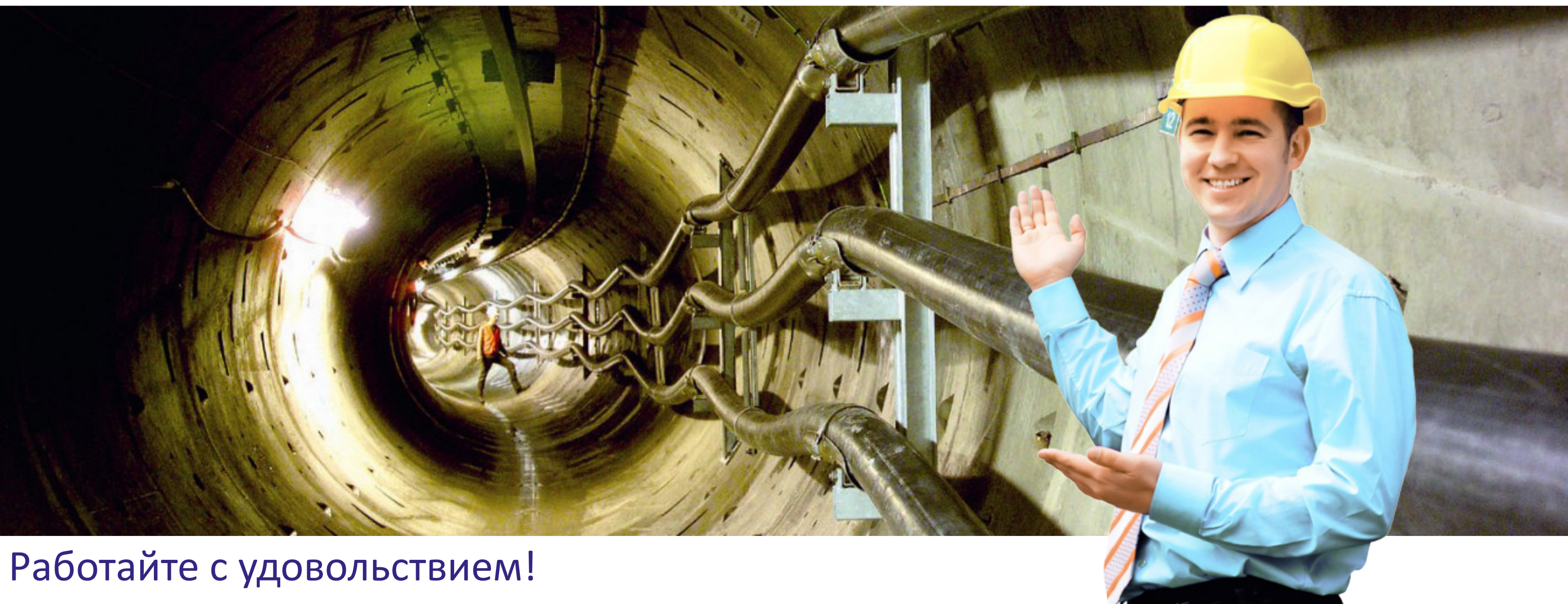


Тема номера: **Диагностика силовых кабельных линий**

- Неразрушающая диагностика кабельных линий
- Испытания повышенным напряжением
- Прожиг мест повреждения кабеля
- Импульсная рефлектометрия
- Трассировка и поиск повреждений кабельных линий



Работайте с удовольствием!



Уважаемые специалисты!

Представляем второй выпуск электронного журнала компании ЭЛЕКТРОНПРИБОР, посвященный диагностике силовых кабельных линий.

Мы очень рады, что первый выпуск журнала по диагностике трансформаторов вам понравился и вызвал массу положительных откликов. Журнал и дальше будет выходить регулярно: вас ждет увлекательный цикл публикаций, посвященный различным аспектам диагностики электротехнического оборудования и кабельных линий, а следующий выпуск мы посвятим приборам анализа качества электрической энергии.

Хотите быть в курсе последних достижений приборостроения - подписывайтесь на наш электронный журнал и рассылку новостей! Сделать это достаточно просто: необходимо зарегистрироваться на нашем сайте [www.electronpribor.ru](http://www.electronpribor.ru) - рассылка будет осуществляться автоматически.

Как узнать цены на оборудование, о котором говорится в журнале?

Многие читатели после выхода первого номера журнала спрашивали, как получить прайс-лист на представленное в нем оборудование. Если вас заинтересовали приборы, о которых мы рассказываем в наших статьях, обратите внимание: название каждого прибора сделано в виде активной ссылки, кликнув на которую вы попадаете на страницу нашего сайта с подробным техническим описанием прибора и ценой. Если политика безопасности вашей компании запрещает переходы по ссылкам, наберите [www.electronpribor.ru](http://www.electronpribor.ru) в браузере и затем название прибора в строке поиска сайта.

Мы твердо убеждены в том, что наши клиенты достойны самого лучшего.

Являясь крупным, известным и надежным поставщиком, экспертом рынка измерительного, испытательного и диагностического оборудования для энергетики, компания ЭЛЕКТРОНПРИБОР предлагает вам не только широчайший ассортимент, но и эффективные инструменты для правильного и успешного выбора.

Читайте, выбирайте и работайте с удовольствием!

## 7 ПРИЧИН ОБРАТИТЬСЯ К НАМ

► ЭЛЕКТРОНПРИБОР - эксперт рынка оборудования.

Мы знаем что предлагает рынок и поможем вам сделать наилучший выбор.

► Работая с ЭЛЕКТРОНПРИБОР, вы получаете возможность лучшего альтернативного выбора. Если у поставщика мало или вовсе нет альтернативных предложений, он пытается любой ценой продать то, что у него есть. Мы поступаем иначе, предлагая большое количество конкурентных марок, позволяющих вам сделать наилучший выбор.

► Работая с ЭЛЕКТРОНПРИБОР, вы экономите время.

Сколько времени вы тратите на поиски и приобретение оборудования, на работу с производителями приборов? Забудьте о проблемах поиска и выбора. Обратитесь к нам и наслаждайтесь свободным временем, пока мы работаем по вашей заявке.

► Пригласив ЭЛЕКТРОНПРИБОР к участию в тендере, вы получите наилучшее предложение.

Мы работаем четко и быстро, безоговорочно

выполняем взятые на себя обязательства, а также помогаем корректно составить техническое задание на стадии подготовки конкурсной процедуры.

► ЭЛЕКТРОНПРИБОР - доставка в любую точку мира.

Мы оперативно доставим вам все, что вы купили.

► ЭЛЕКТРОНПРИБОР - кредит доверия покупателю.

Если у вас недостаточно средств, чтобы сделать полную предоплату, мы готовы работать с вами на иных условиях.

► ЭЛЕКТРОНПРИБОР - возможность зарабатывать.

У нас работает официально согласованная с поставщиками программа скидок для региональных торгующих организаций. Присоединяйтесь!

Ваш опыт и знания бесценны. Наши возможности по поставкам оборудования - велики.

Объединив наши усилия, мы имеем все шансы достигнуть наилучшего результата.

Качество Вашей работы - наша забота!

Оставить комментарии и пожелания по поводу тематики публикаций, а также сделать заказ вы можете, отправив сообщение на e-mail адрес [market@electronpribor.ru](mailto:market@electronpribor.ru).

Журнал не является средством массовой информации. Распространяется бесплатно.

Материалы предоставлены техническими специалистами предприятий -разработчиков. Копирование материалов журнала запрещено без согласия ООО «ЭЛЕКТРОНПРИБОР».

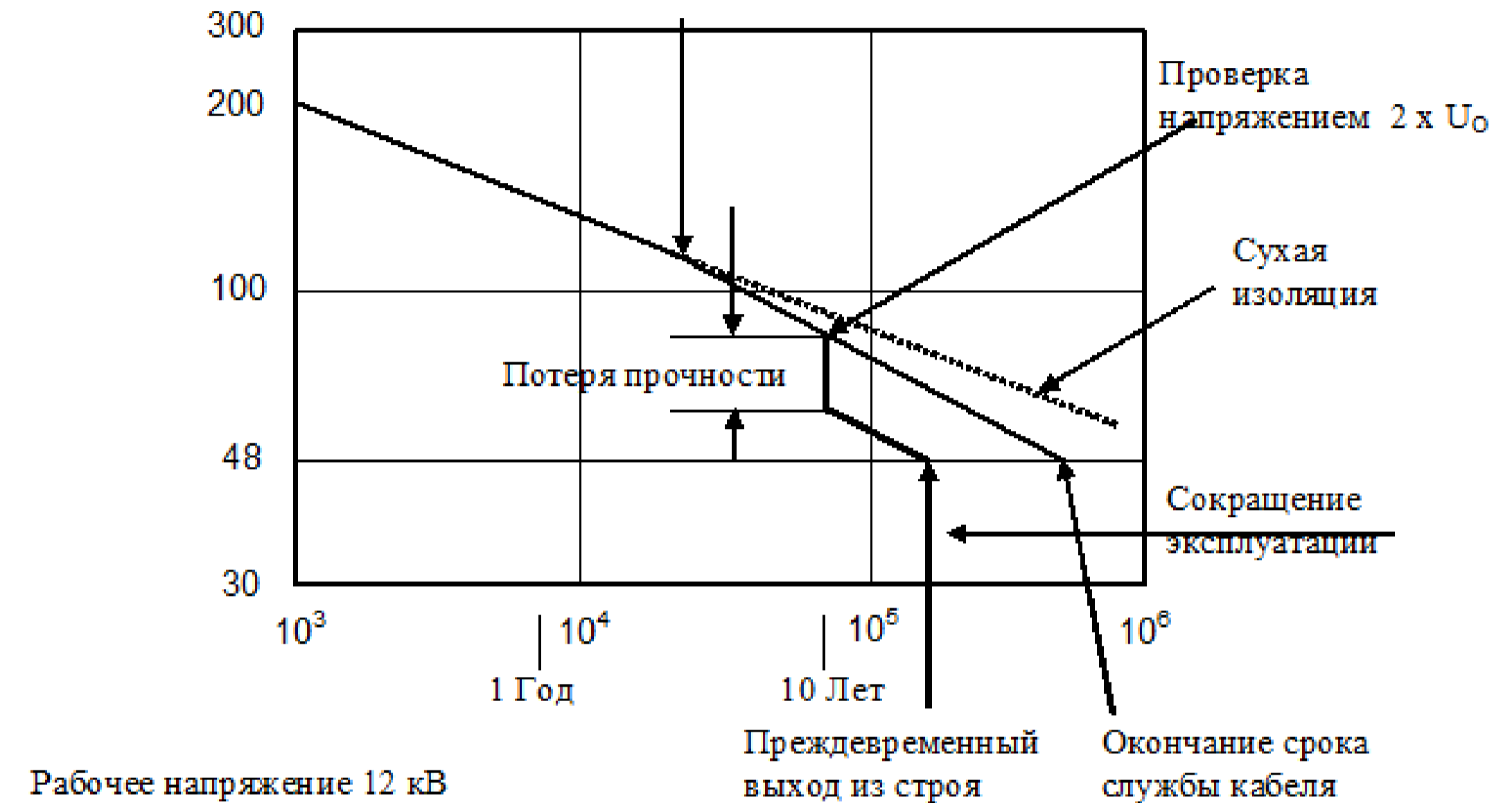
## Диагностика силовых кабельных линий с помощью систем OWTS и CDS

Оценка состояния изоляции и гарнитур кабельных линий является основой для принятия решений по продолжению эксплуатации, ремонта или замены кабельных линий.

Состояние изоляции электрооборудования можно определить следующими способами:

- испытание повышенным напряжением в соответствии с действующими нормативами;
- единовременное испытание диагностическими методами (диагностика).

Из практики эксплуатации высоковольтных кабельных линий известно, что положительные результаты испытаний повышенным напряжением вовсе не гарантируют безаварийную последующую работу электрооборудования. Так, например, после успешных испытаний повышенным напряжением кабельных линий нередко происходит выход их из строя в ближайшие после этого месяцы. Установлено, что причина этого в интенсивном разрушении изоляции частичными разрядами в проблемных местах, что приводит к сокращению срока службы кабельных линий. Наиболее опасны испытания повышенным напряжением для кабельных линий с большим сроком службы или низким качеством монтажа, уже



**Рис 1. Сокращение срока службы кабеля при испытаниях повышенным напряжением**

имеющих высокий уровень частичных разрядов в проблемных местах.

Следующая диаграмма иллюстрирует сокращение срока службы эксплуатируемого кабеля при испытании повышенным напряжением.

