

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ 220 – 1150 КВ ПОД РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ В РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

У статті описано концепцію комплексної діагностики основного обладнання високовольтних підстанцій 220 кВ і вище. Створення інтелектуальних електроенергетичних систем та підстанцій, що не обслуговуються – не можливо без ефективної системи автоматизованої діагностики обладнання. Запропонований у статті комплексний підхід до безперервної діагностики обладнання, дозволяє суттєво скоротити експлуатаційні витрати та підвищити його ефективність.

В статье описана концепция комплексной диагностики основного оборудования высоковольтных подстанций 220 кВ и выше. Создание интеллектуальных электроэнергетических систем и необслуживаемых подстанций – не возможно без эффективной системы автоматизированной диагностики оборудования. Предложенный в статье комплексный подход к непрерывной диагностике оборудования позволяет существенно сократить эксплуатационные затраты и повысить его эффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Сложившаяся общемировая тенденция к разработке интеллектуальных электроэнергетических систем, в наше время, ставит новые задачи ученым, работающим в области электроэнергетики: обеспечение надежности, снижение эксплуатационных затрат, переход к необслуживаемым подстанциям [1]. Новые требования к "интеллектуальному" оборудованию затрагивают все научные направления в области проектирования электрических машин, аппаратов и электротехнических комплексов: сниженные потери, соответствие жестким экологическим стандартам, непрерывный контроль и диагностика состояния оборудования (мониторинг), информационный обмен с другими системами подстанции и электроэнергетической системы в целом.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В течение нескольких десятков лет бесперебойная работа электроэнергетических систем как у нас в стране, так и за рубежом обеспечивалась за счет планово-предупредительной системы обслуживания высоковольтного оборудования подстанций. Положительным фактором являлось также то, что в оборудовании отечественного производства, которое в основном применяется на подстанциях в нашей стране, заложены значительные коэффициенты запаса прочности. На данный момент в Украине, как и во всем мире, происходит постепенное старение парка электрооборудования [2]. Ежегодный рост электропотребления, снижение коэффициентов запаса прочности оборудования, в виду конкуренции на рынке производителей, а также повышение требований к надежности снабжения потребителей ставят новые задачи по повышению эксплуатационной надежности оборудования подстанций. Основной задачей как у производителей высоковольтной аппаратуры, так и у эксплуатирующих организаций, как правило, являются энергоэффективность, безотказность, предупреждение аварий и снижение эксплуатационных затрат, связанных с эксплуатируемым оборудованием. Не менее актуальными вопросами являются: оценка возможности продления срока эксплуатации оборудования, превышающего нормативный, и формирование усилий для перехода к эксплуатации энергосистемы с помощью

необслуживаемых подстанций. Таким образом, наиболее приоритетны следующие задачи:

1) разработка эффективной автоматизированной системы диагностики, способной зафиксировать развивающийся дефект в электрооборудовании на этапе развития;

2) переход от затратной системы периодического обслуживания к системе обслуживания по текущему состоянию;

3) создание автоматизированной системы прогнозирования отказов на базе получаемой в режиме эксплуатации диагностической информации.

Данные задачи являются ключевыми в сложившейся общемировой тенденции к созданию интеллектуальных электроэнергетических систем и необслуживаемых высоковольтных подстанций. Решением поставленных вопросов может служить использование систем непрерывного контроля (мониторинга) технического состояния основного оборудования подстанций. Применение систем непрерывного контроля (СНК) в мировой практике стало общепринятым при модернизации действующих и строительстве новых подстанций. Однако, существующий подход к внедрению СНК сводится, в большинстве случаев, только к мониторингу силового оборудования (трансформаторы, автотрансформаторы, реакторы) или к внедрению разрозненных систем диагностики силового, измерительного, защитного оборудования. Данный подход к внедрению СНК не позволяет обеспечить высокие требования к надежности диагностической информации, так как использование разрозненных систем, как правило, приводит к недостаточности информации от первичных датчиков в системах и необоснованному удорожанию системы мониторинга из-за необходимости дублирования первичных датчиков и средств измерения. В табл. 1 представлены результаты исследования показателей непрерывной диагностики основных типов высоковольтного оборудования. Сводная таблица, полученная в результате многолетней работы в области непрерывной диагностики и сотрудничества с ведущими эксплуатирующими организация и производителями оборудования Украины и России [3-8].

В табл. 1 приведены типы оборудования, состояние которого целесообразно непрерывно контролиро-

вать в процессе эксплуатации, а также критерии оценки состояния указанного оборудования и первичные датчики, необходимые для этого. Выделенным шриф-

том в таблице указаны повторяющиеся первичные датчики, которые можно не устанавливать при комплексном подходе.

