимо для повышения надёжности эксплуатации силовых масляных трансформаторов. При этом

их развитие требует не только совершенствования методики и алгоритмов диагностики, но и наличия соответствующих программно-технических комплексов, способных по своим техническим характеристикам выполнять требуемые диагностические задачи постоянно в реальном времени. К таким характеристикам относятся надёжность, способность обрабатывать и хранить большие объёмы информации; в части измерения электрических параметров предъявляются особые требования по быстродействию. Компанией «Ракурс» был разработан специализированный программно-технический комплекс автоматизированной системы мониторинга и управления трансформатором ПТК «АСМУТ», обладающий всеми необходимыми характеристиками. ПТК «АСМУТ» выполнен в соответствии с действующими нормативными документами, аттестован в Федеральной сетевой компании и внесён в реестр средств измерений.

В составе комплекса реализованы все передовые общепризнанные методики диагностирования неисправностей. По мере появления соответствующих требований в состав комплекса могут включаться новые подзадачи.

К настоящему моменту в российском энергетическом комплексе «Ракурс» внедрено более 20 таких систем. Они успешно эксплуатируются на важных объектах промышленной энергетики и тепловых станциях, обеспечивая надёжную и бесперебойную работу трансформаторного оборудования.

Возможность проведения комплексной диагностики всего трансформатора на базе стандартных надёжных промышленных контроллеров, лёгкая масштабируемость системы, «бесшовная» интеграция в другие системы управления — это далеко не полный перечень преимуществ комплекса «АСМУТ». Кроме того, он позволяет контролировать и дополнительное оборудование.

активности. Для определения приоритета инвестиций и выделения ресурсов на техническое обслуживание из различных баз данных выделяется индекс состояния (индекс исправности). Данные мониторинга трансформаторов, собранные удалёнными центрами мониторинга, позволят производить обновление этой информации быстрее и в некоторых случаях точнее.

Улучшение оценки состояния

Исследовательский институт Hydro-Québec (Hydro-Québec IREQ) разработал новые технологии мониторинга устройств РПН и вводов трансформаторов, так как эти элементы являются причинами двух третей серьёзных отказов трансформаторов в сетях Hydro-Québec. Эти технологии, тщательно протестированные практически и доступные для вводов трансформаторов и устройств РПН, позволяют предотвратить серьёзные отказы путём их раннего обнаружения.

Применение этих технологий также снизит стоимость обслуживания трансформаторов и время проведения работ, так как некоторые мероприятия, требующие вывода трансформатора из эксплуатации (измерение коэффициента мощности или забор проб масла), станут не нужны. Частота проверок устройства РПН также может быть снижена благодаря применению системы онлайн мониторинга и диагностики.

Результаты диагностики, проведённой новой системой, интегрированы в информационную модель Hydro-Québec для дополнения существующих данных и улучшения общей оценки состояния трансформаторов. Новая технология обеспечит надёжную работу трансформаторов Hydro-Québec и улучшит обслуживание трансформаторов, обусловленное их состоянием.

Hydro-Québec выражает благодарность

Работа, описанная в настоящей статье, стала возможна благодаря усилиям сотрудников Hydro-Québec и Исследовательского института Hydro-Québec (Hydro-Québec IREQ) Мишеля Гавена (Michel Gauvin), Силвии Рендо (Sylvain Riendeau), Франсуа Леонарда (Francois Léonard), Луи Дюпона (Lois Dupont) и Жана Голе (Jean Goule). TDWR

Патрик Пише (Patrick Picher, picher.patrick@ireq.ca) получил степень бакалавра в Университете Шербрука, Канада (Sherbrooke University, Canada), в 1993 и степень доктора философии (Ph. D) в Политехнической школе Монреаля, Канада (École Polytechnique de Montréal, Canada), в 1997. С 1999 г. работает исследователем и менеджером проектов в Исследовательском институте Hydro-Québec (Hydro-Québec IREQ), где занимается моделированием трансформаторов, их диагностикой и мониторингом. Патрик Пише является членом многих рабочих групп CIGRÉ и IEC, в настоящее время явля-

ется секретарём исследовательского комитета CIGRÉ A2 — трансформаторы.

