

Волохович Андрей Борисович, начальник отдела диагностики кабельных линий
ООО «Димрус», г. Пермь, тел. +79028337051, AndreyVolokhovich@dimrus.ru

Кокорин Андрей Евгеньевич, заместитель начальника отдела диагностики
кабельных линий ООО «Димрус», г. Пермь, тел. +79655657787, AndreyKokorin@dimrus.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ МАССОВОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 6-35 кВ УСТАНОВКАМИ CPDA

Представлены результаты массового обследования кабельных линий 6-35 кВ установками CPDA компании «ДИМРУС» методом частичных разрядов. Кратко приведены характеристики установок CPDA-15, CPDA-30, CPDA-60, конструкция, принцип действия. Заострено внимание на необходимости обязательного обследования новых кабельных линий перед вводом их в эксплуатацию.

Ключевые слова: диагностика кабельных линий, кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена, кабельные линии с бумажно-пропитанной изоляцией, дефекты монтажа, частичные разряды, испытания кабельных линий, установки CPDA, техническое состояние, повреждения.

Введение

В настоящее время проблема определения действительного технического состояния высоковольтных кабельных линий (КЛ) становится все более актуальной. Для КЛ, длительное время находившихся в эксплуатации, характерны такие деградирующие факторы, как периодические испытания повышенным напряжением, механические повреждения, осушение изоляции, проникновение влаги, некачественный монтаж и т.д. Выход из строя новых КЛ с любым типом изоляции наиболее часто вызван некачественным монтажом и механическими повреждениями при прокладке, также редко встречаются заводской брак кабеля, арматуры.

Традиционные методы контроля состояния изоляции КЛ, к которым следует отнести испытания КЛ повышенным выпрямленным напряжением и напряжением сверхнизкой частоты, во многом не обеспечивают информацией о реальном состоянии изоляции КЛ. Определяется электрическая прочность изоляции КЛ, происходит пробой наиболее ослабленных участков изоляции, что является основным предназначением испытаний. Однако к недостаткам испытаний следует отнести сложность, а часто и невозможность, определения проблемных мест в КЛ, вызванных причинами разного характера. Под проблемными местами следует понимать развивающиеся дефекты изоляции, деградация которых под воздействием высокого напряжения не достигла предельного уровня. Испытания изношенных кабельных сетей с бумажно-пропитанной изоляцией (БПИ) увеличивают их аварийность.

Эффективным методом для выявления проблемных мест в КЛ является диагностика методом частичных разрядов (ЧР). На практике нашли применение различные методы измерений ЧР в КЛ. К их числу следует отнести метод измерения ЧР затухающим осциллирующим напряжением OWTS (DAC) [1]. Этот метод является неразрушающим, не

травмирует изоляцию и не сокращает ресурс кабелей и муфт. Данный метод реализован в установках серии CPDA производства компании «ДИМПУС», установках OWTS-25, OWTS M (28, 60, 150, 250 кВ) фирмы SEBA, установках для испытаний и диагностики кабелей TDS NT компании Megger и др.

Краткая характеристика установок серии CPDA производства компании «ДИМПУС».

В настоящее время компания «ДИМПУС» производит три типа установок: CPDA-15, CPDA-30, CPDA-60, основные характеристики которых сведены в таб. 1 [2].

Таб. 1. Основные характеристики установок CPDA.

