



Лекция № 4

АС МПКЭ



АКТУАЛЬНОСТЬ

Спрос на электроэнергию гарантированного качества имеет несколько фундаментальных причин:

- электроэнергия стала рассматриваться как товар, для которого гарантированное качество создает стимул и для покупателя, и для продавца. Поставщики энергии в ближайшем будущем будут способны дифференцировать предложения по цене энергии в зависимости от уровня ее качества;
- большое количество электроэнергии можно сэкономить, если постоянно следить за ее качеством;
- возросшее внимание к качеству электроэнергии состоит в отмене госконтроля на рынке электроэнергии во многих странах мира.



Значение контроля качества ЭЭ

Качество электроэнергии — одно из ключевых понятий в электроснабжении. Снижение показателей качества электроэнергии (ПКЭ) приводит к следующим последствиям:

- увеличение потерь энергии в сетях;
- перегрев электродвигателей и вращающихся машин, приводящий к ускоренному старению изоляции и возможной аварийности в результате однофазных КЗ и их перехода в многофазные замыкания;
- увеличение потребления ЭЭ и требуемой мощности оборудования;
- сбои и ложные срабатывания автоматики и устройств релейной защиты;
- сбои управляющей электроники, вычислительной техники и т.д.;
- появление помех теле- и радиооборудовании, сбои рентгеновского оборудования;
- некорректная работа электросчетчиков.



Показатели качества ЭЭ

Качество электроэнергии характеризуется показателями различного типа. Одна часть ПКЭ характеризует помехи, связанные с особенностями технологии генерации, передачи, распределения и потребления энергии. К таким ПКЭ относят отклонения напряжения и частоты, несимметрию и колебания напряжения, отклонения от синусоидальной формы кривой напряжения.

Другой тип показателей характеризует кратковременные помехи, которые возникают в результате коммутационных процессов, атмосферных и грозových явлений, работы защитного оборудования и автоматики, а также послеаварийных режимов. К числу этих ПКЭ относят провалы, импульсы напряжения, кратковременные перерывы электроснабжения.

ГОСТ устанавливает допустимые численные значения для ПКЭ первой группы. ПКЭ второй группы не нормируются.



Действующие нормативные документы

1. **ГОСТ 32144-2013** «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»
2. **ГОСТ 33073-2014** «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»
3. **ГОСТ 30804.4.30-2013** «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии»
4. **ГОСТ 30804.4.7-2013** «Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств»



Анализ показателей качества ЭЭ

Анализ качества электроэнергии осуществляется путем измерения ПКЭ и соотнесение их с допустимыми значениями. Для этих целей используются системы мониторинга управления качеством электроэнергии. Основными элементами таких систем являются анализаторы качества электроэнергии.

Система контроля качества электроэнергии осуществляет измерение нормируемых ПКЭ, обрабатывает результаты измерений, накапливает и систематизирует данные. Также обеспечивается формирование отчетов и предоставление аналитической информации, на основе которых разрабатываются мероприятия по повышению качества электроэнергии.

Перечень измеряемых ПКЭ согласно ГОСТ 32144 в СМКЭ с указанием методов измерений

| Наименование ПКЭ, электрической величины ГОСТ 32144 | Метод измерения | Класс ¹⁾ измерения (A, S) или точности СИ (I, II) |
|--|--|--|
| 1. Отклонение частоты | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.1 | A (S) |
| 2. Отрицательное/положительное отклонения напряжения | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.12. Интервал объединения 10 мин | A (S) |
| 3. Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.8; ГОСТ 30804.4.7, подраздел 3.2. Интервал объединения 10 мин | A (S) I (II) |

Перечень измеряемых ПКЭ согласно ГОСТ 32144 в СМКЭ с указанием методов измерений

| | | |
|--|--|---------------------------------|
| 4. Кратковременная доза фликера | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.3. ГОСТ 30804.4.30, подраздел 4.15. Интервал объединения 10 мин | A (S) Тип прибора F1 (F3) |
| 5. Длительная доза фликера | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 4.15. Интервал объединения 2 час | Тип прибора F1 (F3) |
| 6. Коэффициенты гармонических составляющих, не менее 40 | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.8. ГОСТ 30804.4.7, раздел 5. Интервал объединения 10 мин | A (S) I (II) |
| 7. Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.7. Интервал объединения 10 мин | A (S) |

Перечень измеряемых ПКЭ согласно ГОСТ 32144 в СМКЭ с указанием методов измерений

| | | |
|---|---|--------|
| 8. Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.7. Интервал объединения 10 мин | A (S) |
| 9. Коэффициенты интергармонических составляющих напряжения | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.9; ГОСТ 30804.4.7, приложение А | I (II) |
| 10. Глубина и длительность провала напряжения | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.4 | A (S) |
| 11. Максимальное значение/коэффициент и длительность перенапряжения | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.4 | A (S) |
| 12. Длительность прерывания напряжения: | ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.5 | A (S) |

¹⁾ В зависимости от требований к СМКЭ.