Клод Райо (Claude Rajotte, rajotte.claude@hydro.qc.ca) окончил Высшую техническую школу в Монреале, Канада (École de Technologie Supérieure in Montréal, Canada), и начал свою карьеру в Исследовательском институте Hydro-Québec (Hydro-Québec IREQ), где занимался исследованиями, связанными с диагностикой электрических аппаратов. В 1990 году он стал сотрудником департамента технического обслуживания Hydro-Québec, где занимается способами технического обслуживания, диагностикой аппаратов, мониторингом и системами баз данных, а также исследованиями и работками. С недавних пор Клод Райо стал заниматься спецификацией трансформаторов, разработкой проектов, оценкой оставшегося срока службы и технической поддержкой. Он является членом Общества инженеров Квебека (Ordre des Ingénieurs du Québec) и председателем исследовательского комитета CIGRÉ A2 — трансформаторы.



КОММЕНТАРИЙ

Валерий Печёнкин, директор по НИОКР ЗАО «Трансформер», к.т.н.

Предложенные технологии диагностики позволяют максимально использовать остав-

шийся ресурс трансформатора с большим сроком службы и гарантируют своевременный вывод из эксплуатации оборудования, находящегося в предаварийном состоянии.

Мониторинг трансформаторов. В качестве основного критерия состояния изоляции сетевых и генераторных трансформаторов авторы предлагают мониторинг газов в режиме онлайн. Несмотря на очевидность эффективности данного показателя, более интегрированным критерием является уровень ЧР, отражающий влияние большего числа факторов, отрицательно воздействующих на изоляцию, и напрямую связанный со сроком службы электрооборудования. В частности, выявление ошибок в конструкции и технологии уже на начальной стадии эксплуатации. Кроме того, данный параметр отражает возможную недостаточную стойкость к токам КЗ вследствие изменения геометрии активной части (АЧ): в настоящее время для большинства новых трансформаторов мощностью выше 40 МВА механическая прочность проверяется только расчётом.

Технология мониторинга устройства РПН. Предложенные

токоизмерительная/виброакустическая технологии позволяют оценить:

- надёжность крепления контактов (самоотвинчивание крепёжных гаек приводит к значительному подгоранию контактов и разрегулировке кинематических элементов);
- текущее состояние привода и вероятность выхода из строя токоограничивающих резисторов;
- степень воздействия внешней температуры (в виде поправки к общему времени переключения).

Технология мониторинга вводов. Повреждение вводов особенно опасно и связано, как правило, не только с разрушением ввода, но и значительным повреждением самого трансформатора. Контролируя такие важные параметры, как ёмкость, коэффициент мощности и тангенс угла диэлектрических потерь, авторы не учитывают основной причины — электрической пробой изоляции ввода, вызванный проникновением влаги. Предупредить перекрытие внутренней изоляции для герметичных вводов можно путём своевременного газохроматографического анализа пробы масла из вводов. Таким образом, без учёта данного фактора в технологии мониторинга состояния вводов утверждение авторов о снижении эксплуатационных затрат за счёт исключения операции забора проб масла является, мягко говоря, спорным.

В качестве альтернативы ме-

роприятию забора пробы масла можно рекомендовать тепловизионный метод контроля, не требующий вывода оборудования из работы. Функция свёртки термограммы позволяет перейти к «образу» термограммы — нормированной гистограмме распределения площади объекта по температурному диапазону. Сравнение текущей и исходной гистограмм позволяет сделать вывод о появлении аномалии в работе оборудования — скрытого дефекта с местным перегревом.

Заключение. Внедрение «умных» трансформаторов с возможностью их последующей интеграции в интеллектуальные сети является важным шагом в повышении энергоэффективности электроснабжения. В протяжении последних 5—10 лет обсуждение этой проблемы в России происходит регулярно на всевозможных семинарах самого высокого уровня, но практическим решением этой задачи занимаются отдельные специалисты или творческие коллективы в силу научного интереса или надежды на возможное использование их результатов работы в будущем. Вследствие этого известны лишь отдельные фрагменты реального внедрения удалённого мониторинга и диагностики электрооборудования. Системная работа в этом перспективном секторе энергетики с обобщением и классификацией положительных решений, к сожалению, не ведётся.

Риск равен вероятности повторения

Тщательная проработка проектов трансформаторов и подстанций может уменьшить последствия пожаров.