Параметры	CPDA-15	CPDA-30	CPDA-60
Максимальное выходное напряжение $U_{\max}$, кВ	18 (Пик) 12,5 (СКЗ)	28 (Пик) 20 (СКЗ)	56 (Пик) 40 (СКЗ)
Диапазон емкостей КЛ, мкФ	0,05 – 4 при $U_{\max}$	0,05 – 3 при $U_{\max}$	0,05 – 2 при $U_{\max}$
	0,05 - 10 при $U < U_{\max}$		
Диапазон измеряемых ЧР, пКл	10 ÷ 100 000		
Частота измеряемых ЧР, МГц	0,15 ÷ 50,0		
Диапазон частот ДАС, Гц	20 ÷ 1000		
Измерение «tg δ » изоляции	да		
Напряжение сетевого питания	110 ÷ 240 В AC/DC		
Время работы от аккумулятора, ч	8 ÷ 12	8÷16	
Вес в транспортном виде, кг	35	60	120
Длина соединительного кабеля, м	5	5	5-50
Диапазон рабочих температур, °С	от -20 до +50		

Внешний вид установок CPDA приведен на рис. 1-3



Рис. 1. Установка CPDA-15.



Рис. 2. Установка CPDA-30.



Рис. 3. Установка CPDA-60.

Общее устройство приборов CPDA-15, CPDA-30 и CPDA-60 абсолютно идентично. Различия заключаются в массо-габаритных показателях и расположении основных блоков. Установки CPDA состоят из следующих основных блоков:

- Блок управления установкой, смонтированный в транспортном чемодане;
- Катушка индуктивности для создания резонансного режима;
- Высоковольтный источник постоянного тока;
- Высоковольтный делитель;
- Управляющий ноутбук;
- Соединительный высоковольтный кабель.

Управление процессом проведения измерений производится дистанционно с ноутбука, с использованием стандартного беспроводного интерфейса Wi-Fi. Обработка результатов испытаний осуществляется в ноутбуке.

Принцип действия установок CPDA заключается в следующем. После подключения установки к одной из жил КЛ проводится этап калибровки системы. При этом штатный калибратор системы подключается в месте присоединения кабеля CPDA и жилы испытуемой КЛ. В процессе калибровки определяется ее длина и проводится автоматическая настройка системы на данный объект. На последующих шагах циклично подается диагностическое напряжение согласно заданным уровням напряжений. На каждом из циклов емкость жилы КЛ, заряжается от штатного высоковольтного источника постоянным током небольшой величины (рис. 4). Зарядка емкости жилы CL продолжается до тех пор, пока напряжение не достигнет величины амплитуды номинального рабочего напряжения, или иного значения, заданного оператором.

После окончания зарядки емкости жилы КЛ, и выдержки ее в этом режиме в течение некоторого интервала времени, производится замыкание высоковольтного контактора К. После замыкания контактора, измерительная схема включения КЛ изменяется. Емкость CL, и добавочная индуктивность L, оказываются включенными параллельно, образуя классический

параллельный колебательный контур. Частота затухающих колебаний определяется соотношением параметров емкости КЛ и индуктивности катушки, обычно частота составляет от 20 до 1000 герц. В колебательном контуре возникают синусоидальные колебания, скорость затухания которых определяется потерями энергии в индуктивности и в изоляции КЛ (рис. 5). В зависимости от скорости затухания, вычисляется тангенс угла диэлектрических потерь и емкость КЛ [3].