Объективные данные о техническом состоянии электрооборудования можно получить современными диагностическими методами. Диагностические испытания электрооборудования, как правило, выполняются методами, не

травмирующими изоляцию. Они позволяют определять не только техническое состояние объекта, но и локализовать имеющиеся проблемные места. Проведение комплексных диагностических испытаний различного неразрушающего контроля позволяет также оценить степень старения изоляции и остаточный ресурс кабеля.

Оптимальным с точки зрения получения наиболее достоверной и полной информации о состоянии изоляции



кабелей и гарнитур является сочетание методов интегральной и локальной диагностики. Проверка работоспособности кабельной линии путем приложения повышенного постоянного напряжения обоснована после монтажа или ремонта и при отсутствии технической возможности для применения диагностических неразрушающих методов.

Рассмотрим подробнее проблемы, возникающие в процессе эксплуатации кабельных систем и методы их обнаружения.

## Проблемы кабелей с изоляцией из полиэтилена (PE) и сшитого полиэтилена (VPE)

Значительный эффект старения кабелей с изоляцией из PE/VPE вызывается возникновением и ростом водяных триингов (watertrees). Они возникают со временем под воздействием воды, тепла и напряженности электромагнитного поля. Разрастаются они постепенно и в конечном результате вследствие образования электрических триингов ведут к короткому замыканию и к выходу из строя кабеля. Другие эффекты старения появляются при термической перегрузке изоляции из PE/VPE. Влага в кабелях с дефектами оболочки особенно благоприятствует разрастанию водяных триингов. Так как водяные триинги, обусловленные физически-

### БУМАЖНО-МАСЛЯНЫЕ КАБЕЛИ

Вода в кабеле вследствие:  
- разрушения бумаги  
- точечная сквозная коррозия в свинцовой оболочке  
- негерметичный фланец муфт

Химическое изменение масла

Высыхание, утечка масла

### МУФТЫ

Поры, трещины в изоляции  
Газовые включения  
Проблемы с контактами

Вода

### PE/VPE КАБЕЛИ

Водяные триинги (watertrees)  
Старение полиэтилена

Вода в кабеле (повреждение оболочки) (диффузия в оболочки из хлор-винила)

Грубые механические повреждения,  
Электрические триинги

**Диагностика частичных разрядов**

**Диэлектрическая диагностика**  
- Измерение возвратного напряжения (RVM)  
- Измерение тока релаксации (IRC)

Рис 2. Методы неразрушающей диагностики при различных видах повреждения кабеля

ми законами, не показывают частичных разрядов, то описанные процессы старения можно обнаружить и оценить лишь при помощи диэлектрической диагностики.

Проблемы на кабелях с пропитанной бумажной изоляцией.

### Вода в кабеле

Вследствие повреждения оболочки (отверстие из-за коррозии; трещины из-за перемещения кабеля) и обуслов-

ленный старением распад целлюлозы повышается содержание влаги в изоляции. При этом постепенно продолжает уменьшаться электрическая прочность изоляции, пока она не достигнет величины рабочего напряжения, и кабель станет уже ненадежным для эксплуатации. Срок службы таких кабелей сильно зависит от качества изготовления и условий прокладки, так что лишь на основании технического ресурса кабеля нельзя дать какую-либо информацию о качестве изоляции. Для определения влажности необходима диэлектрическая диагностика. Частичные разряды, как показывает опыт, не появляются во влажной бумажно-масляной изоляции.

## Высыхание

Вытекание массы и недостаточная пропитка приводят к высыханию этих мест и образованию полых, наполненных газом, пространств в изоляции кабеля. Из-за уменьшенной электрической прочности в таких местах появляются частичные разряды (ЧР), которые могут привести к карбонизации бумаги и разрушить изоляцию. Такие ЧР можно обнаружить и локализовать при помощи диагностики ЧР. Часто локализация таких ЧР не показывает локальных концентраций, и вместе с тем нет непосредственной угрозы повреждения, а имеется распределение по более протяженным участкам кабеля.

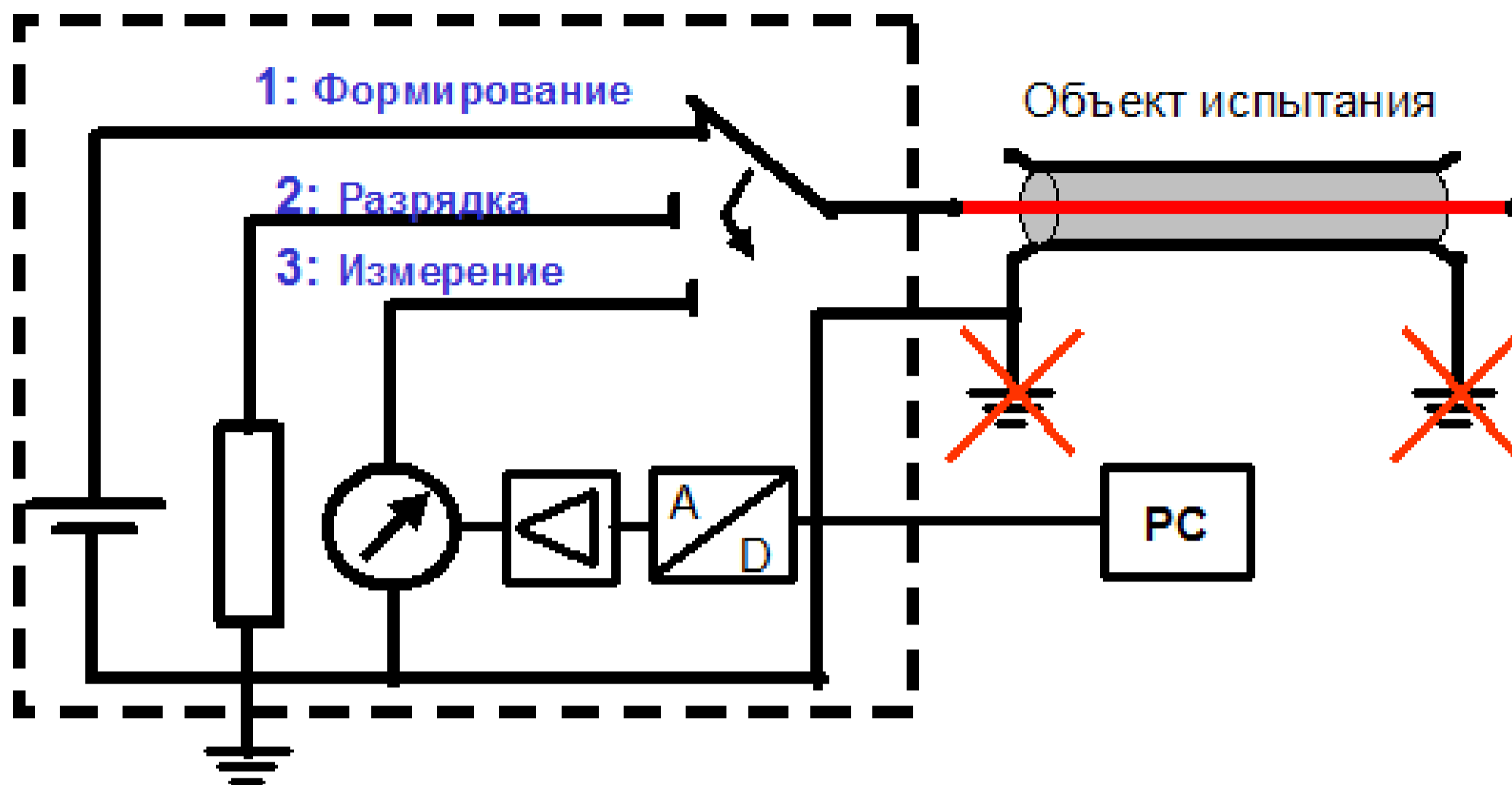


Рис 3. Схема установки для измерения возвратного напряжения

## Проблемы в муфтах и концевых заделках.

Повреждения частичными разрядами вследствие неправильного монтажа в муфтах и концевых заделках возникают ионизируемые, наполненные газом полости и зазоры, а также участки с повышенной напряженностью электромагнитного поля, которые частично уже при номинальном напряжении приводят к частичным разрядам. Затем термические процессы деградации в муфтах с ненадлежащим образом выполненными соединениями жил могут также воздействовать на участки, где могут образоваться ЧР. Такие, повреж-

денные частичными разрядами места можно обнаружить и локализовать при помощи диагностики ЧР.

## Вода в муфтах

Обнаружение влажных муфт не является первостепенной задачей диагностики. Однако при диагностике эта информация является часто «вспомогательной». Влажные муфты не вызывают ЧР, но обращают на себя внимание из-за повышенного и нестабильного зарядного тока при диэлектрической диагностике участков кабеля. Как правило, в таком случае рекомендуется провести СНЧ-испытания с последующей локализацией рефлектометром.

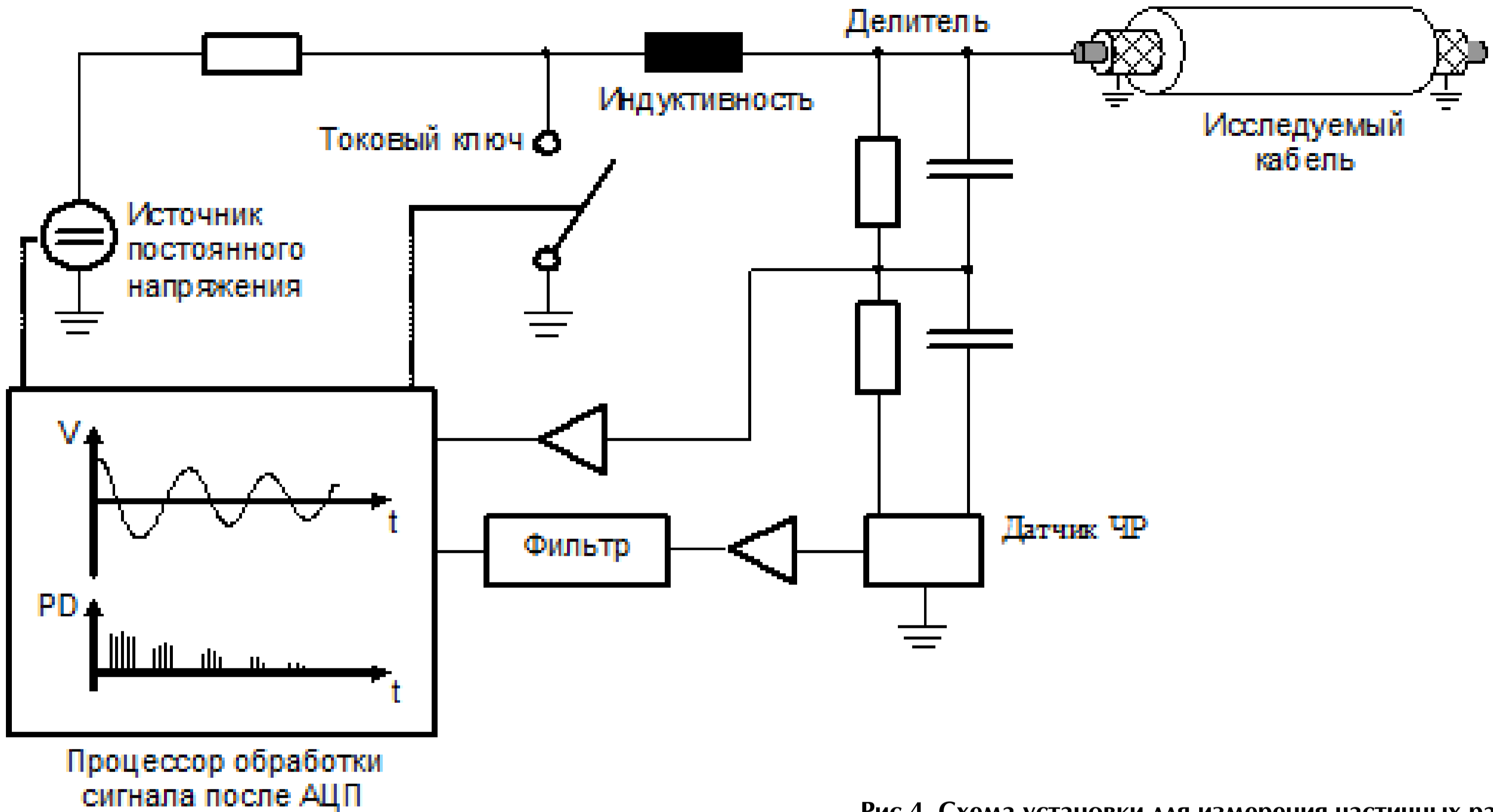


Рис 4. Схема установки для измерения частичных разрядов

**Диэлектрическая диагностика с помощью систем CDS**

Кабели должны быть отключены и полностью разряжены. Перед началом диагностики необходимо обеспечить заземление при помощи кабеля заземления или измерительного кабеля со стороны измерения. Минимальное

время заземления и короткого замыкания должно составлять 30 мин. При неблагоприятных обстоятельствах могут быть необходимы более продолжительное время короткого замыкания. Необходимо отсоединить преобразователи напряжения, почистить загрязненные концевые заделки.