Арне Петерсен (Arne Petersen), AP Consulting

Существенный процент силовых трансформаторов, находящихся в эксплуатации, содержит большое количество минерального масла. Несмотря на то что вероятность взрыва невелика, её нельзя назвать незначительной. В случае взрыва ввода в кабельной муфте или внутри маслонаполненного трансформатора существует высокая вероятность тяжёлого или даже катастрофического возгорания масла, которое приведёт к потере трансформатора и других объектов, потере электроснабжения и даже к возможной гибели людей. Таким образом, вероятность утечки и возгорания масла является серьёзным риском, который следует принимать во внимание всем эксплуатирующим организациям.

Риск и его вероятность иногда применяются без различия между ними для описания вероятности пожара в трансформаторе. Как правило, так как риск равен вероятности повторения пожара, важно определить различие между риском и его вероятностью при определении мероприятий по снижению риска пожара в трансформаторе.

Чтобы уменьшить риск должны быть снижены или его вероятность, или повторяемость, но предпочтительнее снизить оба этих параметра.

Снижение вероятности пожара зависит в основном от мер, принятых при проектировании трансформатора, в то время как снижение повторяемости зависит от мер, разработанных при проектировании подстанции и противопожарной системы.

Вероятность отказа

Оценка вероятности отказа существенно отличается у разных эксплуатирующих организаций. Она зависит от качества проекта и изготовления трансформатора, политики закупок и способа эксплуатации, а также технического обслуживания. Тип трансформатора тоже является фактором оценки вероятности отказа. Так, вероятность выше для автотрансформаторов и генераторных трансформаторов и ниже для двухобмоточных трансформаторов, установленных в распределительных сетях с номинальным напряжением от 11 до 300 кВ. Статистика показывает, что вероятность отказа возрастает для трансформаторов с номинальным напряжением выше 300 кВ, а повторяемость отказов выше для энергосистем с высоким уровнем токов короткого замыкания.

Данные по вероятностям пожаров в трансформаторах ограничены, однако значительно больше информации представлено по отказам трансформаторов. Вероятность отказа трансформатора существенно отличается для различных типов трансформаторов и эксплуатирующих организаций, однако вероятность серьёзного отказа, как правило, лежит в пределах от 0,5 до 2,5% на один год эксплуатации трансформатора, при этом средняя вероятность серьёзного отказа трансформатора лежит в пределах от 0,9 до 1% на один год эксплуатации.

Средняя вероятность серьёзного пожара в трансформаторе имеет порядок от 0,06 до 0,1% на один год эксплуатации или один



Отказ ввода с бумажно-масляной изоляцией на реакторе 400 кВ мощностью 100 МВАр привёл к пожару в реакторе.

Статистика пожаров в трансформаторах в Канаде за период 1965—1985 гг.

Класс напряжения, кВ	Количество взрывов	Количество утечек масла	Количество пожаров
735	15	9	8
315	3	2	1
230	2	1	1
161	2	0	0
120	5	3	3
Всего	27	15	13

пожар в трансформаторе в течение времени эксплуатации трансформатора от 1000 до 1500 лет. Практически это означает, что можно ожидать, что от 2,4 до 4% всех трансформаторов загорятся при сроке эксплуатации равном 40 лет. Несмотря на то что вероятность пожара в трансформаторе относительно невелика, этот риск нельзя считать ничтожным, и, определённо, эта вероятность слишком высока для того, чтобы не применять каких-либо мер для большинства трансформаторов.

Статистика показывает, что географическое положение, температура и частота гроз оказывают влияние на пожары в трансформаторах. Например, первое поколение трансформаторов с номинальным напряжением 735 кВ, установленных в Канаде, имело высокую вероятность пожаров и отказов. Те же проблемы наблюдались в Южной Африке (Eskom) и Малайзии.

Типичный сценарий пожара в трансформаторе

Пожары в трансформаторах преимущественно являются следствием возгорания масла, а основная их причина — разрывы бака трансформатора. Как обычно, эта оценка является ошибочной, в особенности для трансформаторов с номинальным напряжением ниже 300 кВ, для которых отказы вводов с бумажно-масляной изоляцией и кабельных муфт с воздушной или масляной изоляцией являются причиной от 70 до 80% пожаров в трансформаторах, а отказы устройства РПН — от 10 до 15% пожаров в трансформаторах.

Причинами остальных 15% пожаров в трансформаторах являются прочие факторы. Разрывы бака трансформаторов редки для уровней напряжения ниже 245 кВ, так как энергия дуги для этих классов трансформаторов часто ниже уровня, необходимого для разрыва бака трансформатора.