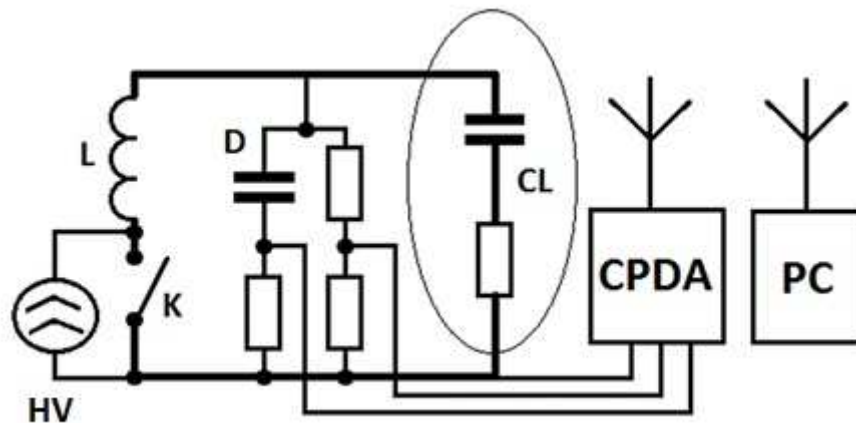
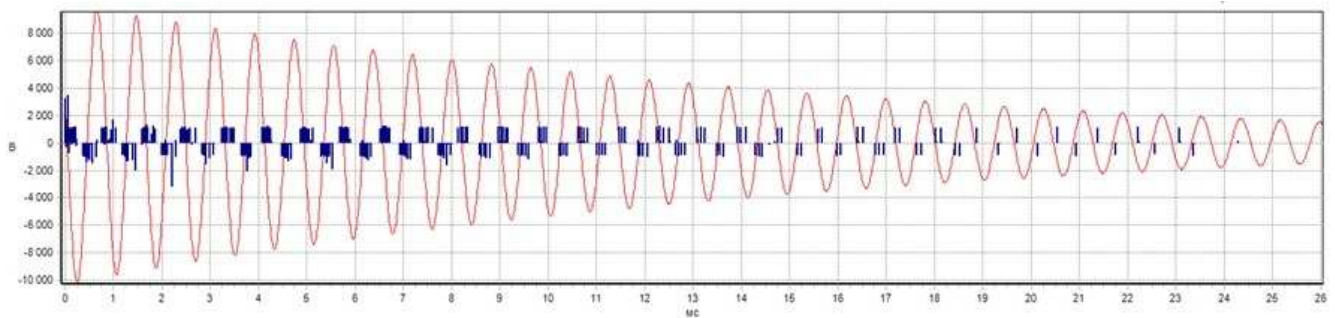


Рис. 4. Принципиальная схема установок CPDA.

HV - высоковольтный источник, L - катушка индуктивности,

K - высоковольтный контактор, CL - испытываемая жила КЛ,

D-высоковольтный делитель напряжения + конденсатор связи для измерения ЧР



$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad C = \frac{1}{L(2\pi F)^2}$$

Рис. 5. Зависимость частоты затухающих колебаний от емкости КЛ

(F — резонансная частота контура, L — индуктивность встроенной в прибор катушки,

C — емкость кабеля.

Переменное напряжение инициирует ЧР в местах с проблемами в изоляции. Все ЧР регистрируются системой и записываются в ее память при измерении. На рис. 5 ЧР отображены

синим цветом на фоне затухающего переменного напряжения. Видно, что чем ниже напряжение, тем ниже становится и интенсивность ЧР.

Анализ данных осуществляется в специализированном программном обеспечении CPDA, по результатам которого формируется отчёт, включающий в себя следующую информацию:

- Исходные данные о КЛ;
- Количественные характеристики (количество импульсов ЧР, зарегистрированное в процессе измерения и принятое к анализу);
- Уровень ЧР по каждой из фаз;
- Места развития дефектов в КЛ в табличном виде (в метрах от точки подключения прибора к КЛ или в процентах от общей длины КЛ);
- Частота затухающих колебаний в КЛ;
- Напряжение гашения импульсов ЧР;
- Напряжение возникновения импульсов ЧР;
- Емкость кабеля;
- Тангенс угла диэлектрических потерь;
- Графическую информацию по выбору пользователя (карта и гистограмма ЧР);
- Заключение и рекомендации по дальнейшей эксплуатации КЛ.

Уровень ЧР измеряется в пКл. Точные места возникновения ЧР определяются программно, широко известным методом локации, применяемом в рефлектометрии (рис. 6). Наиболее информативным результатом обследования КЛ системой CPDA являются карты, отображающие уровень и количество зарегистрированных ЧР по длине КЛ (рис. 7).