Примечание – Допускается использовать и другие характеристики для анализа КЭ [3].



В соответствии с ГОСТ 30804.4.30 измеряются текущие параметры качества электрической энергии

- фазные/междуфазные напряжения (среднеквадратичные значения);
- силы фазных токов (среднеквадратичные значения);
- гармоники напряжений и токов;
- активная, реактивная и полная мощности для каждой фазы и суммарные;
- коэффициенты мощности;
- суммарные коэффициенты гармонических составляющих напряжений и токов;
- коэффициенты несимметрии по обратной и нулевой последовательности.



Общие положения

1. Применение СМКЭ является эффективным инструментом качественного электроснабжения населения и промышленности страны.

2. Назначением СМКЭ являются:

- непрерывный автоматизированный сбор и обработка данных, анализ и формирование отчетности по нарушениям КЭ с учетом требований п. 7.1.5.;
- создание статистической базы данных КЭ (для информационной поддержки функционирования системы управления КЭ и включения требований к КЭ в договоры услуг по передаче и договоры купли/продажи ЭЭ);
- поддержка процедуры подключения новых потребителей к сети в части соблюдения ими требований к КЭ;
- выявление (локализация) источников искажений (искажающих потребителей), оказывающих негативное влияние на КЭ в прилегающей электрической сети, с последующим выставлением требований (претензий) к таким потребителям по ослаблению негативного влияния на КЭ путем изменения режима/схемы внутреннего электропотребления;



Общие положения

- формирование информационного обеспечения для построения системы автоматического (автоматизированного) управления КЭ посредством использования оборудования по улучшению КЭ;
- поддержание в актуальном состоянии состава и значений нормируемых ПКЭ (периодический пересмотр нормативных требований к КЭ на базе накопленного опыта наблюдений и современных ожиданий населения к качеству жизни и промышленности к эффективности и качеству технологических процессов производства).

3. Владельцем и основным пользователем СМКЭ является распределительная сетевая компания (РСК), на энергообъектах которой устанавливаются СИ или другие устройства с функциями измерения ПКЭ.



Общие положения

4. Пользователями СМКЭ могут выступать энергосбытовые организации, системный оператор ЕЭС, потребители оптового рынка ЭЭ и мощности (ОРЭМ), научно-исследовательские организации, органы по сертификации ЭЭ и другие организации, связанные с выполнением задач по контролю/мониторингу соответствия КЭ нормативным требованиям. Информация о КЭ предоставляется посредством веб-доступа, перечень получателей информации о КЭ и объем предоставляемых данных определяются техническими регламентами обмена информацией между субъектами электроэнергетики.

5. При построении СМКЭ необходимо учитывать требования ГОСТ 30804.4.30, ГОСТ 30804.4.7, ГОСТ 32144. Следует также учитывать зарубежный опыт по построению СМКЭ и результаты проведения национальных обследований КЭ, а также тенденцию сближения национальных стандартов в области мониторинга КЭ с международными регламентирующими документами.



Архитектура СМКЭ

1. Функционально СМКЭ должна обеспечивать сбор, хранение, проверку данных КЭ, их последующую обработку и публикацию результатов. Рекомендуется визуализация текущих параметров качества электрической энергии с интервалом объединения 3 секунды.

2. СМКЭ должна быть масштабируема, с гибкой архитектурой.

3. Информационные уровни СМКЭ включают в себя уровень энергообъекта (ПС, РП, ТП), уровень центра управления сетями (ЦУС) и исполнительного аппарата РСК.

4. Технологические уровни СМКЭ [места установки программно-технических комплексов (ПТК)] включают уровень энергообъекта и уровень ЦУС.



Архитектура СМКЭ

5. При разработке требований к аппаратному обеспечению каждого (основного и резервного) сервера базы данных следует учитывать необходимые объемы памяти. На сервере базы данных рекомендуется также предусмотреть временное хранение данных измерений КЭ за последние 30 дней для детального анализа нарушений КЭ. .