**PE/VPE-кабели**

Смешанные линии из участков PE- и VPE- кабелей можно диагностировать вместе. Для проведения диагностики основная жила и экран кабеля должны быть полностью отключены с обоих концов от распределительного устройства, чтобы гарантировано исключить



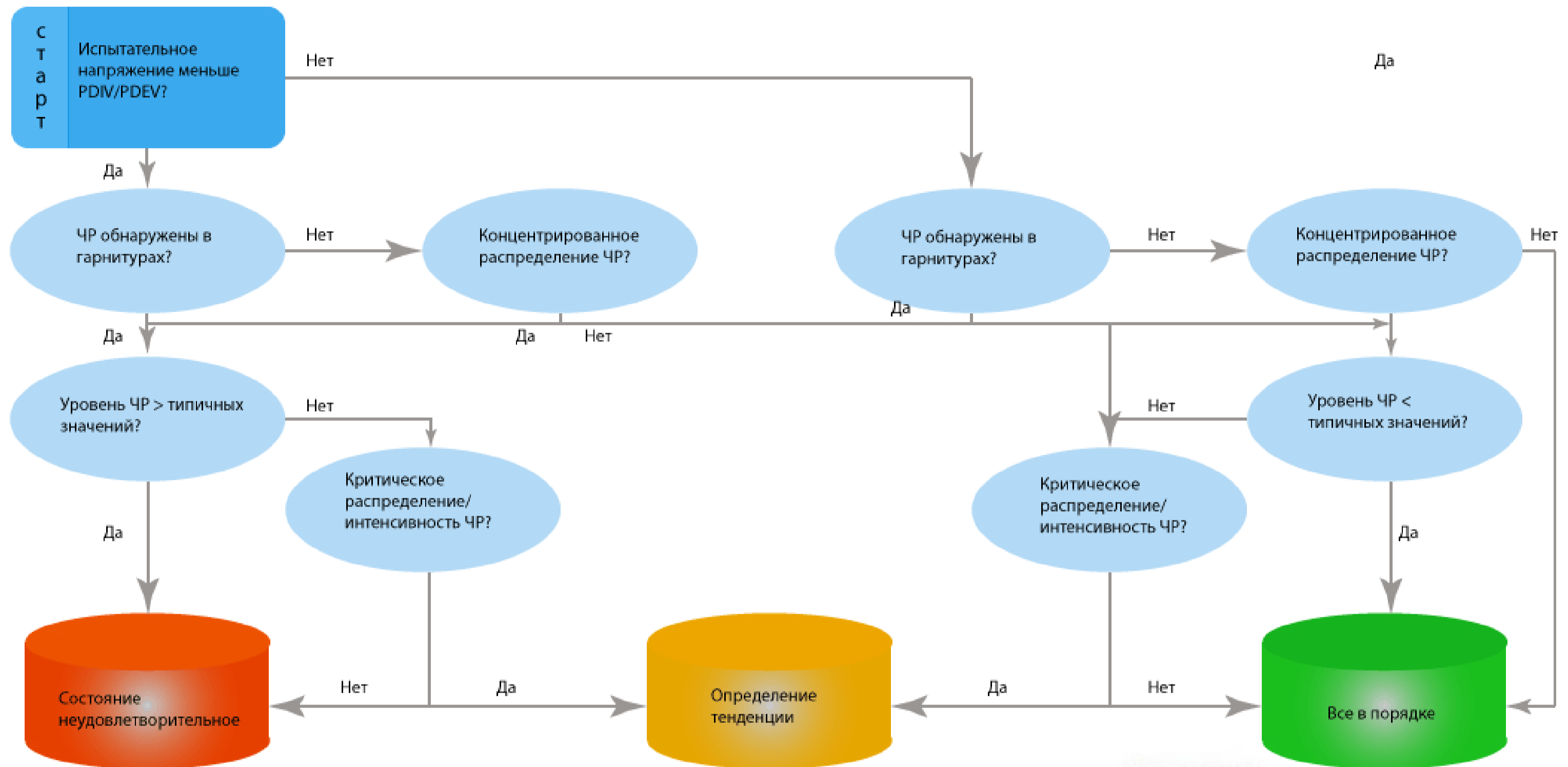


Рис 5. Правила интерпретации результатов ЧР диагностики силовых кабелей

помехи и эффекты поляризации распределительной установки.

**Кабели с пропитанной бумажной изоляцией**

Для проведения диагностики жилы должны быть полностью отключены с обоих концов от распределительного устройства. В месте измерения остается подключенным металлическая оболочка/заземление подстанции. На дру-

гом конце кабеля это подключение, если можно, надо отключить от распределительной установки, чтобы исключить влияние помех на результаты измерения.

**Смешанные линии из участков с пропитанной бумажной изоляцией и PE/VPE-кабелями**

Согласно физическим законам на смешанных кабелях в результате диагностики возможна информация лишь



Рис 6. Система диагностики и локализации мест повреждения кабельных линий методом измерения частичный разрядов

о кабеле с пропитанной бумажной изоляцией. Разумеется, кабельная линия большей частью должна состоять из кабеля с пропитанной бумажной изоляцией, доля РЕ/ВРЕ- кабелей должна составлять макс. 20% от всей длины кабелей. Часто это имеет место при ремонте отдельных участков и вводов на подстанциях. Подготовительные работы такие же как для кабелей с пропитанной бумажной изоляцией.

## **Диагностика частичных разрядов (ЧР) с помощью системы OWTS**

Для такой диагностики кабели должны быть отключены и разряжены. При наличии элегазовых установок переключения надо заранее подготовить измерительные адаптеры. Для точной локализации мест повреждения ЧР особенно важны точные схемы кабельных линий и муфт.

Характеристики частичных разрядов зависят от типа, размера и местоположения дефекта, изоляционного материала, приложенного напряжения, температуры кабеля, а также изменяются с течением времени. Повреждения из-за ЧР зависят от ряда факторов и могут изменяться в диапазоне от незначительных до опасных, приводящих к отказам в сроки от ближайших дней до нескольких лет.



**Рис 7. CDS система для диэлектрической диагностики кабеля**



## Проведение высоковольтных испытаний с помощью аппаратов АИД-70М и АИД-70Ц

С необходимостью высоковольтных испытаний сталкиваются инженеры самых разных секторов экономики – электроэнергетики, нефтегазовой промышленности, транспорта, строительства, приборостроения. Испытания проводятся как систематические, с определенной периодичностью контролирующее состояние изоляции высоковольтных кабелей и работоспособность устройств, работающих в составе электрических установок высокого напряжения, так и по необходимости, скажем, для осуществления контроля качества готовой продукции, либо испытание кабеля перед его прокладкой. Своевременная диагностика позволяет избежать негативных последствий неожиданного выхода из строя дорогостоящего оборудования. Аппаратура для этих задач должна иметь широкий диапазон рабочих характеристик, быть универсальной, мобильной и, конечно же, надежной.

На сегодняшний день одним из наиболее распространенных аппаратов такого типа является аппарат испытания диэлектриков АИД-70, выпускаемый с восьмидесятых годов прошлого столетия подмосковным заводом «Мосрентген». Тысячи аппаратов АИД-70 до сих пор эксплуатируются по всей территории бывшего СССР и являются образцом функциональности и надежно-



**Рис 1. АИД-70Ц**



**Рис 2. АИД-70М**

сти – многие из них работают 15-20 лет, что вдвое превышает заявленный срок службы. В 2004 году завод передал производство этих аппаратов специальному конструкторскому бюро «Медрентех», в то время занимающемуся выпуском Установки контроля и диагностирования диэлектриков УКД-70. Большинство инженеров и конструкторов высоковольтной техники завода Мосрентген присоединились к коллективу конструкторов СКБ «Медрентех», объединив усилия для усовершенствования выпускаемой и разработки новой аппаратуры. Результатом продолжительной работы ведущих специалистов в области высоковольтной испытательной аппаратуры

стала глубокая модернизация АИД-70, заключающаяся в широком применении качественных импортных комплектующих и материалов, улучшению технических характеристик, повышению точности измерений. Усовершенствованный аппарат получил наименование **АИД-70М**, был внесен в Государственные реестры средств измерений России, Казахстана и Беларуси, стал продаваться с поверкой. Большое внимание уделено вопросу безопасности пользователей - важным отличием **АИД-70М** является новая конструкция автоматического разрядного устройства, расположенного внутри высоковольтного генератора. Замыкание высоковольтного вывода генератора

осуществляется на землю через вторичную обмотку трансформатора, сопротивление которого  $95 \pm 4,75$  кОм. Это позволяет произвести быстрый (до 3 сек) и безопасный разряд остаточного емкостного заряда испытуемого объекта даже при напряжениях, приближенных к 70 кВ. Кроме того, отсутствие остаточного заряда контролируется измерительными приборами аппарата. В зарубежных аналогах данного аппарата разряд емкости кабеля производится аналогичным образом, аппарат, также, имеет возможность подключения световой и звуковой индикации включения высокого напряжения.

**АИД-70М** сертифицирован на соответствие государственным требованиям по электробезопасности и электромагнитной совместимости, получил необходимые для данного вида продукции Сертификат соответствия и Декларацию о соответствии. За время производства аппарат несколько раз менял внешнее исполнение, сейчас его пульт управления имеет яркие семи-сегментные индикаторы, которые красочно и наглядно сообщают текущее напряжение и ток. Аппарат **АИД-70М** оптимален для мобильного использования, отличается неприхотливостью и надежностью.

Все это позволило аппарату нового поколения с момента его появления и вплоть до 2012 года быть одним из лидеров рынка высоковольтной испытательной аппаратуры.

Не останавливаясь на достигнутом, спе-

циалисты «Медрентех» в 2007 году представили **АИД-70Ц**, аппарат нового поколения, имеющий микропроцессорную систему обработки сигналов и управление силовой частью, позволила наделить **АИД-70Ц** новыми функциями для удобства работы с аппаратом:

- встроенная память, позволяющая записывать параметры пяти наиболее часто проводимых видов испытаний (изоляторы, разрядники, выключатели, кабели 6,3 кВ, кабели 10 кВ и т.п.)
- возможность выбора между ручным и автоматическим режимом работы, последний предусматривает задание оператором величины испытательного напряжения с шагом 1 кВ, скорости подъема испытательного напряжения, напряжения и тока срабатывания защиты, времени проведения испытания
- вывод всей необходимой информации о параметрах и результатах испытаний на яркий шестидюймовый жидкокристаллический дисплей
- управление аппаратом осуществляется энкодером, оператор легко может установить с помощью встроенного меню, например, пользовательские режимы испытаний и даже изменить необходимые настройки точности аппарата.
- возможность вывода протокола испытаний на печать (опционально)
- пульт аппарата выполнен в пластиковом корпусе с удобной лямкой для транспортировки

Конструкторы применили в **АИД-70Ц** двух-контурную систему стабилизации, позволяющая повысить точность поддержания напряжения на заданном уровне и исключить возможные колебания. Это стало возможным благодаря разделению отслеживанию колебаний напряжения электропитания и напряжения, связанного с изменением тока нагрузки. Система управления отслеживает возможные изменения и оптимизирует сигнал управления автотрансформатором.

**АИД-70Ц** это наиболее современный из представленных на рынке аппаратов подобного назначения, отлично подходит для стационарного использования, имеет все необходимые разрешительные документы для использования на территории РФ, внесен в Государственный реестр средств измерений и продается с поверкой.

Обращаем ваше внимание, что с 3 августа 2009 года товарный знак «АИД» зарегистрирован в Государственном реестре товарных знаков и знаков обслуживания Российской Федерации за номером 385408 (приоритет от 07 декабря 2007 г.) и с этого момента ООО «СКБ «Медрентех» имеет исключительное право на его использование. Предприятие не имеет отношение к предлагаемой сегодня аппаратуре, обозначаемой с использованием аббревиатуры «АИД-70», за исключением **«АИД-70М»** и **«АИД-70Ц»**.



## Испытания высоковольтных кабелей с помощью установок серии HVA

Основанная в Австрии, компания b2 GmbH Group (торговая марка HV Diagnostics) специализируется на разработке и производстве самых современных высоковольтных приборов и диагностического оборудования для тестирования и испытания высоковольтных кабелей, трансформаторов, выключателей, двигателей и другого разнообразного оборудования, используемого в энергетике, на производстве и в строительстве.