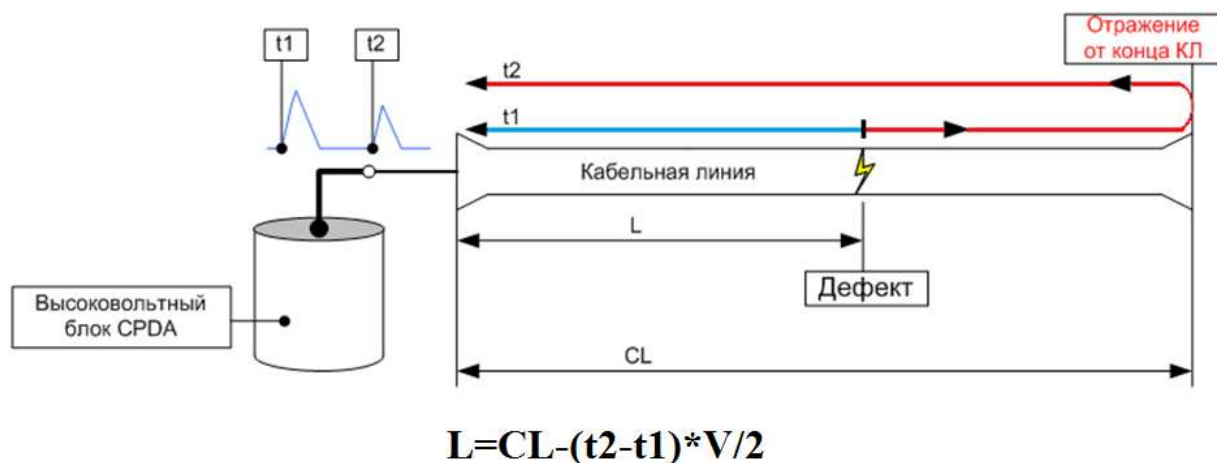


Рис. 6. Формула расчета расстояния до дефекта (L - расстояние до дефекта; CL - длина кабельной линии; V - скорость распространения волны в кабеле; t1 – момент прихода прямого импульса ЧР от дефекта; t2 – момент прихода отражения импульса ЧР от конца кабеля).

