

Диагностические измерения и статистический анализ

Надежное прогнозирование остаточного срока службы кабелей среднего напряжения

С помощью единого технологического процесса, охватывающего все этапы от диагностики кабелей до их оценки, компания Baur GmbH предлагает управляющим ресурсами предприятий решение, с помощью которого они могут диагностировать состояние кабелей среднего напряжения. Недавно это комплексное решение было дополнено функцией статистического прогноза остаточного срока службы кабелей. Знание оставшегося срока службы позволяет более точно планировать затраты на замену и зачастую позволяет отложить их на несколько лет.

Для менеджеров, управляющих ресурсами предприятий, становится все труднее поддерживать работоспособность распределительных сетей на основании выделенного для этого бюджета. Многие кабели среднего напряжения были проложены несколько десятилетий назад и в настоящее время находятся на такой стадии старения, когда вероятность отказов повышается. Кроме того, появилась и другая, зачастую более высокая, нагрузка на сеть, связанная с интенсификацией ее использования, вызванной повышенным потреблением или децентрализованной подачей электроэнергии.

Техническое обслуживание, ориентированное на фактическое состояние, а не на заданные интервалы замены

При таких условиях экономичное обеспе-

чение высокой эксплуатационной готовности и незначительного количества отказов сетей среднего напряжения возможно только на основании оценки состояния кабеля. Это позволяет планировать затраты на ремонт и замену не в соответствии с возрастом (рис. 1), а на основании фактической степени старения (рис. 2). В противном случае кабели, которые стареют быстрее, чем ожидалось, приведут к отказам в работе сети, а замена исправных кабелей будет выполняться раньше, чем это необходимо, и в обоих случаях возникнет неблагоприятное соотношение затрат и получаемых результатов.

Для оценки состояния кабелей среднего напряжения существует два метода диагностики: измерение частичных разрядов и измерение коэффициента диэлектрических потерь (также называемое измерени-

ем тангенса дельта/ТД). Измерение частичных разрядов — это локальный процесс. С его помощью можно, например, обнаружить дефекты кабельной арматуры или локальные частичные разряды в поврежденной полимерной или пропитанной бумажной изоляции. Наряду со значениями частичных разрядов это измерение также позволяет определить расстояние до места повреждения, упрощая тем самым определение местоположения зон, подлежащих наблюдению или ремонту.

Коэффициент диэлектрических потерь является основанием для определения фактической степени старения.

Измерение коэффициента диэлектрических потерь, оценка которого будет подробно рассмотрена ниже, является неразрушающим методом анализа состояния

кабельного участка по всей измеренной длине. Оно позволяет обнаружить водные триинги (повреждения полимерной кабельной изоляции в результате воздействия воды), неисправные места в изоляции кабелей с пропитанной бумажной изоляцией, а также влагу в кабельной арматуре и возможные частичные разряды. Поскольку с увеличением количества водных триингов коэффициент диэлектрических потерь также увеличивается, его значение указывает на качество изоляционных свойств. Так, у новых кабелей коэффициент диэлектрических потерь близок к нулю, а по мере их старения его значение возрастает по причине вышеуказанного воздействия влаги на полимерную изоляцию.

Выводы о состоянии кабеля можно сделать уже во время измерения коэффициента диэлектрических потерь. С помощью программного обеспечения Baur 4.0 можно использовать стандартизированные или самостоятельно заданные диагностические последовательности и осуществлять первую оценку уже в процессе измерительных циклов. Единообразные циклы измерения и сопоставимость результатов позволяют управляющим ресурсами предприятия объективно оценить состояние кабельной сети. Это предоставляет им хорошее обоснование для планирования мероприятий по техническому обслуживанию.