Компания b2 имеет несколько десятилетий опыта в разработке и производстве высоковольтных испытательных установок и диагностических систем для кабелей из сшитого полиэтилена. Несколько сотен установок «сверхнизкой частоты» (СНЧ - 0.1 Гц), проданных за последние несколько лет, позволяют иметь непосредственную связь с конечным заказчиком, и как следствие обеспечивают производителя важнейшей новой информацией для дальнейшего улучшения продукции и новых инновационных решений.

Компания b2 GmbH Group (торговая марка HV Diagnostics) предлагает потребителю широкий спектр диагностического оборудования в диапазоне напряжения от 28 до 200кВ для проведения испытаний кабельных линий от 6 до 140кВ.

С начала 70-х годов 20 века кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена активно за-



Рис 1. Установка для испытания кабеля HVA

меняют кабели с бумажно-масляной изоляцией. Низкие величины относительной диэлектрической проницаемости, большой запас термической стойкости стали главной причиной, заставившей выбрать сшитый полиэтилен, как изоляционный материал для кабелей среднего и высокого напряжения.

Высоковольтные кабели с изоляцией из

сшитого полиэтилена (СПЭ) согласно нормативам нельзя испытывать традиционными методами, так как в процессе испытаний постоянным током в кабеле формируются объемные заряды, распределяющиеся неравномерно в структуре основной кабельной изоляции, что может приводить к значительному снижению ресурса всего кабеля.

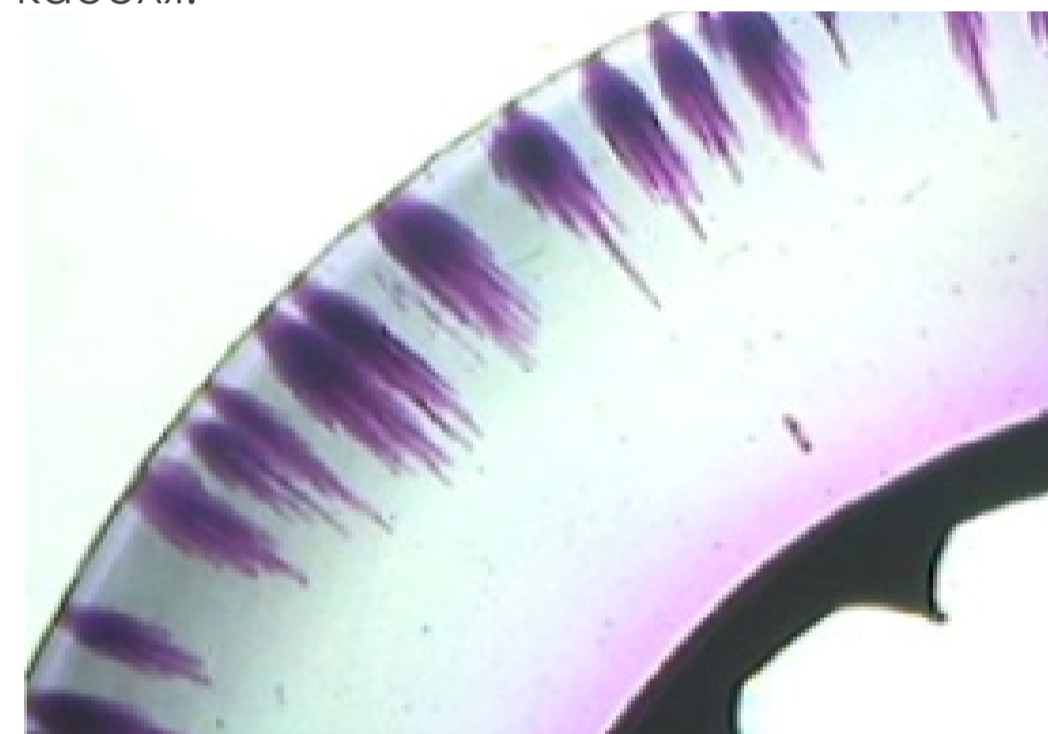


Рис 2. Дефекты изоляции кабеля, вызванные воздействием воды

Обширные исследования и накопленный опыт при испытаниях также показывают, что испытания повышенным постоянным напряжением значительно снижают прочность его изоляции. Доказано, что испытания высоким постоянным напряжением уменьшают срок эксплуатации кабелей и значительно увеличивают рост водных трингов (дефектов изоляции).

Поэтому для испытания как новых, так и на-

ходящихся в эксплуатации СПЭ-кабелей (а также кабелей с бумажно-масляной изоляцией) на сегодняшний день рекомендуется применять установки сверхнизкой частоты (СНЧ; или VLF - Very Low Frequency). Такие испытания не влияют на состояние материала изоляции и кабель не теряет своих свойств. Более того испытание, например, кабеля с бумажно-масляной изоляцией переменным напряжением позволяет снизить максимальную амплитуду испытательного напряжения с шестикратного до трехкратного значения, что позволяет избежать резких стрессовых воздействий, особенно на старые кабели.

Использование высоковольтного тестирования переменным синусоидальным напряжением сверхнизкой частоты позволяет оперативно и точно определить дефекты изоляции, пока они не достигли критических значений и не привели к дорогому и длительному ремонту.

Синусоидальная форма сигнала является наиболее предпочтительной при тестировании кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена, так как позволяет максимально быстро обнаружить дефект изоляции.

Преимущества синусоидального испытательного напряжения 0.1 Гц при тестировании кабелей из сшитого полиэтилена состоит в том, что напряжение такой формы не зависит от величины нагрузки - это означает, что положительная и отрицательная половины цикла абсолютно идентичны.

Из-за этого не может произойти накопление постоянной составляющей и создаться объемный заряд, который может впоследствии повредить участок изоляции что приведет в дальнейшем к повреждению кабеля в эксплуатации.

Высоковольтные установки серии НВА являются универсальными и позволяют испытывать кабели с любым типом изоляции. На выходе установки может быть получено три разных вида плавно регулируемого по амплитуде напряжения: постоянное любой полярности или переменное напряжение сверхнизкой частоты VLF с синусоидальным или прямоугольным выходным сигналом.

Процесс испытания в зависимости от производственных условий может выполняться в ручном или автоматическом режимах. Данная функция позволяет очень гибко использовать установку для любых испытаний, где требуется высокое переменное или постоянное напряжение. Более того, система имеет возможность снижения частоты выходного напряжения, что позволяет испытывать более протяженные кабели.

Установка может также использоваться в режиме удержания тока пробоя, для дальнейшего применения средств прожига и определения места повреждения. Современная система контроля и управления позволяет пользователю задавать необходимые пороги срабатывания защиты и условия испытания. В случае пробоя испыту-

емой изоляции отображается величина действующего значения пробивного напряжения. Если активирован режим удержания тока пробоя (создание условий для определения места повреждения), сопротивление изоляции в месте пробоя может быть значительно снижено, что позволит в дальнейшем ускорить определение места повреждения.

В дополнение установка НВА может использоваться для испытаний как основной изоляции кабеля так и изоляции его оболочки, а также поиска места повреждения оболочки.

Высоковольтные установки НВА измеряют емкость нагрузки, что избавляет пользователя от необходимости применять дополнительные приборы или оборудование.

Удобное меню работы с прибором на русском языке позволяет избежать ошиб-



Рис 3. Цифровой дисплей установки НВА



ки, а также быстро, точно и безопасно провести испытание или диагностику высоковольтного кабеля.

Дополнительно хочется сказать пару слов о безопасности высоковольтных испытаний. Компания-производитель уделяет огромное внимание этому вопросу. Все установки имеют встроенный индикатор наличия напряжения от 100В до 12кВ, а также автоматическое, дублированное (электронное и механическое) разрядное устройство.

Основным применением установки HVA является испытание кабеля, но не ограничено этим. С помощью данной установки вы можете испытывать любое высоковольтное оборудование - генераторы, емкости, выключатели, трансформаторы, двигатели, изоляторы, муфты. Более того установка имеет специальный режим тестирования вакуумных камер высоковольтных выключателей.

Как уже говорилось выше компания b2 GmbH Group (торговая марка HV Diagnostics) производит широкий спектр оборудования, в зависимости от того какой кабель Вы планируете испытывать. В связи с тем, что Российские стандарты испытаний пока еще только согласовываются, и испытание проводятся согласно рекомендациям заводов-изготовителей кабеля и/или местных сетевых компаний, мы рекомендуем использовать следующие установки для испытания кабеля:

кабель 6,10кВ - **HVA30** (макс. перем на-

## Испытания повышенным напряжением



**Рис 4. Установка для испытания кабеля HVA-28**

пряжение до 34кВ)

кабель 6,10 и 35кВ – **HVA60** (макс перем напряж 62кВ прямоугольник) или **HVA90** (макс перем напряжение 90кВ синус)

- кабель 6,10,35 и 110кВ – **HVA120** (макс перем напряжение 120кВ)

Необходимо ответить, что большой упор делается производителем на минимизацию веса и размера установок, при сохранении при этом их технических характеристик.



**Рис 5. Высоковольтная испытательная установка HVA200 (до 200кВ)**

Вес высоковольтной установки **HVA28** составляет всего 14кг! Что позволяет использовать ее отдельно, как и другие установки HVA, без приобретения высокозатратной высоковольтной мобильной лаборатории на базе автомобиля.



**Рис 6. Модуль измерения тангенса угла диэлектрических потерь**

Из новинок, которые готовятся к производству и которые действительно уникальны, надо отметить установку HVA200 – ее выпуск планируется на конец 2012 года - данная высоковольтная установка будет иметь возможность подавать испытательное напряжение до 200кВ.

С мая 2012 года также принимаются заказы на установку HVA120, позволяющую испытывать кабели 110кВ переменным напряжением сверх низкой частоты.

В связи с все большей популярностью использования не только методов испытания, но и методов диагностики кабеля, на базе высоковольтной установки HVA Вы можете собрать (именно собрать – как конструктор) высокомогущный диагностический комплекс, включающий в себя самые популярные методы неразрушающего контроля диагностики состояния высоковольтных кабелей:

- измерение частичных разрядов (ЧР);
- измерение тангенса дельта на частоте 0,1 Гц;
- емкость и тангенс дельта, измеренные в диапазоне частот от 0,1 до 0,02 Гц (диэлектрическая спектроскопия).

Преобразование испытательной установки в систему диагностики кабеля осуществляется путем добавления к установке HVA модулей измерения тангенса дельта на частоте 0,1 Гц (TD) и измерения частичных разрядов (PD) или с 2012 совмещенных модулей TD/PD.

Данная компоновка имеет огромное пре-

имущество – Вы можете одновременно измерять тангенс и уровень ЧР на кабеле, все подключения производятся одним проводом, что сводит к минимуму вероятность ошибки оператора, создавать базу Ваших кабелей. Более того, что очень важно, нет необходимости сразу приобретать все оборудование – можно начать с высоковольтной установки HVA, а далее по мере необходимости или выделения бюджета дооснащать ее впоследствии необходимыми Вам модулями диагностики.

Таким образом установки серии HVA являются одними из наиболее современным на сегодняшний день высоковольтных испытательных СНЧ установок, а также наиболее компактными и легкими по весу. Данные установки олицетворяют собой все, что нужно для диагностики кабеля в одном приборе.

Основные преимущества данного оборудования :

- Высоковольтное автоматическое испытание СНЧ (0.1Гц), Постоянным напряжением DC ( $\pm$ ), поддержание места прожига изоляции и тестирование оболочки кабеля.
- Идеальный, симметричный, полностью синусоидальный выходной высоковольтный сигнал на всем диапазоне, вне зависимости от нагрузки.
- Большой ЖК дисплей с подсветкой - Графическое отображение формы выходного тестирующего сигнала в реальном времени на дисплее прибора, а также всех параметров тестирования – напряже-

ние, ток, емкость

- Удобный и простой пользовательский интерфейс, управляемый только одним навигационным колесиком.
- Одноблочная, ударопрочная конструкция прибора.
- Огромный потенциал тестирования по емкости (до 10мкФ), что соответствует 30км стандартного высоковольтного кабеля
- Встроенная автоматическая система выбора оптимальной тестовой частоты прибора (СНЧ) в зависимости от величины нагрузки
- Энергонезависимая память. Программное обеспечение в комплекте.
- В установке не используются никакие подвижные механические части или масло для генерации или изоляции высокого напряжения. Этим достигается минимизация обслуживания установки и как следствие существенное увеличение срока ее службы.
- Защита от короткого замыкания в случае прожига изоляции



## Прожиг силовых кабелей сегодня МПУ-3 «Феникс»

В последние годы беспрожиговые методы поиска повреждений энергетических кабелей получили в России довольно широкое распространение. Особенно это касается импульсно-дугового метода, он же Arc Reflection. И всё-таки возможности использования таких методов в российском электросетевом хозяйстве остаются ограниченными. Это связано с тем, что большая часть кабельных линий остается неоттрассированной, а на таких кабелях одними беспрожиговыми методами и акустическим поиском не обойдешься. Поэтому самой популярной схемой поиска повреждений на энергетических кабелях в России остается и в ближайшие годы останется схема «прожиг - импульсная рефлектометрия - индукционный поиск - подтверждение акустикой».