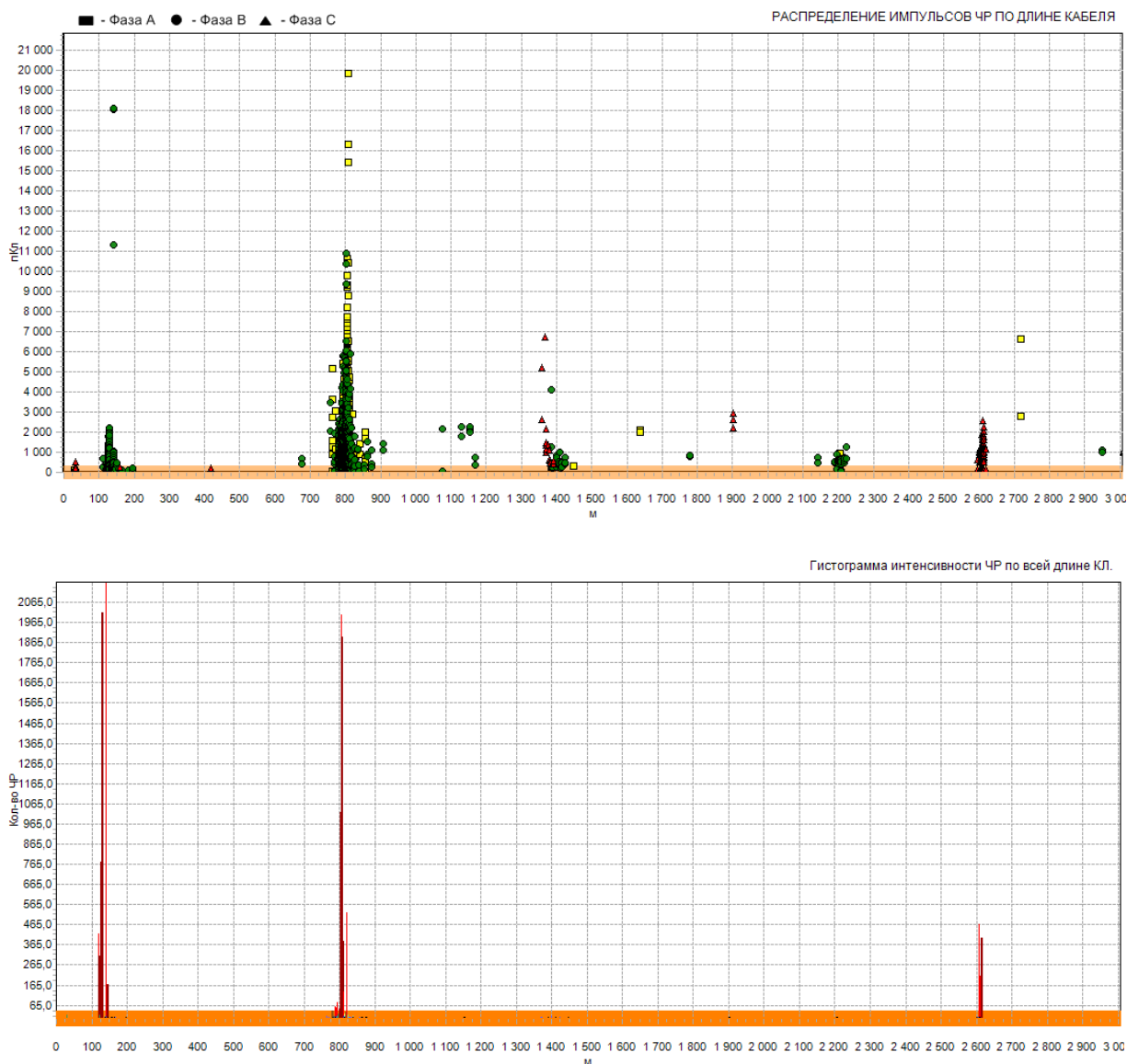


Рис. 7. Карты распределения амплитуды и количества ЧР по длине, полученные по результатам обследования КЛ БПИ 35 кВ длиной 3000 м. Обнаружены опасные дефекты на расстояниях 125 м, 800 м (муфта вышла из строя через 3 месяца после измерений) и 2600 м. Максимальный уровень ЧР $Q_{max} = 20\,000$ пКл. Измерения проводились установкой CPDA-60.

Результаты обследования КЛ установками серии CPDA

Компанией «ДИМУС» в 2018-2019г. было проведено обследование более тысячи КЛ. КЛ диагностировались методом ЧР установками серии CPDA собственного производства. В таб. 2 приведено суммарное количество КЛ, обследованных в рамках обучения, демонстрационных работ и коммерческих договоров. Длины обследуемых КЛ составляли от 8м до 6280м.

Таб. 2. Общее количество КЛ, обследованных компанией «ДИМУС» в 2018-2019 г.

№ п/п	Наименование КЛ	Кол-во КЛ, шт.
----------	-----------------	-------------------

1	КЛ БПИ, находящиеся в эксплуатации, 6 – 10 кВ	173
2	КЛ БПИ, находящиеся в эксплуатации, 35 кВ	36
3	Новые КЛ СПЭ, 10 кВ	687
4	Новые КЛ СПЭ, 35 кВ	189
	Всего:	1085

Из таб. 2 следует, что около 80% составили КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). Оставшиеся 20 % приходятся на КЛ с бумажно-пропитанной изоляцией. Наибольший интерес представляет статистика по КЛ СПЭ, поскольку в настоящее время данный тип изоляции преимущественно используется при строительстве новых КЛ в городских сетях и на предприятиях. Следует отметить, что подавляющему большинству КЛ БПИ по результатам обследований требуется замена муфт либо замена целых участков. Такое техническое состояние связано, как показывает практика, с изношенностью кабельных сетей, длительными сроками их эксплуатации. Характерный пример показан на рис. 7.