Статистический прогноз остаточного срока службы

Новое автономное программное обеспечение Statex позволяет выполнить более глубокую оценку результатов измерения, прежде всего для кабелей с полимерной изоляцией (рис. 3). ПО Statex распространяется исключительно компанией Baur и является совместной разработкой с компанией Korea Electric Power Corporation (Керсо). В Южной Корее эта компания эксплуатирует электросеть, которая включает в себя 41000 км подземного кабеля ($U_0 = 13,2$ кВ). Для того чтобы сделать обслуживание сети как можно более рентабельным, десять лет назад специалисты компании Керсо тщательно изучили все вопросы диагностики кабелей и сравнили наиболее популярные методы, используемые в то время. После такого сравнительного анализа было выбрано измерение частичного разряда и коэффициента диэлектрических потерь с помощью источников синусоидального напряжения СНЧ (сверхнизкой частоты). Затем совместно с корейским университетом Мокпо компания Керсо разработала метод и программное обеспечение для прогнозирования остаточного срока службы. Компании Baur и Керсо разработали для этого специальное программное обеспечение, которое теперь предлагается под наименованием Statex. Оно было использовано со значительными измерениями, выполненными на многих кабелях с полимерной изоляцией. На

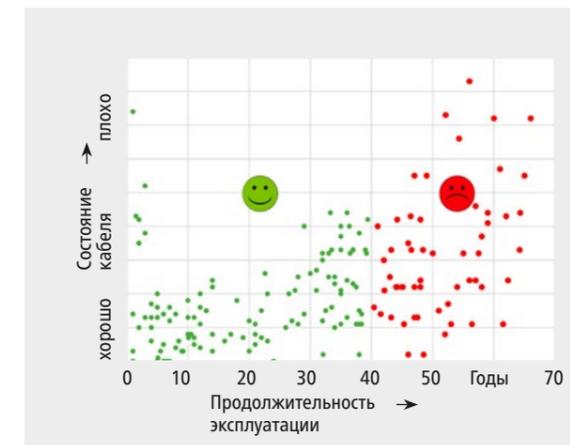


Рис. 1. Стратегия вывода КЛ из эксплуатации, основанная на возрасте КЛ, приведёт к замене многих кабелей, которые еще являются исправными (показаны в нижней правой части диаграммы).

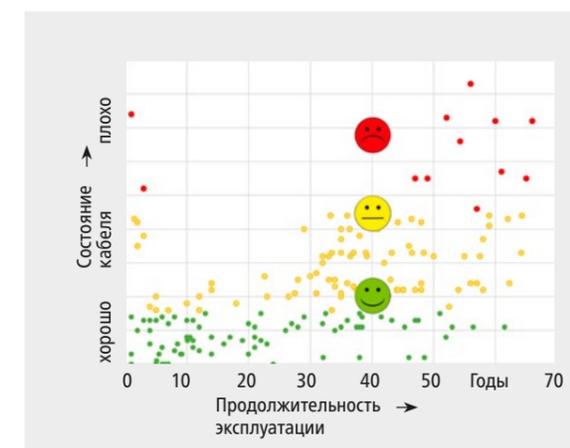


Рис. 2. При ориентированном на фактическое состояние техническом обслуживании сети, основанном на диагностических измерениях, можно продолжать использовать старые неповрежденные кабели. В то же самое время такое техобслуживание позволяет выявлять и своевременно заменять более новые кабели, находящиеся в плохом состоянии. Это позволяет существенно снизить расходы и повысить эксплуатационную готовность сети.



Рис. 3. Новое программное обеспечение Statex предоставляет прогноз оставшегося срока службы кабелей среднего напряжения на основе значений измерения коэффициента диэлектрических потерь.