Залог эффективности работы по такой схеме - хороший прожиг. С одной стороны, он должен обеспечивать появление надежного металлического мостика в месте повреждения, для чего требуется большая мощность. С другой стороны, «вквашивание» в кабель большой мощности в процессе прожига не должно приводить к тому, чтобы кабель выходил из строя в других местах.

Нынешнее поколение прожигающих установок, используемых в российском электросетевом хозяйстве, в значительной степени сформировалось под влиянием малогабаритного прожигающего устрой-

ства МПУ-3 «Феникс», появившегося еще в 2000 году. Именно технические решения, впервые успешно реализованные в этом приборе, задают требования к сегодняшним «прожигалкам».

Во-первых, это непрерывный прожиг во всем диапазоне рабочего напряжения (у «Феникса» - от 20 кВ до 0). Предыдущее поколение прожигающих установок использовало ручное переключение ступеней оператором, что приводило к прерыванию горения дуги, увеличивало время прожига и создавало возможность для «заплавания» пробоев. В «Фениксе» три источника (20 кВ, 5 кВ и 600/300 В) включены одновременно через диодную линейку и не отключаются, пока идет процесс прожига. Благодаря этому дуга не прерывается ни при падении напряжения, ни при его росте («заплавании» пробоя). Такое решение оказалось возможным благодаря тому, что силовые транзисторы, на основе которых осуществляются преобразования тока/напряжения в «Фениксе», в режиме короткого замыкания имеют почти нулевое энергопотребление. Масляные трансформаторы - основа большинства других прожигающих устройств - имеют существенно большее энергопотребление в режиме короткого замыкания, и держать их все включенными на протяжении всего процесса прожига накладно. Хотя вопрос переключения ступеней без прерывания дуги в таких



Рис 1. МПУ-3 «Феникс»

устройствах решен, при росте напряжения и «заплавании» пробоя более высокий по напряжению источник может оказаться уже отключившимся, и тогда дуга прервется. При работе по «заплаванию» пробоям «Фениксу» и по сей день нет равных.

Во-вторых, это синхронизация работы с устройствами высоковольтного прожига и обеспечение непрерывного прожига от напряжений в 45 - 60 кВ до 0. «Феникс» через диодную линейку коммутирован с АИД-60П «Вулкан-М», который может начать прожиг с 60 кВ. При падении напряжения до 20 кВ «Феникс» подхватывает процесс, не прерывая дуги. Сегодня все серьезные производители прожигающей техники применяют аналогичные решения.

В-третьих, это контроль оператором тока прожига. Это требование особенно существенно при прожиге в кабельных каналах. Неконтролируемый рост тока прожига при падении напряжения в таких ситуациях зачастую приводит к повреждению и выводу из строя соседних кабелей. В «Фениксе»





**Рис 2. Установка МПУ-3 «Феникс» на этапе сборки**

такое невозможно. Каждый из силовых модулей в нем работает как источник тока и выдает, соотв., не более более 150 мА, 1,2 А и 20 А. Более того, выпускается версия прибора с ручным ограничением максимального тока прожига: оператор выставляет максимально допустимый ток, и, что бы ни происходило в месте повреждения, ток прожига не поднимется выше установленной величины. Вопрос об ограничении и контроле над током прожига до сих пор решен далеко не всеми производителями прожигающей техники. Некоторыми установками жечь кабели в кабельных каналах просто опасно!

В-четвертых, это эффективное энерговыделение только в месте повреждения. В процессе прожига изоляция не должна повреждаться в других местах. Место повреждения должно быть прожжено таким образом, чтобы для ремонта достаточно было поставить муфту, а не кабельную вставку с двумя муфтами. Именно эту задачу «Феникс» решает очень эффективно:



**Рис 3. Установка МПУ-3 «Феникс», втроненная в передвижную электротехническую лабораторию**

даже кабели 380 В с виниловой изоляцией не сбрасывают с себя оболочку метрами вокруг места повреждения, а имеют четко локализованное отверстие.

В-пятых, современное прожигающее устройство должно полноценно работать от автономного источника питания ограниченной мощности. Большая часть электротехнических лабораторий сегодня монтируется на шасси «ГАЗели» или её аналогов, а иногда и «Соболя». Разместить в таком шасси полный набор оборудования и электростанцию мощностью более 6 (редко – 8) кВт просто физически невозможно. Чтобы обеспечить прожиг от таких источников питания, разработчики идут на создание прожигающих устройств малой мощности. Платить за это приходится дорогой ценой – временем прожига и его эффективностью. У «Феникса» же собственное энергопотребление очень мало, и работа от электростанции мощностью 6 кВт позволяет вести полноценный прожиг даже в самых сложных режимах.

В-шестых, это работа длительное время без перегрева. На сложных и неудобных повреждениях прожиг может продолжаться несколько часов. Высокое внутреннее энергопотребление прибора приводит к тому, что прибор перегревается, процесс приходится прерывать, и поврежденное место снова «заплывает». Особенно такие ситуации типичны, когда прожиг идет в муфте. За счет малого внутреннего энергопотребления «Феникс» способен без дополнительного вентилирования работать непрерывно более часа даже жарким южным летом, а подмосковной зимой он работает неограниченное время. Более того, дополнительное вентилирование прибора существенно повышает его возможности при работе на жаре.

Наконец, в-седьмых, прожигающее устройство должно быть таким, чтобы его можно было использовать и как носимый автономный прибор, и в составе приборных комплексов, смонтированных на шасси, и в составе электротехнических лабораторий заводского изготовления. Как уже было сказано выше, «Феникс» разработан на основе силовых транзисторов, и все преобразования в нем осуществляются на частоте 20 кГц. Это позволило не применять масла и создать компактный прибор весом 55 кг, при виде которого военные обычно восклицают: «Так его два солдата на руках носить могут!» Несмотря на то, что «Феникс» эксплуатируется уже второй десяток лет, по компактности он по-прежнему превосходит все имеющиеся «прожигалки».



Эта статья содержит необходимый объём информации, позволяющей вам понять основные принципы функционирования импульсных рефлектометров, а также методику анализа графиков рефлектограмм. В статье приводится анализ графиков характерных дефектов: обрыв кабеля, короткое замыкание жил кабеля, разбитость пар в кабеле типа ТПП, намокание кабеля, а также обнаружение прочих устройств на кабельной линии: муфта, сростка кабеля, определение места параллельного подключения к кабелю. В статье даются рекомендации по применению различных методик измерения, в зависимости от характера дефекта кабеля. Эта статья может быть полезна как начинающему инженеру (кабельщику), так и опытному специалисту.

Для начала определимся с терминами. Далее в тексте мы будем оперировать понятиями рефлектометрия и импульсная рефлектометрия.

Рефлектометрия – это технология, позволяющая определять различные характеристики исследуемой среды по отражению отклика сигнала: поверхности (например, определение коэффициентов отражения и поглощения) или объемной среды (например, изучение распределения неоднородностей в оптическом волокне).

Импульсная рефлектометрия – это область измерительной техники, которая основывается на получении информации об измеряемой линии по анализу её реакции

## И м п у л ь с н а я р е ф л е к т о м е т р и я

на зондирующее (возмущающее) воздействие. Импульсная рефлектометрия применяется как для металлических кабелей всех типов, так и для волоконно-оптических кабелей связи.

В этой статье упор сделан именно на импульсную рефлектометрию для металлических кабелей всех типов. Типы кабелей, на



**Рис 1.**

которых может применяться импульсный рефлектометр, приведены на рис. 1. Импульсный рефлектометр не может применяться для анализа одножильных проводов, однако если жилы объединены в систему с чётко выдержанным изолирующим расстоянием между ними (например, ЛЭП), то импульсный рефлектометр рассматривает её как кабельную линию.

Рассмотрим структурную схему импульсного рефлектометра (рис. 2). Генератор зондирующих импульсов посылает в кабельную линию видеосигнал. Приёмник отражённых сигналов через равные промежутки времени захватывает показания с линии и отображает их на устройстве ото-

бражения (экране) прибора. Таким образом, на экране импульсного рефлектометра строится график, на котором по вертикальной оси отображается амплитуда отражённого сигнала, а по горизонтальной оси – время. Строго говоря, импульсный рефлектометр измеряет именно временную задержку между входным воздействием и отражённым сигналом. Однако, зная скорость распространения электромагнитной волны в кабеле, можно трансформировать ось времени в ось расстояний, что и сделано во всех импульсных рефлектометрах. Более подробная информация содержится в разделе статьи, посвящённой коэффициенту укорочения (КУ).



**Рис 2.**

Работу импульсного рефлектометра очень просто разъясняет пример длинного тоннеля. Мы можем не видеть конца этого тоннеля, но если крикнуть в него, то через некоторое время мы услышим эхо, возвращающееся нам о том, что наш крик отразился от конца тоннеля и вернулся назад в виде

эхо. Иногда мы можем услышать множественное эхо, когда сигнал несколько раз отражается от начала и конца туннеля (об этом мы вспомним, когда будем рассматривать процесс согласования прибора с кабельной линией).

Сейчас мы сделаем небольшое отступление, и рассмотрим кабельную линию с точки зрения физики. Одной из важнейших характеристик кабеля является волновое сопротивление  $Z_0$ . Если кабель исправен и его волновое сопротивление не меняется — сигнал проходит по кабелю без отражений. Если имеет место обрыв, короткое замыкание или иная неоднородность — сигнал отражается полностью, или частично, причем коэффициент отражения определяется следующим образом:

$$K = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

Где  $Z$  – волновое сопротивление в точке неоднородности.

Для дальнейшего понимания процесса рассмотрим модель кабеля. Любую кабельную линию можно описать в терминах погонных величин: емкости  $C$ , индуктивности  $L$ , активного сопротивления  $R$  и межпроводной проводимости  $G$ , как это показано на рис. 3. Таким образом, бесконечный кабель моделируется бесконечной цепью одинаковых малых кусочков единичной длины, имеющих указанные погонные характеристики.

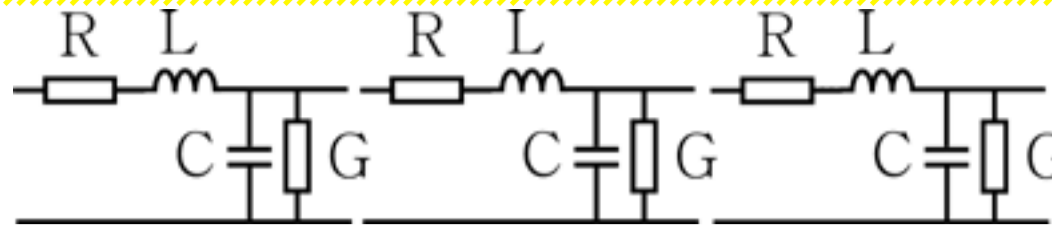


Рис 3.

Известна связь погонных характеристик и волнового сопротивления кабеля:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

В области высоких частот, наиболее интересной для импульсной рефлектометрии, формулу (2) можно упростить, так как в этой области  $R \ll \omega L$  и  $G \ll \omega C$ :

$$Z_0 \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Формулы (3) и (1) чрезвычайно важны для понимания принципа работы импульсного рефлектометра: импульсный рефлектометр не отображает изменения сопротивления шлейфа или сопротивления изоляции. Он обнаруживает и визуализирует наличие отражения от неоднородности волнового сопротивления, причем по характеру отражения можно судить о его природе. Так локальное увеличение индуктивной составляющей приводит к росту волнового сопротивления в этой точке (ф.(3)) и возникновению отклика положительной полярности (ф.(1)), а увеличение емкостной составляющей приводит к уменьшению волнового сопротивления в точке отражения и, соответственно, к образованию от-

клика отрицательной полярности.

В точке обрыва ( $R = \infty$ )  $K = 1$  и имеем полное отражение в виде импульса положительной полярности. В точке короткого замыкания ( $G = \infty$ )  $K = -1$  и возникает такое же отражение, только в виде импульса противоположенной полярности. Что же касается амплитуд импульсов, то они зависят не только от коэффициента отражения, но и от ослабления исходного импульса в кабеле на длине, равной расстоянию от источника импульсов до точки отражения и обратно.

На этом мы закончим анализ формул и перейдем к анализу практических графиков рефлектограмм.