На рис. 8 приведена диаграмма технического состояния новых КЛ СПЭ в соответствии с общепринятой градацией (таб. 3). Техническое состояние большей части КЛ признано удовлетворительным - 73%. У 8% КЛ обнаружены некритичные дефекты, требующие периодического контроля для принятия решения о ремонте. У 19% КЛ выявлены ярко выраженные дефекты с невозможностью эксплуатации.

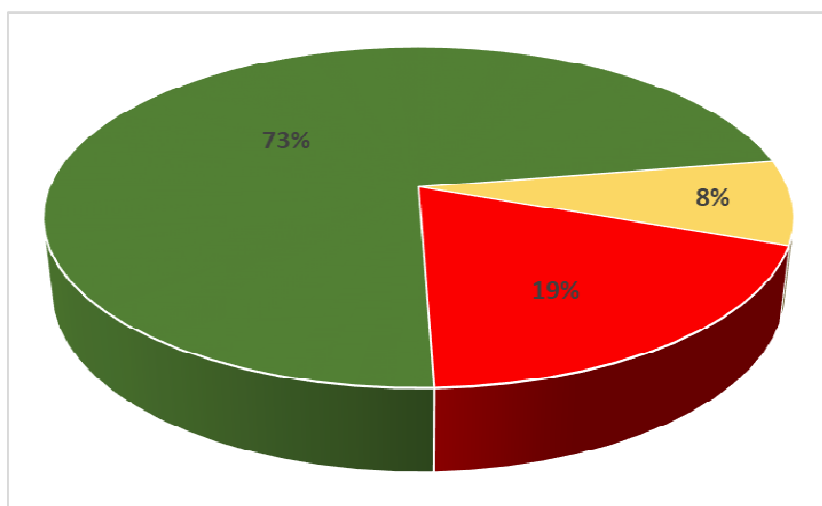


Рис. 8. Техническое состояние КЛ СПЭ 6-35 кВ.

Таб. 3. Градация технического состояния КЛ

	КЛ с возможностью эксплуатации без ограничений
	КЛ с дефектами, требующими периодического обследования для выявления развития дефектов

На рис. 9 приведена диаграмма технического состояния КЛ СПЭ 6-35кВ, в которых обнаружены ЧР. Видно, что только 30% КЛ с ЧР можно вводить в эксплуатацию, а остальные 70% в целях безопасной эксплуатации были рекомендованы к незамедлительному ремонту.

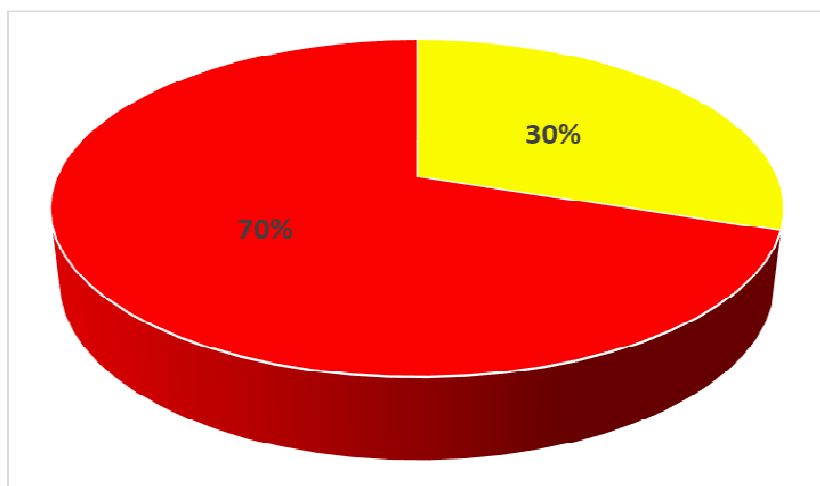


Рис. 9. Техническое состояние КЛ СПЭ 6-35 кВ с ЧР.