6. В СМКЭ рекомендуется использовать формат PQDIF представления и передачи данных КЭ. Также система должна обеспечивать работу с файлами формата XML, XLS/CSV, Comtrade. .

7. СМКЭ должна обеспечивать веб-доступ к данным КЭ. Должны быть обеспечены условия для внедрения отчетности в режиме «он-лайн», доступной через сеть Интернет.



Архитектура СМКЭ

8. Для экономичного технического обслуживания СМКЭ должна обладать удаленной системой диагностики, обеспечивающей наряду с событиями КЭ передачу информации о состоянии СИ, серверного оборудования, устройств синхронизации времени и других компонентов. .

9. СМКЭ должна включать в себя средства обеспечения информационной безопасности (ИБ) функционирования и использования данных системы в соответствии с политикой ИБ.



Выбор мест установки СИ в СМКЭ

1. Рекомендуемые места установки СИ в СМКЭ:

- точки общего присоединения (общие шины 0,4–220 кВ, к которым присоединены линии, питающие электроустановки разных потребителей);
- границы раздела между передающими (ФСК) и распределительными сетями (на шинах подстанции передающей сети, питающей распределительную сеть);
- шины (линии), с которых осуществляется электроснабжение потребителей, имеющих выпрямительные установки, плавильные печи, прокатные станы, частотно-регулируемые приводы;
- шины, с которых осуществляется электроснабжение потребителей, предъявляющих претензии к нарушению КЭ;
- линии, питающие потребителей ОРЭМ;
- выбранные точки передачи ЭЭ пользователям сети/потребителям ЭЭ;
- точки присоединения возобновляемых источников энергии, в первую очередь ветровых электростанций.



Выбор мест установки СИ в СМКЭ

2. Особое внимание необходимо уделять крупным объектам с нелинейными нагрузками, таким как алюминиевые и сталеплавильные заводы, подключенным на высоком напряжении (110–220 кВ). Данный вид потребителей является основным источником гармоник и колебаний напряжения (фликера) для прилегающей сети.

3. При выборе мест установки СИ также необходимо учитывать результаты периодического мониторинга КЭ, в результате которого были идентифицированы источники искажений.



Требования к СИ в СМКЭ

1. В зависимости от вида и степени сложности задач, решаемых с помощью СМКЭ, в ней могут использоваться СИ, соответствующие требованиям ГОСТ 30804.4.30, класс S и ГОСТ 30804.4.7, класс II, либо СИ соответствующие требованиям ГОСТ 30804.4.30, класс A и ГОСТ 30804.4.7, класс I. Во втором случае должна осуществляться синхронизация времени СИ с помощью соответствующих устройств (например, приемников систем ГЛОНАСС или GPS). Использование ГЛОНАСС (GPS) – синхронизируемых СИ позволяет реализовать синхронное измерение фаз гармоник в узлах сети для последующего создания высокоточной, адекватной (в части источников нелинейных искажений) математической модели сети для расчёта и анализа несинусоидальных режимов.



Требования к СИ в СМКЭ

2. СИ могут осуществлять запись форм сигналов при возникновении случайных событий (провалы, перенапряжения, прерывания напряжения). Возможность записи формы сигнала также может быть обеспечена при срабатывании триггеров от внешних источников.

3. Используемые в СМКЭ СИ могут соответствовать следующим функциональным требованиям:

- возможность перенастройки для приведения параметров в соответствие действующим (применяемым) стандартам на нормы КЭ;
- возможность записи тревог (alarms);
- веб-доступ;
- интерфейс Ethernet;
- интерфейс RS-485.



Требования к СИ в СМКЭ

4. Весь объем данных с СИ, установленных на энергообъектах, должен передаваться в профильное подразделение сетевой организации, в том числе в ЦУС, где осуществляется хранение, обработка и анализ данных КЭ, полученных со всех приборов СМКЭ.

5. В ПМ в электрической сети среднего и высокого напряжений СИ должны присоединяться через ТН и ТТ, класс точности обмоток которых не ниже 0,5.



Интеграция СМКЭ с другими технологическими системами

1. Должны быть обеспечены условия для последующей интеграции СМКЭ ФСК, РСК, а также СМКЭ потребителей в единую СМКЭ.