Итак, импульсный рефлектометр подключен и исследуемому кабелю. Правильная интерпретации графика рефлектограмм возможна при согласовании прибора с кабельной линией. Для согласования волновых сопротивлений, в прибор вмонтирована ручка, поворачивая которую вы можете наблюдать следующие графики (рис. 4 и рис. 5). Примечание, все графики рефлектограмм получены с помощью импульсного рефлектометра [ПИ-10М1](#) и отображаются в программе IRView. Если вы используете другой импульсный рефлектометр, то отображение графиков может различаться.



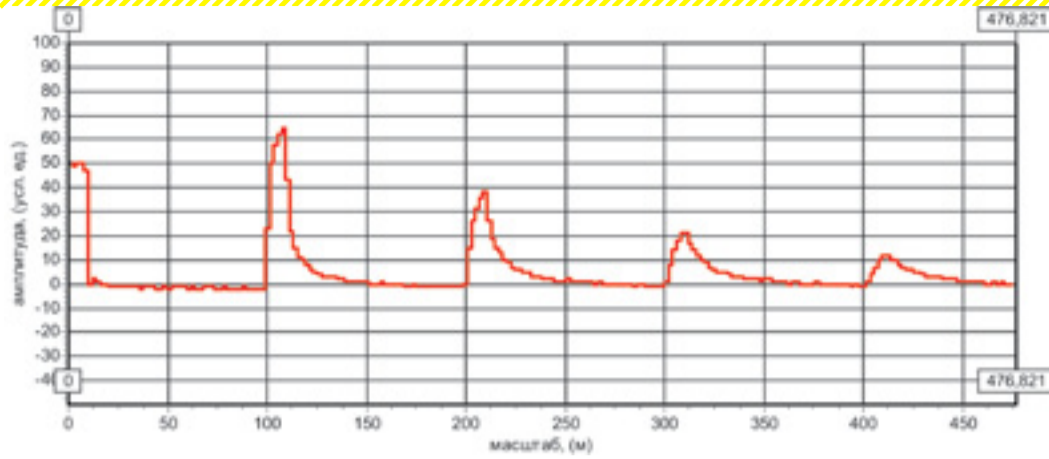


Рис 4.

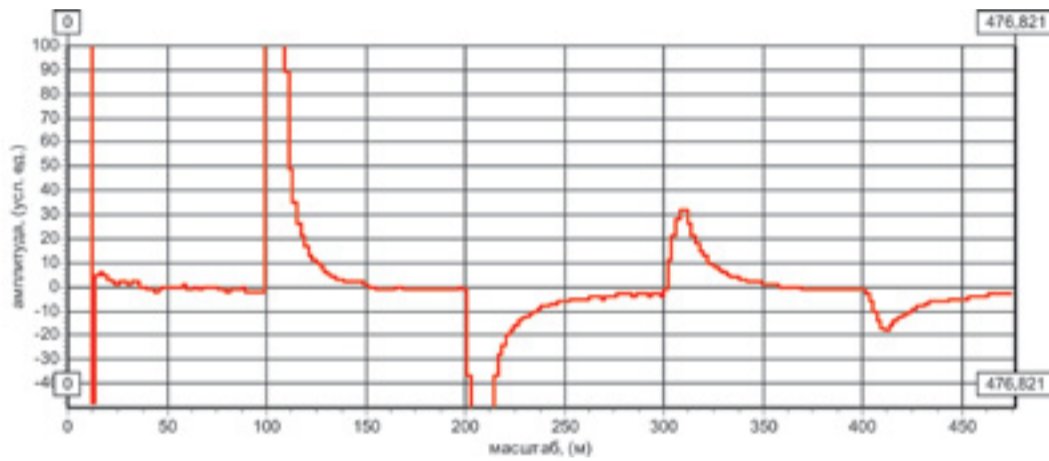


Рис 5.

На рис. 4 и рис. 5 отображается рефлектограмма кабеля длиной 100 метров в двух крайних положениях ручки согласования волнового сопротивления кабеля с входным сопротивлением импульсного рефлектометра. Если вспомнить пример с длинным тоннелем и многократно отражающимся эхом, то можно провести параллели с откликами на графике. Это так называемые, “фантомные отражения” на рис. 4, которые являются результатом отражения вернувшегося импульса от входа прибора. Повторно отраженный импульс вновь отражается от реального обрыва и возвращается на вход прибора. В зависимости от положения ручки согласования, т.е. в зависимости от того – больше входное сопротивление, чем волновое сопротивление кабеля, или меньше, вторичный

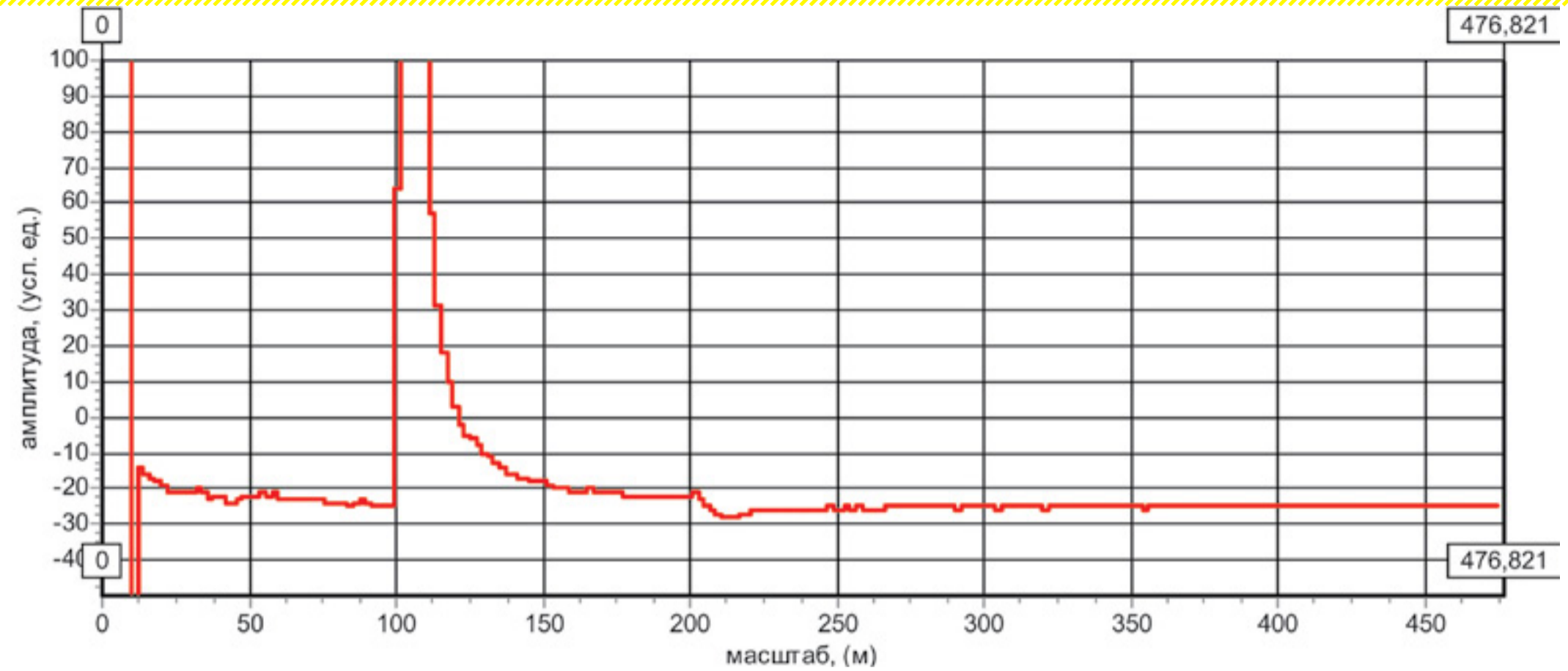


Рис 6.

импульс может быть как прямой полярности, так и обратной. При хорошем качестве кабеля, или небольших дальностях, т.е. в случае малого затухания мы можем наблюдать цепочку импульсов (рис. 4 и рис. 5), обусловленную вторым, третьим и т.д. отражениями. Складываясь с “полезным” сигналом, эти дополнительные отражения могут образовать весьма причудливую картину, не всегда однозначно интерпретируемую. Поэтому следует стремиться к максимальному согласованию входа прибора с исследуемым кабелем. Удачное согласование изображено на рис. 6. При этом “фантомные отражения” практически исчезают. В практической работе часто возникают проблемы, связанные с согласованием кабеля с прибором, кабеля с кабелем или

оконечным устройством. Приведем некоторые из них. Если, к примеру, на конце кабеля установлено согласующее устройство с активным сопротивлением, равным волновому сопротивлению кабеля, то определить конец кабеля невозможно (см. ф.1), т.к. отражение отсутствует. Другим, наиболее распространенным примером, является невозможность полного согласования прибора с кабелем, выражающаяся в невозможности убрать «фантомные» отражения». Подобные ситуации наиболее часто встречаются на силовых кабелях, но иногда они возникают и на высококачественных коаксиальных кабелях. Для понимания природы этого явления обратимся вновь к формуле волнового сопротивления, но в полном ее варианте (2). Очевидно, что в общем случае волновое сопротивление зави-

сит от частоты, а, следовательно, не может быть одним и тем же в широком диапазоне частот, входящем в состав спектра прямоугольного зондирующего импульса. Таким образом, полное согласование простым способом, т.е. вращением ручки согласующего потенциометра, недостижимо никогда. Итоговая картина, обусловленная остаточным отражением, зависит уже от свойств кабеля. Так для силовых кабелей с повышенным ослаблением высоких частот, возникает необходимость согласования в области низких частот, где волновое сопротивление сильно зависит от частоты, а также растет и может превысить диапазон регулирования. Для высококачественных широкополосных радиочастотных кабелей проблема уже в другой части диапазона – высокочастотной. Вход рефлектометра имеет также реактивную составляющую (входную емкость и индуктивность), причем они не перестраиваются. Таким образом, на «слишком» высоких частотах идеальное согласование также недостижимо. Из сказанного очевиден следующий вывод: полное согласование возможно не всегда, но к нему следует стремиться. А для правильной ориентации в том, что мы видим на экране, полезно знать топологию кабеля. К примеру, на рис. 7 показан график рефлектограммы с дефектом «обрыв» на силовом кабеле (АСБ 3x240) на расстоянии 112,3 м и «фантомное отражение» от обрыва на расстоянии 240,6 м; полное согласование импульсного рефлектометра

с кабелем осуществить не удалось. На мощность в этой ситуации может прийти ваш опыт и знание топологии измеряемого кабеля.

линиях типа ТПП на расстоянии до 6-7 км, СБП - до 13-15 км, МКС - до 64 км, РК - до 64 км, АСБ – до 64 км. Как правило, в импульсных рефлектометрах, амплитуда зондиру-

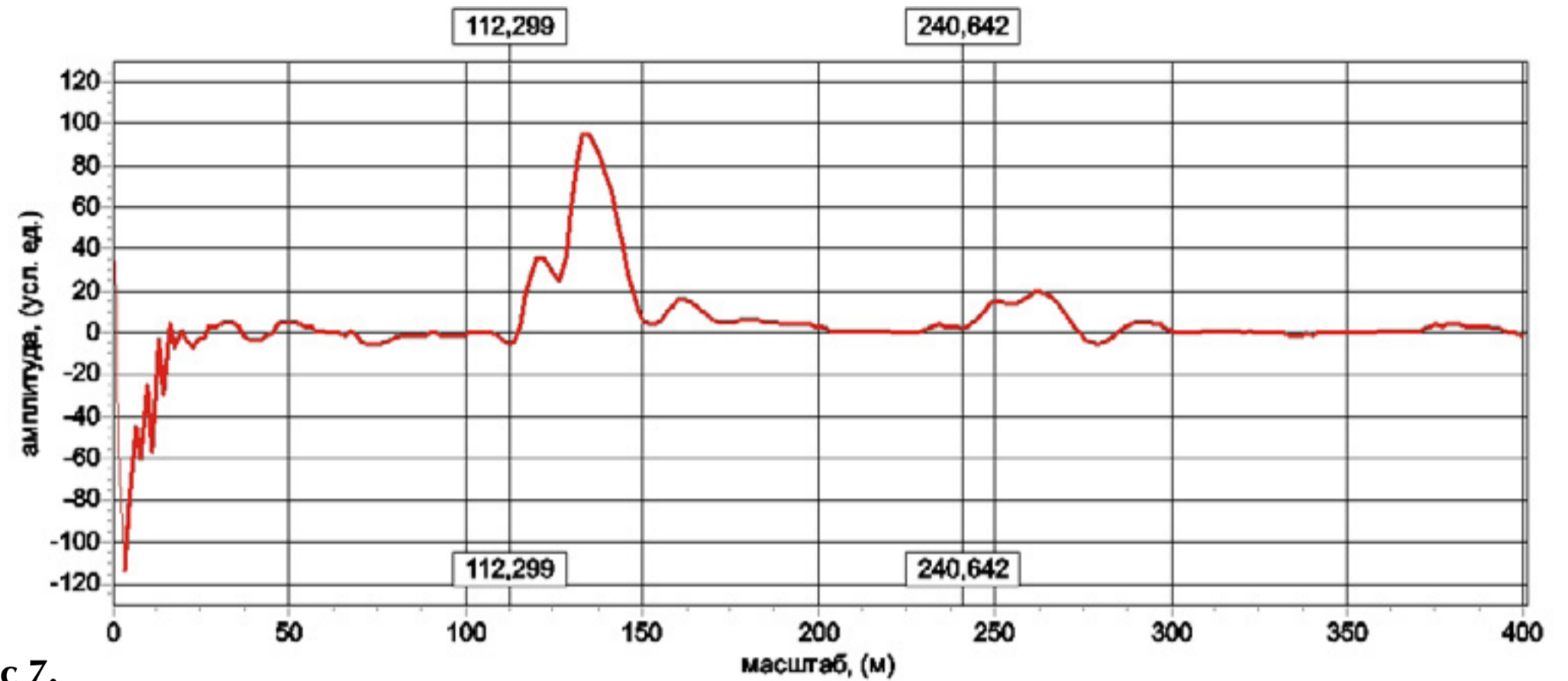


Рис 7.