Пожары во вводах с бумажно-масляной изоляцией

Взрывы вводов с бумажно-масляной изоляцией являются наиболее распространённой причиной пожаров в трансформаторах. Многие вводы с бумажно-масляной изоляцией присоединены через уплотнительные кольца к металлическим поверхностям, и прижимное усилие создаётся преднапряжённой центральной трубой. Изоляция вводов испытывает высокое механическое напряжение, также имеется изначально присущий риск возникновения пожара в конструкции с центральной трубой.



Отказ нижней секции этого ввода с бумажно-масляной изоляцией привёл к разрыву бака реактора и пожару.

При возникновении дуги внутри ввода с бумажно-масляной изоляцией часто происходит взрыв ввода, возникновение дуги в воздухе, утечка масла и его возгорание. Во вводах с полимерной изоляцией такого не происходит.

Отказы в кабельных вводах

Отказы в кабельных присоединениях с муфтами с воздушной или масляной изоляцией так же являются причиной существенного количества пожаров в трансформаторах. Типичным сценарием для кабельной муфты с масляной изоляцией является возникновение дуги внутри или на кабельном вводе. В результате возникновения дуги растёт давление, кабельная муфта взрывается, при этом происходит возгорание масла внутри муфты или масла, вытекающего из неё, которое подпитывается маслом из бака расширителя или бака трансформатора.

Общий сценарий отказа для кабельных присоединений в кабельных муфтах с воздушной изоляцией и номинальным напряжением от 11 до 33 кВ отличается от предыдущего, однако результатом его часто также является возгорание трансформаторного масла.

Механические усилия от взрывного роста давления и токов короткого замыкания, воздействующие на кабели, часто вызывают разломы вводов, через которые вытекает масло, возгорающееся под воздействием дуги.

Разрывы бака

Разрывы бака в основном происходят у трансформаторов с высоким номинальным напряжением (выше 300 кВ). При этом интересно отметить, что межвитковые замыкания редко приводят к разрывам бака. Основной причиной является перекрытие изоляции между вводами высокого напряжения и баком (или основанием ввода), или между нижней частью ввода и баком (или основанием ввода).

Причиной разрыва является тот факт, что энергия дуги при межвитковых и витковых коротких замыканиях значительно меньше, чем энергия дуги при замыканиях между высоковольтным вводом и баком или между высоковольтным вводом и основанием ввода. Ток замыкания между витками, как правило, ниже из-за сопротивления обмотки, а также потому, что давление частично

ПОЖАРЫ в Трансформаторах



Пожар в трансформаторе 100 МВА в результате отказа кабельного присоединения 11 кВ.

ограничивается обмоткой. Тем не менее разрывы бака требуют серьёзного внимания, так как при этом происходит выброс большого количества масла и быстрое усиление пожара.

Внутреннее короткое замыкание и разрывы бака

Принципиально рассчитать энергию дуги несложно, так как она является произведением тока, напряжения и времени горения дуги. Ток и время воздействия дуги часто известны, но напряжение между концами дуги — нет. В отсутствие этого параметра оно может быть принято равным от 10 до 15 В/мм. Расчёт давления на бак, возникающего при воздействии дуги, для определения стойкости бака и точки его разрыва, а также эффективности сброса давления, является комплексным исследованием, которое в идеальном случае должно проводиться изготовителем на этапе разработки, однако проводится редко.

Снижение риска пожара в трансформаторе

При возникновении пожара в трансформаторе в результате его отказа практически всегда происходит необратимый выход трансформатора из строя. Таким образом, эксплуатирующая организация должна разработать план мероприятий, включающий в себя:

- минимизацию вероятности возникновения пожара;
- защиту прочего оборудования подстанции от возможного пожара в трансформаторе;
- обеспечение энергоснабжения во время пожара или, если это невозможно, восстановление электроснабжения после пожара настолько это возможно быстро;
- предотвращение загрязнения и заражения окружающей среды.

Треугольник пожара представляет собой наглядное изображение того, что необходимо для возникновения и поддержания пожара и, следовательно, того, что необходимо для предотвращения или тушения пожара. Если любой из трёх элементов — топливо, температура или кислород — удалён или отсутствует, пожара не произойдёт.