2. Источниками внешних данных для СМКЭ являются СИ на энергообъектах (результаты измерений), а также:

- параметры основного оборудования ПС и ЛЭП для аналитических расчетов, схемы ПС и электрических сетей для визуализации измерений КЭ и результатов обработки данных;
- информация о положении коммутационных аппаратов, сигналы срабатывания релейной защиты и автоматики для автоматизации анализа влияния схемы и режимов работы сети и потребителей на КЭ;
- информация о сроках проведения ремонтов оборудования ПС и ЛЭП для корректного формирования долгосрочных отчетов и автоматизации анализа влияния плановых отключений оборудования сетей на КЭ;
- осциллограммы токов и напряжений в формате Comtrade, зарегистрированных при технологических нарушениях в сети, для автоматизации комплексного анализа КЭ.



Интеграция СМКЭ с другими технологическими системами

3. На уровне ПС передача данных КЭ может осуществляться в АСУ ТП ПС, в первую очередь технологической информации о состоянии ПТК СМКЭ. В АСУ ТП ПС могут быть предусмотрены мнемокадры с отображением основных характеристик КЭ для персонала ПС, если это технически целесообразно. В целом объем и дискретность транслируемых данных из СМКЭ определяются стандартами и техническими регламентами на АСУ ТП ПС.



Рекомендации по обработке данных КЭ в СМКЭ

1. Расчет статистических характеристик КЭ проводят в следующем порядке: параметр с 95 %-ной вероятностью за сутки (24 ч) и за неделю (168 ч) рассчитывают на базе массива измерений дискретностью 10 мин.

2. Формирование отчетности по результатам непрерывного мониторинга должно осуществляться за месяц, квартал и год.

3. Оценки КЭ необходимо формировать на различных уровнях сети: точка контроля, энергообъект (ТП, РП, ПС), группа энергообъектов, район электрической сети, в целом по энергокомпании. В итоге должна быть сформирована многоуровневая система отчетности

Верхний уровень отчетности рекомендуется представлять двумя разделами:

- оценка числа энергообъектов, по которым были зафиксированы нарушения норм КЭ (пример – таблица 2);
- характер изменений ПКЭ (в течение месяца, квартала, года и более) для отслеживания их изменений с течением времени.

Пример представления сводных данных по нарушениям КЭ

В процентах

| Показатели | | Энергообъекты низкого напряжения (общее количество) | Энергообъекты среднего напряжения (общее количество) |
|-------------|----------------------------------|---|--|
| Напряжение | $\delta U_{(-)}, \delta U_{(+)}$ | 10 | 7 |
| Несимметрия | K_{2U} | 2 | 2 |
| Фликер | P_{st} | 5 | 0 |
| | P_{lt} | 5 | 0 |
| Гармоники | $K_U, K_{U(n)}$ | 15 | 12 |
| Провалы | Длительность, глубина | 0 | 0 |

Измерительный преобразователь МИП-02А-43 для измерения ПКЭ и дополнительных параметров энергии