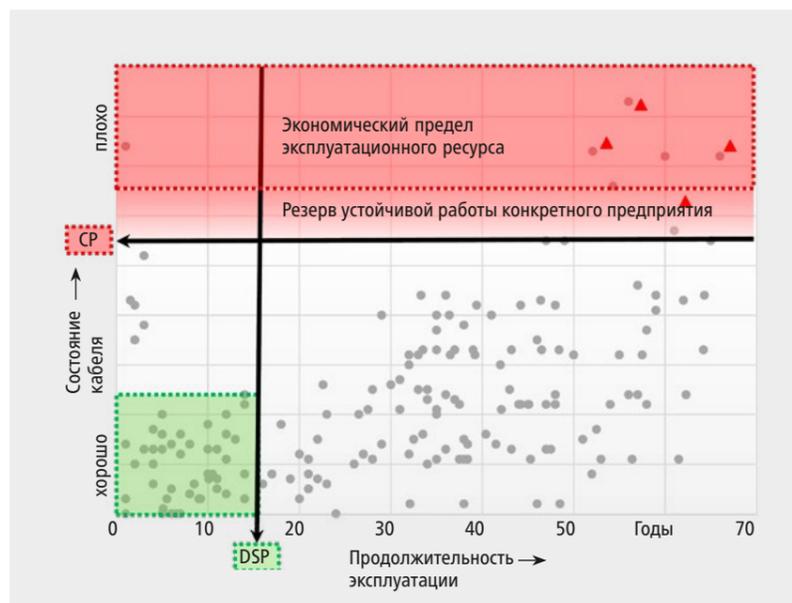


Рис. 4. Как правило, процесс старения СПЭ-кабелей начинается только по прошествии более десяти лет, когда антиоксиданты в его изоляции перестают выделяться и образуются первые водные триинги.

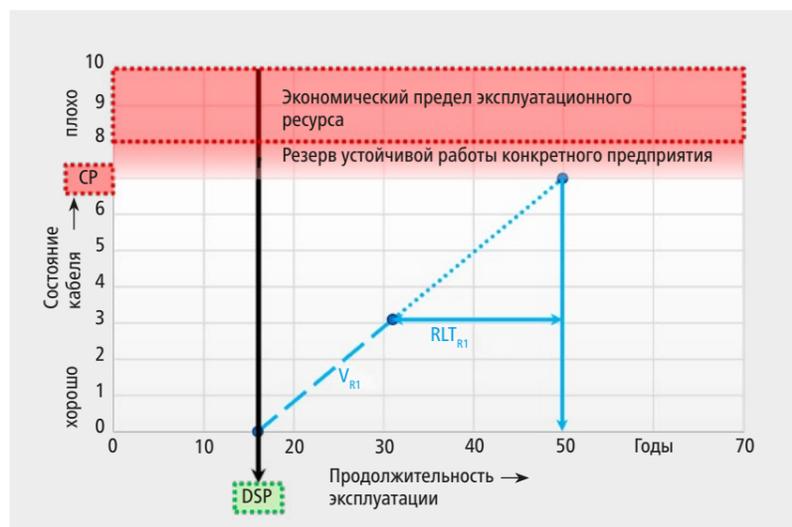


Рис. 5. На основании измеренных значений тангенса дельта программное обеспечение Statex может рассчитать коэффициент старения изоляции и спрогнозировать остаточный срок службы кабеля.

сегодняшний день в расчёте алгоритма оценки используется более 90 000 результатов измерений.

Вычисление коэффициента старения изоляции на основании измеренных значений

Для расчета остаточного срока службы СПЭ-кабеля существенную роль играют три аспекта:

- момент начала старения кабеля;
- скорость старения;
- состояние, после которого кабель

следует классифицировать как критический.

Чтобы узнать, когда начинается процесс старения полимерной изоляции (рис. 4), научно-исследовательский институт компании КЕРСО выполнил ряд анализов. Для кабелей компании Керсо момент начала старения DSP (degradation starting point) в среднем наступает по истечении 13 лет.

Коэффициент старения изоляции измеренного кабеля рассчитывается следующим образом:

$$R = \sqrt{(TD_{norm}^2 + DTD_{norm}^2 + TD_{skirt}^2)}$$

При этом TD_{norm} представляет собой значение тангенса дельта $\tan \delta$, а DTD_{norm} — отклонение (дельта) тангенса дельта $\tan \delta$. TD_{skirt} показывает, насколько стабилен коэффициент диэлектрических потерь в течение нескольких измерений в рамках одного цикла, поскольку это также может являться признаком кабелей с потерями в изоляции. Например, постоянное повышение или снижение значения $\tan \delta$ или его колебания в рамках одного шага напряжения могут указывать на определенную степень старения.