Таблица 1

Перечень оборудования для непрерывного контроля при комплексном подходе к диагностике

Объект контроля	Критерии оценки состояния	Первичные датчики
Трансформаторы (авто-трансформаторы) силовые маслонаполненные, реакторы маслонаполненные	временные превышения напряжения; температуры масла и обмотки; газо- и влагосодержание масла; состояние и эффективность системы охлаждения; ресурс вентиляторов и маслонасосов системы охлаждения; нагрузочная способность; температура окружающей среды; расчет сопротивления короткого замыкания; частичные разряды в обмотках; рабочее напряжение; ток нагрузки; мощности; остаточный ресурс изоляции обмоток;	измерительные обмотки трансформаторов напряжения; измерительные обмотки трансформаторов тока; датчик температуры верхних слоев масла в баке; датчик температуры нижних слоев масла в баке; датчик температуры окружающей среды; прибор измерения газо- и влагосодержания масла; датчики наличия потока масла в охладителе; датчики температуры на входе и выходе охладителей; релейные сигналы системы охлаждения; датчик тока комплексной проводимости изоляции и ЧР вводов и обмоток;
Устройства РПН	ток через РПН; температура в контакторе РПН; мощность потребляема приводом РПН; номер положения РПН; температура окружающей среды; температура верхних слоев масла; коммутационный ресурс; длительность переключения;	измерительные обмотки трансформаторов тока; датчик температуры масла в контакторе РПН; датчики тока и напряжения привода РПН; датчик температуры окружающей среды; датчик температуры верхних слоев масла; релейные сигналы управления устройством РПН;
Высоковольтные вводы	тангенс угла диэлектрических потерь основной изоляции ($\text{tg}\delta_1$); ёмкость основной изоляции (C_1); небаланс токов проводимости изоляции трехфазной группы; давление во вводе (для маслонаполненных); плотность элегаза (для элегазовых); динамика изменения $\text{tg}\delta_1$; изменение C_1 ; температурная зависимость $\text{tg}\delta_1$; уровень частичных разрядов;	датчики тока комплексной проводимости и ЧР изоляции вводов; датчик температуры верхних слоев масла в баке; датчик температуры окружающей среды; датчик влажности окружающей среды; измерительные обмотки трансформаторов напряжения; измерительные обмотки трансформаторов тока; денсиметр элегаза (для элегазовых)
Трансформаторы тока измерительные (ТТ)	тангенс угла диэлектрических потерь основной изоляции ($\text{tg}\delta_1$); ёмкость основной изоляции (C_1); небаланс токов проводимости изоляции трехфазной группы; динамика изменения $\text{tg}\delta_1$; изменение C_1 ; температурная зависимость $\text{tg}\delta_1$; уровень частичных разрядов; плотность элегаза (для элегазовых);	датчики тока комплексной проводимости и ЧР изоляции ТТ; датчик температуры окружающей среды; датчик влажности окружающей среды; измерительные обмотки трансформаторов напряжения; измерительные обмотки трансформаторов тока; денсиметр элегаза (для элегазовых)
Трансформаторы напряжения измерительные (ТН)	контроль межвитковых замыканий (измерение напряжения разомкнутого треугольника $3U_0$)	измерительные обмотки трансформаторов напряжения;
Ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН)	ток комплексной проводимости; спектральный состав тока комплексной проводимости; степень загрязненности поверхности; количество и характеристики токов срабатывания; количество и характеристики перенапряжений;	измерительные обмотки трансформаторов напряжения; датчик тока комплексной проводимости; датчик влажности окружающей среды;
Высоковольтные кабели (ВК)	интенсивности и распределения импульсов частичных разрядов в изоляции; тангенс угла диэлектрических потерь главной и межфазной изоляции; контроль за симметрией емкостей и $\text{tg}\delta$ межфазной изоляции;	датчики в цепи заземления экрана кабеля; измерительные обмотки трансформаторов напряжения;
Высоковольтные выключатели	коммутационный ресурс (количество и номинальные значения коммутируемых токов); время срабатывания; количество пульсаций при срабатывании; вибродиагностика; измерение тока и напряжения привода выключателя	измерительные обмотки трансформаторов напряжения; измерительные обмотки трансформаторов тока; датчики тока и напряжения привода выключателя; релейные сигналы управления устройством выключателем;

Комплексная система непрерывного контроля должна строиться с использованием единого центрального промышленного контроллера выполняющим функции сбора, обработки, хранения и выдачи диагностической информации, необходимого количества вторичных преобразователей и без дублирования первичных датчиков.