В любом импульсном рефлектометре нам предоставляется возможность изменять длительность зондирующего импульса и усиление принимаемого сигнала. Обе эти величины напрямую влияют на визуальное отображение графика рефлектограмм. Изменяя два этих параметра, вы можете различать неоднородности на предельном для данной марки кабеля расстоянии. Предельное расстояние – это максимальная длина кабеля определённой марки, которая может быть измерена импульсным рефлектометром. Большинство импульсных рефлектометров имеют амплитуду зондирующего импульса на согласованной нагрузке порядка 10 В. Что позволяет проводить диагностику на кабельных

ющего импульса неизменна, но имеется возможность варьировать длительностью входного воздействия (зондирующего импульса) и чувствительностью приёмного тракта (усиление).

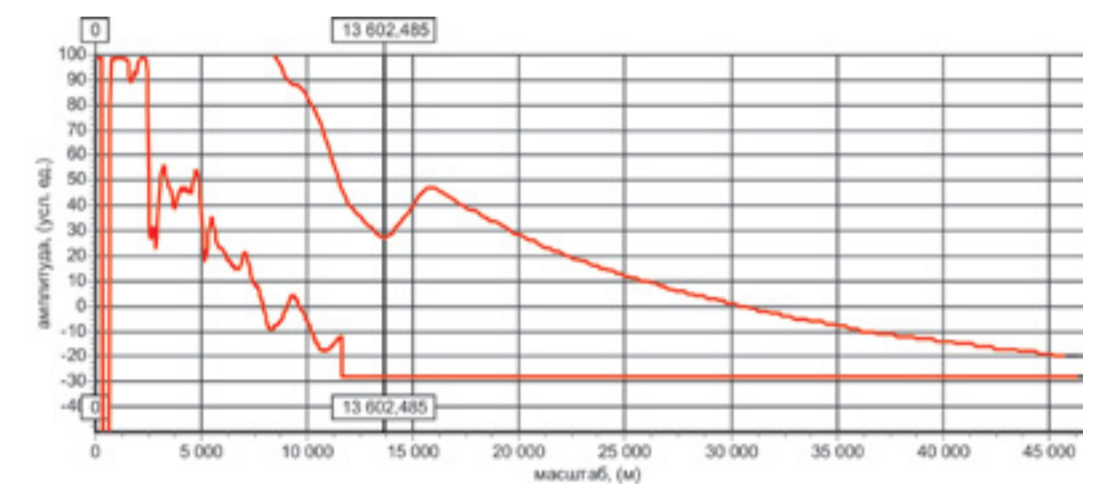


Рис 8.



На рис. 8 приведены графики кабеля СБПЗАВпШп (сечением жил 0,9мм) на предельном расстоянии. Методика монтажа кабельной линии подразумевает винтовые соединения отрезков кабеля, дающие большие потери мощности распространения зондирующего импульса, вследствие которых, предельное расстояние для кабеля уменьшается до 13 – 15 км. На верхнем графике (рис. 8) использовался импульс длительностью 20 мкс, что дало возможность определить длину кабеля, но скрыло все устройства на кабельной линии (муфты). На нижнем графике (рис. 8) использовался импульс длительностью 2 мкс, что дало возможность определить все устройства на кабельной линии (муфты), однако не определило длину кабеля. Таким образом, короткие зондирующие импульсы необходимы для детального рассмотрения графиков рефлектограмм (зондирующий импульс длительностью 10 нс позволяет различать два дефекта на расстоянии около 1 метра друг от друга); тогда как длинные зондирующие импульсы позволяют передавать в кабель большую мощность, перекрывая тем самым большие расстояния.

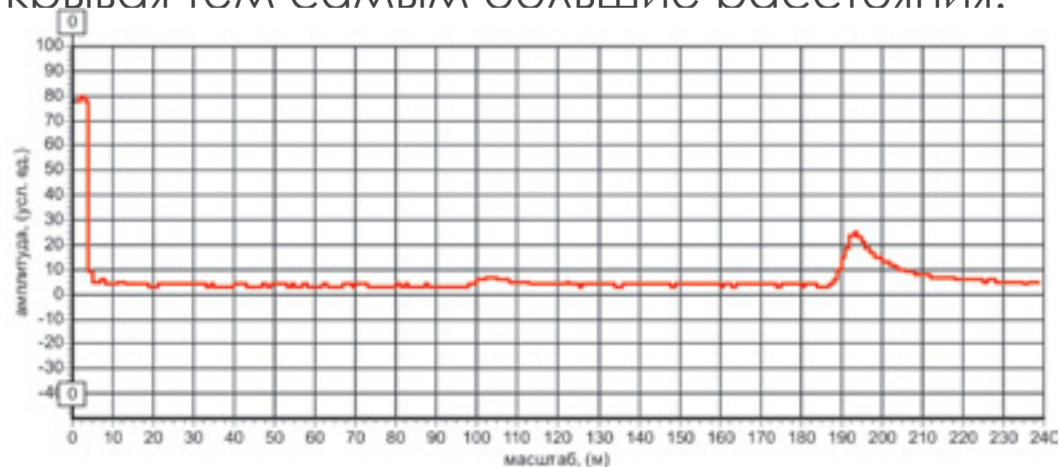


Рис 9.

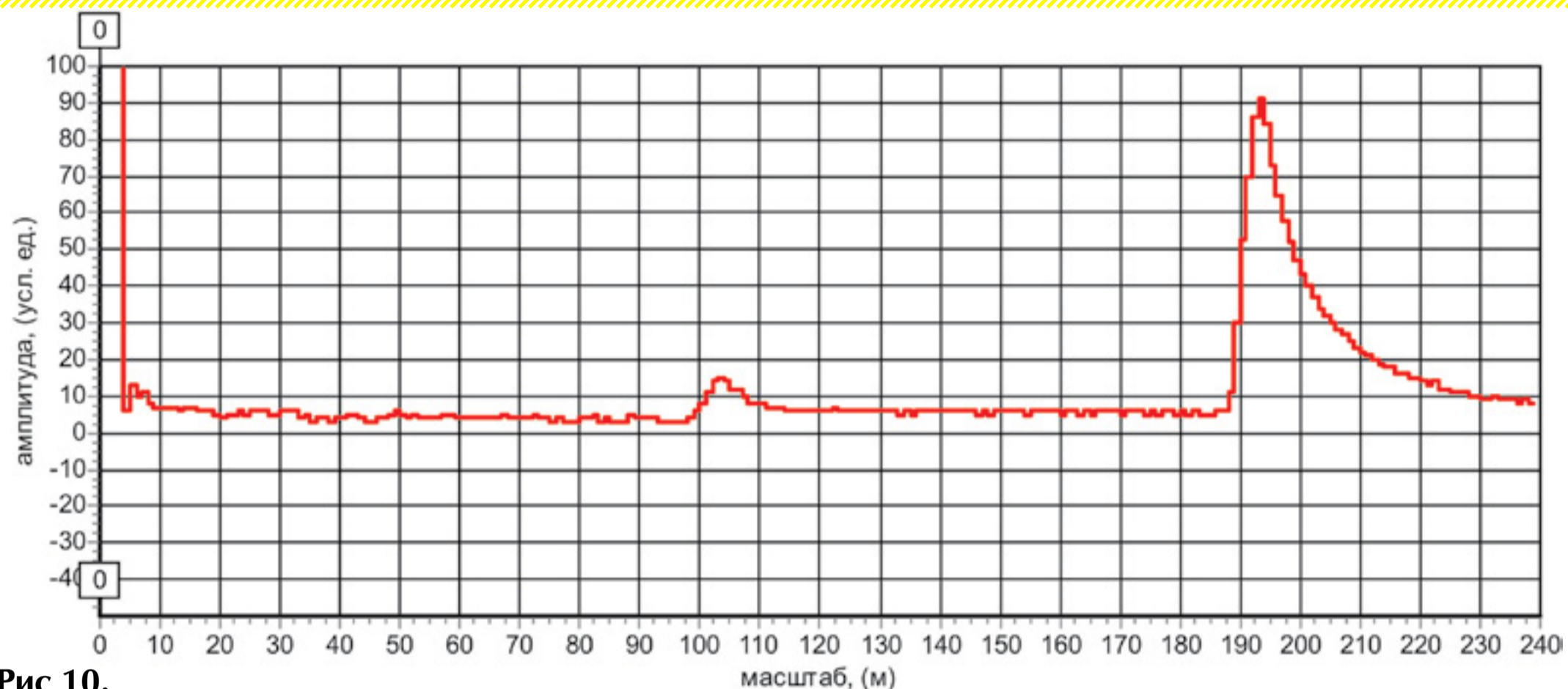


Рис 10.

На рис. 9 и рис. 10 показаны графики рефлектограмм кабеля РК-50, состоящего из двух частей (сростка на расстоянии 98 м). На графиках видно, как влияет длительность зондирующего импульса на вид графиков рефлектограмм: на рис. 9 – зондирующий импульс 10 нс, на рис. 10 - зондирующий импульс 20 нс.

Регулировку параметра усиления необходимо рассматривать в комплексе с проблемой подавлением шумов. Обычно, чувствительность приёмного тракта должна быть не менее 1 мВ, а отклик от дефекта должен различаться на уровне шумов. Усиливая сигнал, мы одновременно усиливаем и шумы, которые имеют хаотичную природу. Для подавления шумов, импульсный рефлектометр использует фильтр, который сначала накапливает в памяти прибора графики рефлектограмм, а затем

осредняет (усредняет) их. Поэтому часто функция фильтрации обозначается как “накопление”, “усреднение” или “осреднение”.

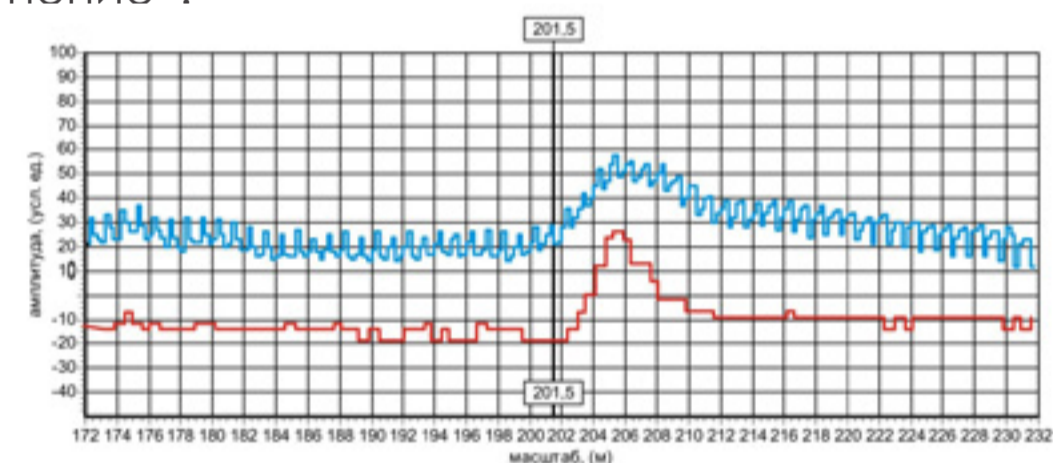


Рис 11.