Подавляющее количество дефектов было локализовано в кабельной арматуре. Причина - дефекты монтажа. Всего в одной КЛ был обнаружен дефект в теле кабеля, причиной чего послужили механические повреждения при его прокладке (рис. 10).

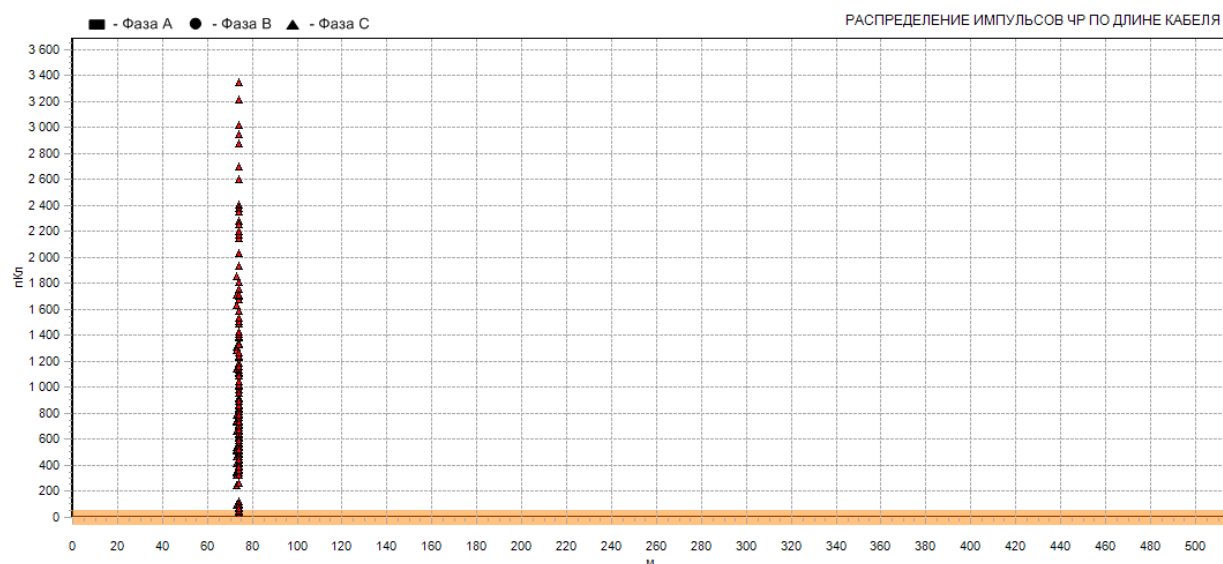




Рис. 10. КЛ СПЭ, $U_n = 10$ кВ, длина 513 м. Обнаружен дефект в фазе С в теле кабеля на расстоянии 73м. Максимальный уровень ЧР $Q_{max} = 3350$ пКл. Измерения проводились установкой CPDA-15.

Предназначение установок CPDA заключается в определении технического состояния КЛ с разными сроками эксплуатации и любым типом изоляции. Практика применения CPDA показала высокую эффективность при выявлении следующих дефектов:

- Недопустимые перегибы кабеля при прокладке КЛ;
- Некачественный монтаж концевых и соединительных муфт КЛ;
- Механические повреждения элементов кабеля при монтаже;
- Механические повреждения элементов кабеля при эксплуатации;
- Заводской брак;
- Развивающиеся дефекты в муфтах и в теле кабеля во время эксплуатации.