Таким образом, комплексный подход к мониторингу основного электрооборудования подстанций 220 кВ и выше позволяет получить следующие преимущества:

– исключить дублирование первичных датчиков и соответственно уменьшить их общее количество приблизительно на 40 %;

– уменьшить суммарное количество входных каналов вторичных средств измерения приблизительно на 30-50%;

– повысить достоверность диагностики за счет использования дополнительной информации, полученной от других подсистем (например, сигналы от измерительных обмоток трансформаторов напряжения всегда заводятся в систему мониторинга силового трансформатора и, как правило, не заводятся в системы контроля изоляции вводов и трансформаторов тока, а использование этого сигнала в указанных системах значительно повысит точность диагностической информации);

– повысить оперативность и эффективность диагностики за счёт возможности использования единого сервера с комплексной программной оболочкой для выдачи информации персоналу подстанции и возможностью интеграции в отраслевые системы планирования ремонтов и технического обслуживания.

ВЫВОДЫ

При построении системы автоматической диагностики высоковольтной подстанции экономически и технически целесообразно обеспечить комплексный подход к автоматическому непрерывному контролю электрооборудования подстанции. В этом случае удельные затраты на каждый объект диагностики будут минимальными. При этом, в первую очередь, должен обеспечиваться мониторинг капиталоемкого и системообразующего оборудования с возможностью дальнейшего расширения перечня контролируемого оборудования. Создание и внедрение комплексных систем мониторинга оборудования высоковольтных подстанций является основой для формирования интеллектуальных электроэнергетических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бударгин О.М. Потребности ОАО "ФСК ЕЭС" в электротехническом оборудовании на десятилетнюю перспективу для обеспечения надежной эксплуатации, технического перевооружения и развития ЕНЭС / Бударгин О.М. // МА "ТРАВЭК": IV междунар. науч.-техн. конф. "Силовые трансформаторы и системы диагностики", 22-23 июня 2010 г.: докл. – 1. – 2010. – 14 с.
2. Мордкович А. Г. О построении подсистем мониторинга, управления и диагностики оборудования подстанций сверхвысокого напряжения и их интеграции в АСУ ТП ПС / Мордкович А. Г., Горожанкин П. А. // Электрические станции. – 2007. – № 6. – С. 30-38.

3. Сви П.М. Контроль изоляции оборудования высокого напряжения // Сви П.М. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 128 с.
4. Рассальский А.Н. Методы непрерывного контроля и оценки состояния высоковольтного оборудования подстанции // Рассальский А.Н., Конограй С.П., Сахно А.А. – МА "ТРАВЭК": IV междунар. науч.-техн. конф. "Силовые трансформаторы и системы диагностики", 22-23 июня 2010 г.: докл. – 39. – 2010. – 9 с.
5. Рассальский А.Н. Диагностика состояния высоковольтного оборудования подстанции с помощью систем непрерывного контроля // Рассальский А.Н. – МА "ТРАВЭК": IV междунар. науч.-техн. конф. "Силовые трансформаторы и системы диагностики", 23-24 июня 2009 г.: докл. – 20. – 2009. – 7 с.
6. Рассальский А.Н. Система мониторинга и управления для силовых трансформаторов / А.Н. Рассальский, Н.Н. Козик, А.И. Левковский, В.Л. Раскин, Л.Л. Федосов // Новое в российской энергетике. – 2004, – № 6. – С. 24-30.
7. Рассальский А.Н. Основные принципы непрерывного контроля высоковольтного маслонаполненного электрооборудования с изоляцией конденсаторного типа под рабочим напряжением / Рассальский А.Н., Сахно А.А., Конограй С.П., Спица А.Г., Гук А.А. // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2009. – № 2. – С. 53-55.
8. Андреев Д.А. Анализ методов оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей / Андреев Д.А., Назарычев И.А. // Вестник ИГЭУ. – 2008. – № 2. – С. 1-15.

Поступила 02.07.2010

Рассальский Александр Николаевич, к.т.н., проф.

Сахно Александр Анатольевич

Конограй Сергей Петрович

Гук Александр Александрович

Запорожский национальный технический университет, кафедра "Электрические аппараты"
Украина, 69063, Запорожье, ул. Жуковского, 64
тел. (061) 289-61-39, e-mail: a_asakhno@mail.ru

A.N. Rassaliskiy, A.A. Sakhno, S.P. Konogray, A.A. Guk
Complex approach to diagnostics of the in-service high-voltage equipment on the substations 220 – 1150 kv under the working conditions.

In the article is described concept of the complex diagnostics of the main in-service high-voltage equipment on substations 220 kV and higher. Creation of the "Smart Grid" systems and unattended substations is impossible without efficient system of the automatic diagnostics of the equipment. Offered in the article complex approach to on-line diagnostics of the equipment allows to decrease operating expenditures and increase its efficiency.

Key words – high-voltage equipment, on-line diagnostic, complex approach, smart grid.