Снижение риска пожара в трансформаторе требует многоступенчатого подхода. Первая ступень — минимизация вероятности того, что отказ трансформатора приведёт к пожару. Дублированная система защиты и быстрое отключение выключателей минимизирует время горения дуги и снижает риск разрыва бака.

Следующая ступень — определение и выбор компонентов трансформатора высокого качества с низким риском возникновения пожара. Следующие рекомендации обеспечивают максимальное снижение риска для каждого устройства:

- использование высоковольтных вводов с полимерной изоляцией предпочтительнее использования вводов с бумажно-масляной изоляцией;
- исключение использования кабельных муфт. Если это невозможно, следует использовать муфты с устройством для сброса давления, аналогичным устройству сброса давления КРУ, или втычные кабельные соединения.

Ещё одной доступной на сегодняшний день возможностью является использование негорючих жидкостей. Например, жидкости на основе сложных эфиров всё чаще применяются для трансформаторов с номинальным напряжением до 132 кВ и в редких случаях для трансформаторов с более высоким номинальным напряжением. Тем не менее процент средних и больших трансформаторов, использующих такие жидкости, по-прежнему очень низок, а в эксплуатации находятся



При отказе кабельного ввода 11 кВ произошёл разрыв соединительной пластины и разлом ввода; разлившееся масло загорелось, произошёл серьёзный пожар.

ПОЖАРЫ в Трансформаторах



Отказ ввода с бумажно-масляной изоляцией привёл к возгоранию трансформатора 80 МВА. К счастью, пожар был локализован внутри шумозащитного экрана.

лишь немногие трансформаторы с номинальным напряжением ниже 132 кВ. Трансформаторы с сухой и элегазовой изоляцией теоретически не взрывоопасны и практически не подвержены возгоранию. При этом элегаз (SF₆) обладает высоким парниковым потенциалом, поэтому его применение весьма ограничено и редко в Европе и США.

Улучшенная конструкция бака и различные варианты устройства сброса давления могут снизить риск его разрыва, если дуга возникает вблизи устройства сброса давления, где под её воздействием образуется большое количество газа. Следует учесть, что устройства сброса давления должны быть напряжены, так как в случае возникновения дуги на расстоянии более 1 м от

ЭНИП-2

Многофункциональные
измерительные
преобразователи

www.enip2.ru
8 (812) 65-75-65



**ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР
ЭНЕРГОСЕРВИС**

МЭК 61850

С положительным результатом на соответствие IEC 61850 испытаны следующие блоки соответствия:

- Basic Exchange (22/24)
- Data Sets (6/6)
- Data Set Definition (24/24)
- Unbuffered Reporting (9/19)
- Buffered Reporting (7/21)
- GOOSE Publish (13/13)
- GOOSE Subscribe (23/30)
- Direct Control (5/12)
- Enhanced SBO Control (9/19)

РАЗРАБОТАНО И СДЕЛАНО В РОССИИ

ПОЖАРЫ в Трансформаторах



Для возникновения и поддержания пожара необходимы три главных элемента в соответствующих пропорциях — тепло, топливо и кислород.

Пожар не может произойти в отсутствие кислорода, топлива или тепла.

При удалении одного из элементов пожар либо не произойдет, либо погаснет, если уже начался.

генераторных трансформаторов там, где имеется надёжная и соответствующая по мощности система водоснабжения.

Стандартные меры обеспечения безопасности

Некоторые стандартные меры по обеспечению безопасности относятся ко всем подстанциям и должны быть учтены на этапе проектирования.

1. Обеспечение досту-

па к месту установки трансформатора несколькими путями.

2. Излучаемое или переносимое ветром тепло не должно стать причиной пожаров на другом оборудовании подстанции.

3. Пожарная бригада должна иметь доступ к воде, пене или иным средствам тушения пожара. Вода эффективна для понижения температуры и предотвращения попадания пожарной пены на соседнее оборудование, но совершенно неэффективна для тушения возгорания трансформаторного масла, особенно если горящее масло течёт по вертикальной поверхности.

4. Следует предотвратить растекание масла за пределы подстанции во время пожара. Растекание масла не должно приводить к несчастным случаям. Причиной растекания масла является, как правило, небрежность. На сегодняшний день регулирующие организации во многих странах применяют большие штрафы, если масло растеклось за границы подстанции. Таким образом, системы сбора масла в настоящее время становятся стандартным элементом на большинстве подстанций. Система сбора масла должна быть спроектирована таким образом, чтобы принять всё масло из самого большого трансформатора на подстанции. В Австралии широко применяются большие баки для разделения масла и воды, расположенные под землёй. Разделения масла и воды в этих баках происходит таким образом, чтобы в воде осталось не более 10 миллионных долей масла. Одна из канадских компаний применяет систему, состоящую из прокладок и мембран, приспособленную для использования в холодном климате, которая пропускает воду и задерживает масло.