Особо хочется подчеркнуть эффективность CPDA при проведении контроля качества электромонтажных работ после прокладки новых КЛ, перед вводом их в эксплуатацию. Но при этом необходимо отметить, что периодические и разовые измерения ЧР в КЛ СПЭ, проводимые в режиме «off-line», имеют практический смысл только при вводе КЛ в эксплуатацию после монтажа, либо после проведения ремонтных работ. Проведение плановых измерений ЧР по принципу «раз в год» зачастую не обеспечивает возможность гарантированно выявлять дефекты в КЛ СПЭ, которые, как показали наши многочисленные исследования, развиваются за достаточно короткий промежуток времени, от нескольких часов до нескольких дней.

В этом случае обнаружить быстрое развитие дефекта поможет только система непрерывного мониторинга ЧР в КЛ. Такие системы также производятся ООО «Димрус» и монтируются на ответственных КЛ по всему миру. Современная идеология безопасной эксплуатации КЛ с СПЭ 6-35 кВ, разработанная в ООО «Димрус», заключается в совместном применении

мониторинговой системы и установок CPDA. Основная задача мониторинга – выявить начало развития дефекта на ранней стадии и просигнализировать об этом эксплуатирующей организации. После этого КЛ планово выводится из работы и с помощью установки CPDA определяется точное место развивающегося дефекта. После ремонта проводятся повторные измерения с помощью установки CPDA и КЛ вводится в работу.

Вся серия установок CPDA прошла государственную аттестацию, зарегистрирована в государственном реестре средств измерения. Установка имеет свидетельство об утверждении типа средств измерения RU.C.34.004.A № 66808 «Системы мониторинга параметров изоляции кабельных линий серии CPDA», регистрационный № 68222-17.

Установка CPDA-15 является самой востребованной из линейки, т.к. по своим параметрам она максимально адаптирована для испытания отечественных кабельных сетей, подавляющую часть которых составляют КЛ с рабочим напряжением 6 – 10 кВ. Немаловажно, что CPDA-15 является самой компактной и дешевой из всех представленных на мировом рынке установок такого типа. Вся установка состоит из одного транспортного чемодана, в состав которого входит все необходимое для автономной работы в течении недели (рис. 1).

Заключение

Практика показала острую необходимость контроля технического состояния новых КЛ методом ЧР. Испытаний КЛ традиционными методами недостаточно, т.к. в них при этом не выявляются существующие проблемные места, которые приведут к выходу кабеля из строя в будущем. В настоящей статье приведена статистика по результатам обследования достаточно большого количества новых КЛ СПЭ 10-35 кВ, согласно которой приблизительно в одной трети обнаружены дефекты различной степени опасности. Подавляющее большинство дефектов связано с качеством монтажа кабельной арматуры.

Внедрение на предприятиях системы технического контроля качества электромонтажных работ на основе применения установок CPDA позволяет свести к минимуму вероятность принятия в эксплуатацию дефектных КЛ. Данный подход имеет ярко выраженный положительный эффект на предприятиях при строительстве масштабных инфраструктурных объектов, при привлечении большого количества подрядных электромонтажных организаций, персонал которых зачастую не обладает необходимым опытом работ.

Компания «ДИМУС» является известным производителем диагностического оборудования. Предлагаемая нами продукция поможет Заказчику эффективно решать задачи контроля технического состояния технологических объектов, в частности КЛ. Осуществляем поставку наших установок с обязательным обучением и дальнейшим техническим сопровождением. Взаимодействие с потребителями предполагает демонстрацию нашей

продукции, в т.ч. установок CPDA, с выездом к Заказчику и на его объектах. Предлагаем свои услуги в части заключения договоров по диагностике КЛ.

Литература

1. IEEE std 400.4-2015 “Guide for field testing of shielded power cable system rated 5 kV and above with damped alternating current (DAC) voltage”.
2. Система контроля изоляции кабельных линий CPDA ООО «Димрус». Руководство по эксплуатации. Версия 2.1.
3. Dielectric loss estimation using damped AC voltage. S.A.A. Houtepen. High Voltage Technology and Management Management Department of Electrical Sustainable Energy Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science Delft University of Technology, June 2010.