Контроллер PS-01PQ для сбора, обработки и передачи данных измерений

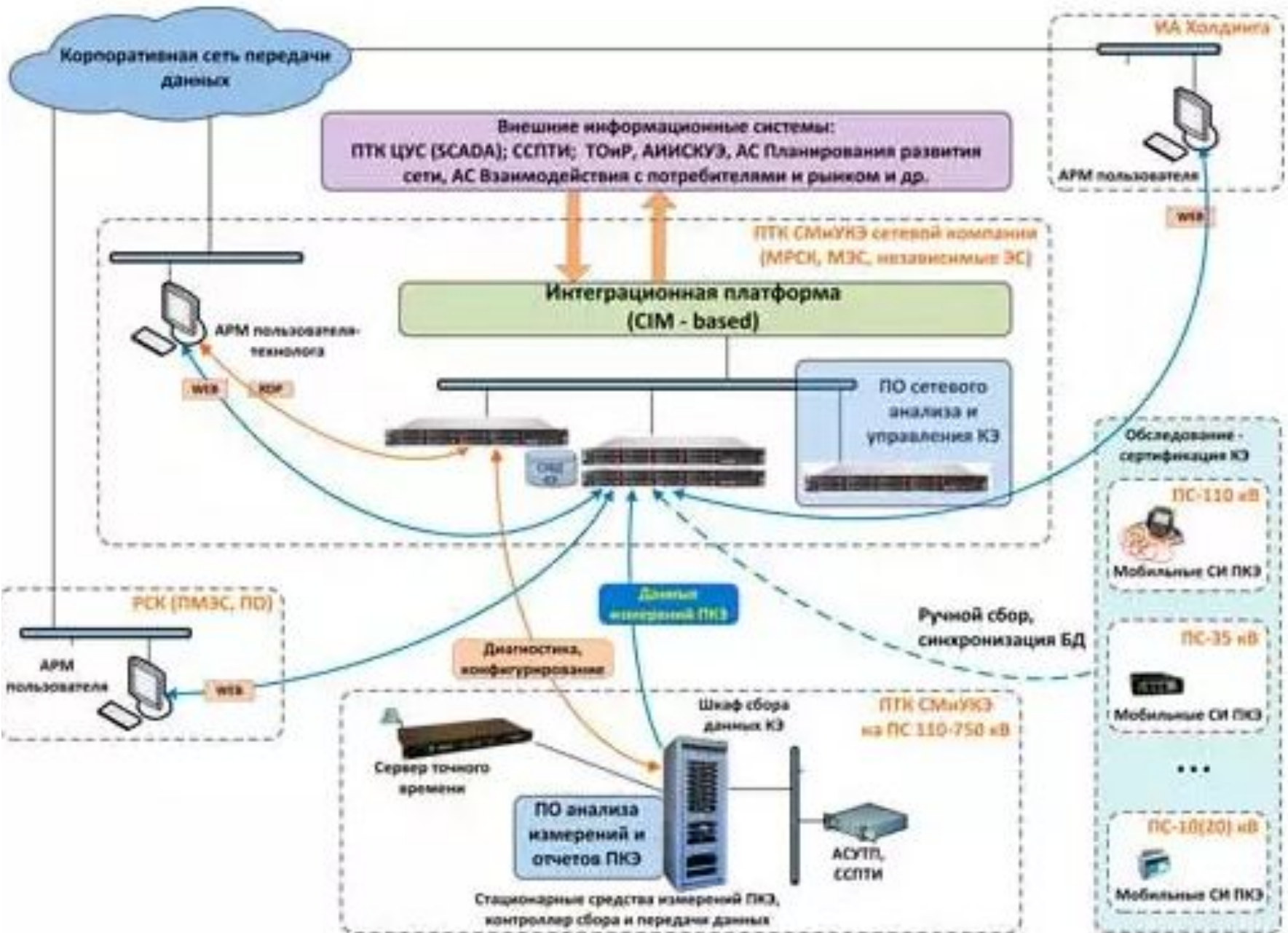




Сервер единого времени PTS-02.

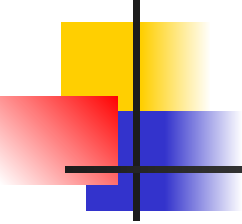


Структура СМиУКЭ «Гармоника»



Пример экранных форм СМиУКЭ «Гармоника»





Базовый набор функций обработки результатов измерений

- автоматическое формирование стандартизованной и специальной отчетности по всем пунктам контроля системы;
- вычисление коэффициентов корреляции между измеряемыми параметрами в различных точках сети
- определение интегральных оценок состояния КЭ по ПС, энергорайонам;
- вычисление коэффициентов надежности электроснабжения;
- использование фактов изменения состояния коммутационных аппаратов на ПС для выявления корреляции нарушений качества ЭЭ с событиями в сети (переключения, ремонты, и т. п.).

Расширенные функции сетевого анализа влияния нарушений КЭ

- расчет и моделирование режимов электрической сети с возможностью использования оперативных телеметрических данных систем SCADA;
- определение параметров подключений новых потребителей с контролем допустимых значений параметров КЭ в точках отпуска ЭЭ;
- оценка потерь ЭЭ от искажений симметрии и наличия высших гармоник с выделением структуры дополнительных потерь ЭЭ;
- выбор места установки и параметров фильтрокомпенсирующего оборудования и управление КЭ для реализации функций управления КЭ;
- оценка допустимых значений максимальной глубины и длительности провалов напряжения в точках подключения ответственных потребителей при коротких замыканиях в различных точках сети и аварийном отключении мощного электрооборудования;
- выявление зависимостей устойчивых отклонений напряжения для формирования законов регулирования напряжением в центрах питания;
- возможность динамического выявления узлов сети с потенциальными резонансами напряжения при оперативных переключениях и изменении параметров электрического режима;
- анализ влияния КЭ на эксплуатационные характеристики оборудования.