5. Масло, вытекающее из горящего трансформатора, не должно течь по кабельным каналам и лоткам. Рекомендуется применять разделение кабелей и противопожарные перегородки.

6. Оценка потерь в результате пожара в трансформаторе подтверждает возможность вероятностного планирования. Исследование крупной страховой компанией ста страховых случаев показывает, что средние потери в результате пожара в трансформаторе составляют 77 млн долл. в сравнении с 4 млн долл. в тех случаях, когда было проведено необходимое планирование.

Эффект от планирования

Данный обзор пожаров в трансформаторах и их причин показывает необходимость планирования для эксплуатирующих организаций в целях снижения потерь. Имеются данные от страховых компаний о том, что планирование может существенно снизить тяжесть последствий и финансовые потери, возникающие в результате пожаров в трансформаторах. TDWR

устройства сброса давления, где предметом сброса в основном является масло, устройства сброса давления или разрывные мембраны не могут предотвратить разрыв бака при возникновении дуги с высокой энергией внутри бака.

Единственной страной, где действует руководящий документ по проектированию баков трансформаторов, способных выдержать воздействие дуги на протяжении времени, достаточном для срабатывания системы защиты и отключения короткого замыкания, является Япония. Комбинация усиленного исполнения бака трансформатора и применения устройств сброса давления доказала свою эффективность в части снижения риска разрыва бака и, следовательно, пожара в трансформаторе.

Защита оборудования подстанции

Решения по расположению и установке оборудования подстанции должны быть приняты на этапе проектирования. Для этого надо разработать мероприятия по эксплуатации и на случай опасности, а также провести анализ аварийных режимов и их последствий.

Часто бывает полезно разделить подстанции на типы, для которых применяются специальные стандарты по управлению рисками.

- Для открытых распределительных устройств, где стоимость земли невелика, разделение пространства подстанции часто является наиболее экономически выгодным способом снижения риска пожара.
- Для открытых распределительных устройств компактного типа, где стоимость земли выше, в общем случае применяются противопожарные перегородки из армированного бетона, шумозащитные экраны или дождевальные системы пожаротушения.
- Для подстанций, расположенных под землей или в черте города в зданиях, как правило, применяются специфические меры предотвращения пожаров и методы определения последствий пожаров. В целях предотвращения пожаров на подстанциях, расположенных в черте города, как правило, применяются трансформаторы с элегазовой изоляцией или с изоляцией из негорючих жидкостей. При малой мощности в качестве меры по снижению риска возникновения пожара возможно применение трансформаторов с сухой изоляцией или с изоляцией из жидкости, имеющей высокую температуру вспышки (риск пожара невелик). Сухие трансформаторы и трансформаторы с элегазовой изоляцией теоретически не подвержены риску возникновения пожара.
- Дождевальные системы пожаротушения могут быть эффективной защитой для оборудования подстанции от пожара и часто применяются для блочных и



Будущее уже сегодня Новые контакторы серии AF



Новое поколение контакторов компании АББ представляет собой единую серию устройств для управления электродвигателями и распределения электрической энергии от 9 до 2650 А. Инженеры АББ разработали принципиально новое техническое решение, которое теперь доступно в новых контакторах серии AF. Интеллектуальная электромагнитная система с электронным управлением, новые материалы и исключительная эффективность – все это является особенностями новых контакторов компании АББ. Применение контакторов серии AF позволяет сократить потребление электроэнергии до 80%, уменьшить габариты до 30%, сократить тепловые потери и увеличить надежность в самых сложных условиях эксплуатации и различных областях применения. www.abb.ru/lowvoltage

ООО «АББ», подразделение
«Низковольтное оборудование»
117997, Москва,
ул. Обручева, 30/1, стр. 2
Тел.: +7 (495) 777 2220
Факс: +7 (495) 777 2221
www.abb.ru/lowvoltage

Power and productivity
for a better world™ **ABB**



**ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ
СТЕКЛЯННЫЙ ИЗОЛЯТОР
ШС-20УО**