Для определения TD_{skirt} проводится виртуальная линия между самым большим и самым маленьким значением $\tan \delta$ по результатам восьми измерений. При этом линейный (повышающийся) график значений измерений указывает на изменение диэлектрических потерь изоляции кабеля; понижающийся (или нелинейный) график, напротив, как правило указывает на влажность или электрические разряды в одной или нескольких кабельных арматурах.

Определение остаточного срока службы с помощью лишь одного измерения тангенса дельта

Коэффициент старения изоляции R можно рассчитать уже на основании результатов измерения коэффициента диэлектрических потерь (рис. 5). При выполнении повторных измерений на одном и том же кабеле статистическое ПО учитывает новые результаты и делает прогноз более точным (рис. 6). На основании коэффициента старения изоляции и фактического возраста за вычетом DSP можно рассчитать скорость старения и, таким образом, период времени до достижения критической точки. Пользователи могут самостоятельно ввести критическую точку для каждого типа кабеля в Мастере настроек Life Time Wizard программного обеспечения и, таким образом, добавить собственный запас безаварийной работы. Можно также самостоятельно ввести момент начала старения DSP. Наряду с ожидаемым остаточным сроком службы ПО также выдает рекомендации о том, когда должна быть проведена следующая диагностика кабеля или когда следует запланировать его ремонт или замену.

Кроме того, ПО Statex предоставляет трехмерное отображение измеренных значений для одного или нескольких объединенных кабелей (рис. 7). На этом трехмерном изображении пользователи могут отобразить свои собственные измеренные значения или результаты компании КЕРСО, сохраненные в ПО Statex, чтобы сравнить друг с другом кабели в различном состоянии.

Надежные прогнозы остаточного срока службы

В компании КЕРСО ПО Statex используется уже в течение нескольких лет. Оно помогло сдвинуть на более поздний период значительное количество инвестиций, поскольку состояние измеренных кабелей оказалось в среднем лучше, чем это можно было бы предположить на основании их возраста. На измеренных старых кабелях количество повреждений на километр было даже меньше, чем на кабелях, еще не достигших момента начала старения DSP (здесь: 13 лет). Если бы компания КЕРСО планировала затраты на замену на основании измерения коэффициента диэлектрических потерь и его оценки согласно стандарту IEEE 400.2, то из 15.000 км измеренного кабеля в замене нуждались бы 255 км. С помощью ПО Statex, однако, удалось рассчитать, что в срочной замене нуждаются лишь 54 км кабеля. При сопоставлении с критериями IEEE остаточный срок службы увеличился в среднем на одиннадцать лет.

Различные версии программного обеспечения

Для клиентов ПО Statex компании Baur — это эксклюзивный инструмент для прогнозирования остаточного срока службы. Программное обеспечение Statex предлагается с различными моделями лицензирования:

- Версия Statex Core позволяет осуществлять обслуживание и мониторинг базы данных кабелей, а также управление данными кабелей. Кроме того, версия Core позволяет рассчитать коэффициент старения изоляции R , выполнить анализ состояния, создавать трехмерное графическое изображение и составлять отчеты.
- В дополнение к этому версия Statex Pro имеет функцию определения статистического остаточного срока службы. Версия Pro включает в себя Мастер настроек Life Time Wizard, в котором пользователи могут ввести индивидуальный DSP (момент начала старения) и Critical Point (момент достижения критического состояния) на основании своего собственного опыта. Клиентам, приобретающим лицензию на данное программное обеспечение, предоставляется двухдневный ознакомительный курс обучения на месте и дополнительный двухдневный курс для углубления знаний. Дополнительная лицензия открывает доступ к банку данных ПО Statex Pro для других сотрудников. Однако конфигурировать Мастер настроек Life Time Wizard может только один пользователь, что гарантирует определенную целостность данных.

ПО Statex предоставляет информацию и рекомендации для управляющих ресурсами предприятий

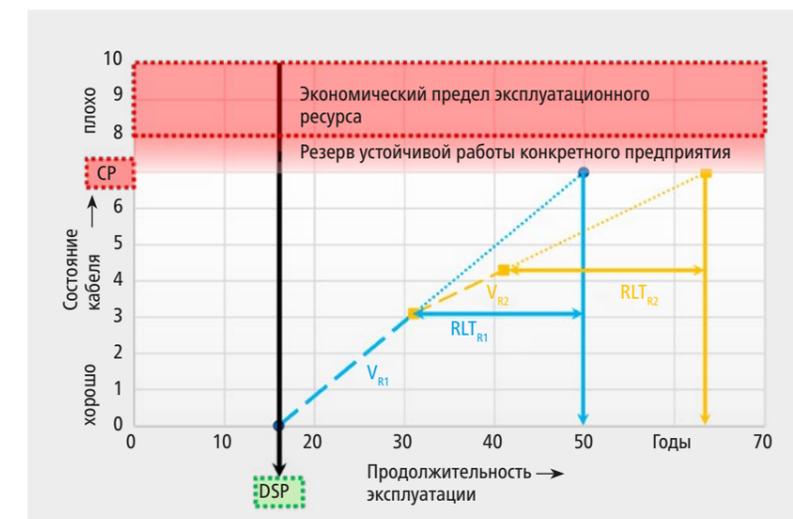


Рис. 6. При выполнении повторных измерений программа Statex заново рассчитывает остаточный срок службы.

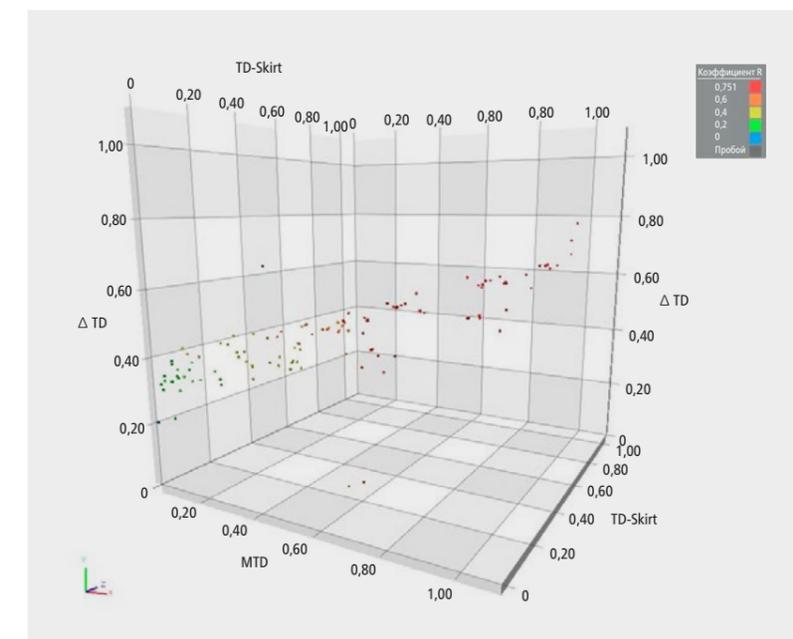


Рис. 7. Отображение коэффициента старения изоляции R (см. пояснение) для всех измеренных фаз в виде трехмерного графика. Каждая точка соответствует состоянию измеренной фазы.

Благодаря комбинации технологий измерения напряжением СНЧ, программного обеспечения Baur для проведения измерений и мгновенной интерпретации полученных значений, а также программного обеспечения Statex для статистического прогнозирования остаточного срока службы кабелей менеджеры, управляющие ресурсами предприятий, получают инструменты для более рентабельного обслуживания распределительной сети. В результате использования ПО Statex кабели среднего напряжения могут эксплуатироваться в среднем на несколько лет

дольше, чем если бы срок их службы определялся по абсолютному возрасту, по оценке состояния кабеля согласно критериям IEEE или по классификации на основании значений тангенса дельта.

- >> Мартин Йенни (Martin Jenny), руководитель отдела менеджмента продукции, Baur GmbH, Зульц/Австрия
- >> headoffice@baur.at
- >> www.baur.at