На рис. 11 показаны графики рефлектограммы, отображающие сростку кабеля (муфту), на максимальном значении параметра усиления. На верхнем графике видны шумы, однако сростка кабеля различима на фоне шумов. На нижнем графике использована фильтрация шумов, позволившая улучшить изображение. Ис-



пользование фильтрации замедляет обновление графика рефлектограммы на экране импульсного рефлектометра. При величине 128 осреднений, график может обновляться один раз в две секунды. Подобная скорость обновления может помешать импульсному рефлектометру захватывать «мерцающие дефекты», о которых будет написано далее.

Импульсный рефлектометр позволяет определять дефекты: обрыв кабеля, короткое замыкание жил кабеля, разбитость пар в кабеле типа ТПП, намокание кабеля, а также обнаруживать наличие прочих устройств на кабельной линии: муфта, сработка кабеля, определять места параллельного подключения к кабелю. Кроме этого, импульсный рефлектометр позволяет определять множественные дефекты на кабеле и вычислять расстояния между ними. Для того чтобы прибор правильно рассчитывал расстояния, необходимо правильно устанавливать измерительный курсор на место дефекта. Некоторые импульсные рефлектометры (например, [РИ-307](#)) обладают функцией автоматического расчёта расстояния до дефекта, однако необходимо уметь делать это в ручном режиме.

Дефекты на кабелях разных типов выглядят по-разному. Если рассматривать коаксиальные кабели, то высокочастотная составляющая сигнала в кабеле затухает слабо, поэтому фронт отклика от дефекта практически идеальный. Чего нельзя сказать про

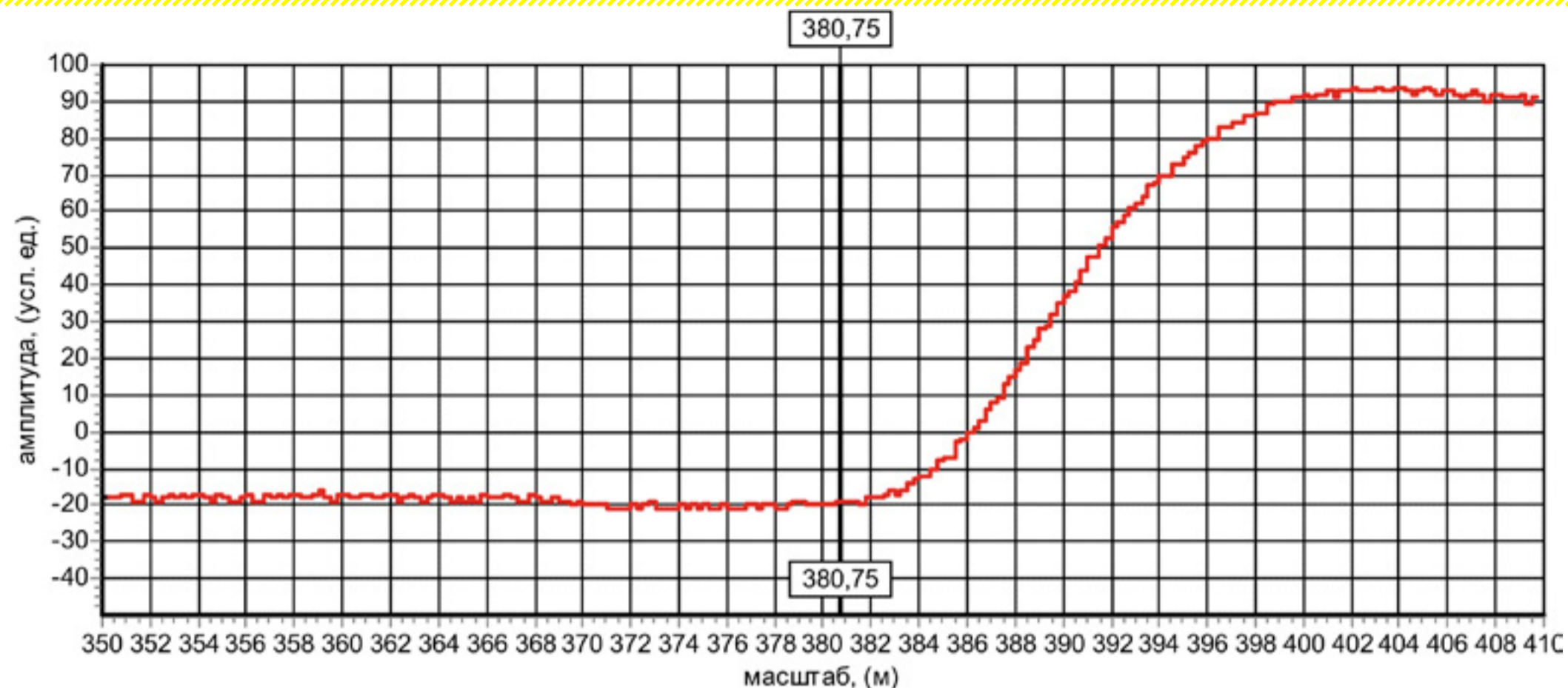


Рис 12.

прочие кабели. Фронты откликов от дефектов на силовых и связных (типа ТПП) кабелях зачастую сильно затянуты и зависят от длины и непосредственного состояния кабеля. Поэтому, рекомендуемая некоторыми производителями практика постановки курсора на треть фронта отклика является неверной. В общемировой практике для определения расстояния до дефекта используют точку перехода на графике рефлектограммы между относительно прямой линией, с ровным волновым сопротивлением кабеля, и началом изменения волнового сопротивления. На рис. 12 показана правильная постановка измерительного курсора.

После того, как мы определились с настройкой параметров импульсного рефлектометра (длительность зондирующего импульса, усиление принимаемого сиг-

нала, фильтр против помех), мы получим удобный для понимания график рефлектограммы, и приступим к его анализу. Прежде всего, нас интересует определение длины кабеля. Дефект «обрыв кабеля» – это обрыв всех жил кабеля, он выглядит как положительный отклик, за которым мы можем наблюдать «фантомные переотражения» в случае невозможности полного согласования импульсного рефлектометра с кабелем, либо их отсутствие при полном согласовании с кабелем. Мы уже приводили изображение дефекта «обрыва кабеля» в этой статье (рис. 6, рис. 7, рис. 8). На рис. 13 приведён пример обрыва всех жил на кабеле АСБ 3х50.



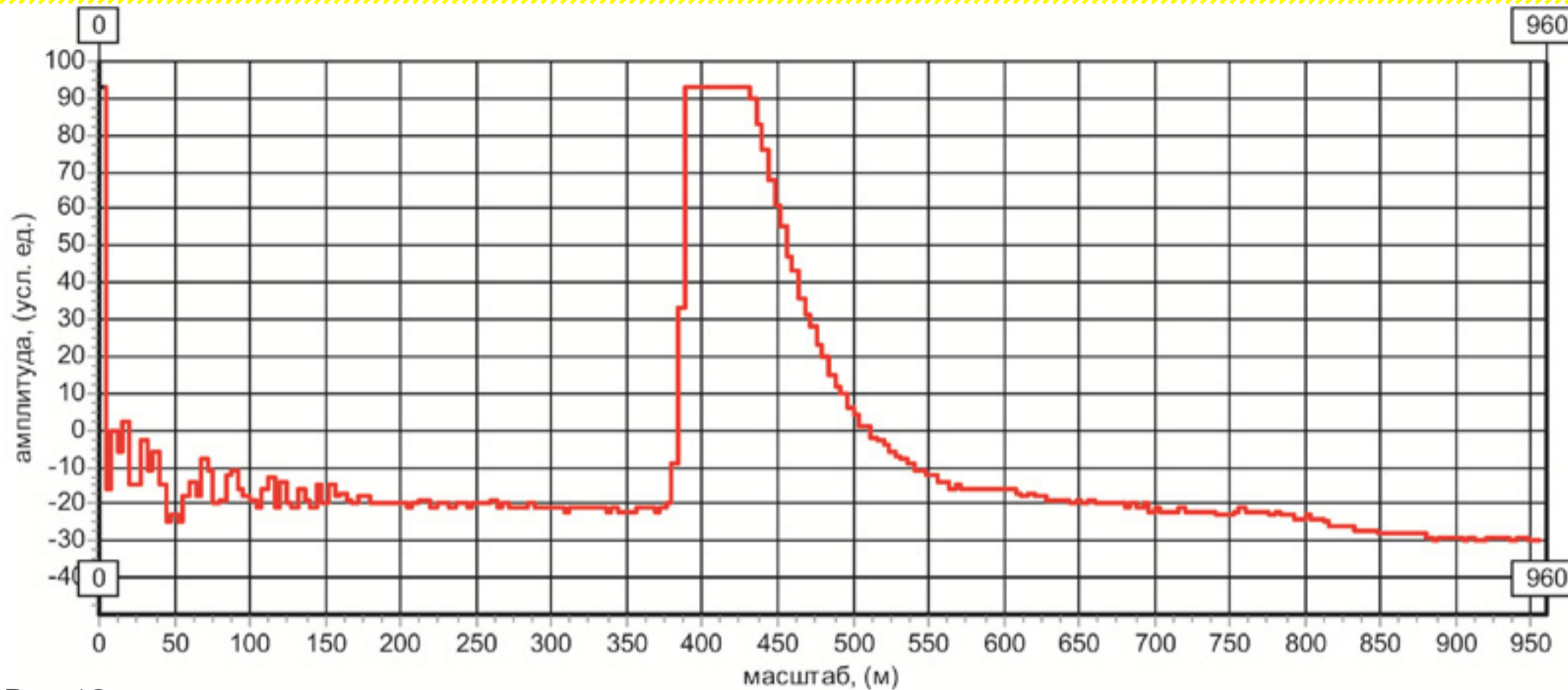


Рис 13.

Похожим образом выглядит дефект “частичный обрыв кабеля” – это обрыв одной жилы кабеля (имеется также целая жила). Дефект выглядит как положительный отклик, похожий на дефект “обрыв всех жил кабеля”, однако мы можем различить также на этой рефлектограмме отклик от конца кабеля (рис. 14). Наличие целой жилы в повреждённом кабеле АСБ 3х50 позволяло определить длину кабеля (720 м) и дефект на расстоянии 380 м.

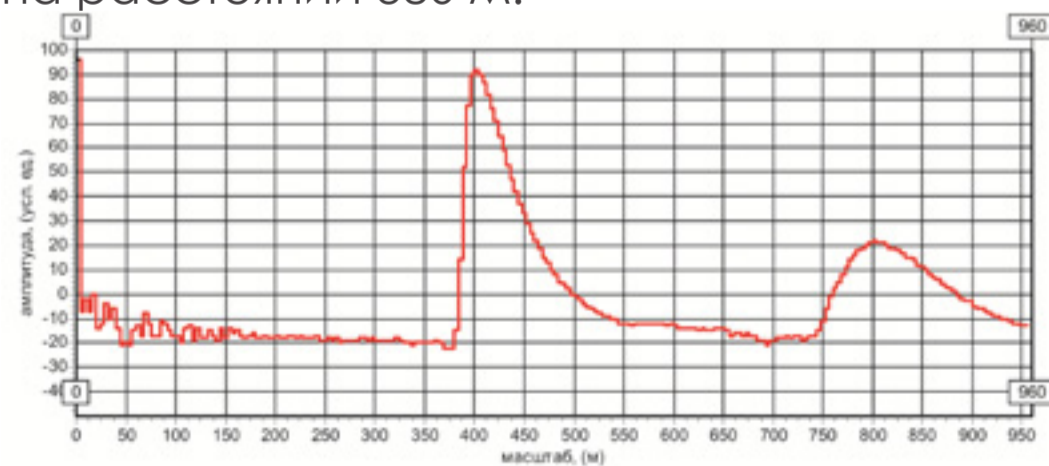


Рис 14.

Помимо дефектов кабеля, импульсный

рефлектометр позволяет определить наличие устройств типа “муфта”, сюда же можно отнести и сrostку кабеля. Мы уже встречались с изображением муфт в этой статье (рис. 8, рис. 9, рис. 10, рис. 11). Это сравнительно небольшой отклик положительной полярности. Таких откликов на кабельной линии может быть несколько. Импульсный рефлектометр позволяет определить количество муфт и рассчитать длину отрезков кабеля, из которых смонтирована кабельная линия. На рис. 15 изображена муфта на расстоянии 623 м.

Необходимо отметить, что именно на муфты приходится до 75% всех дефектов на кабеле. Поэтому следует внимательно просматривать на графике рефлектограммы форму отклика от муфты. Приведём пример, кабельная трасса выполнена из трёх отрезков (рис. 16). С помощью им-

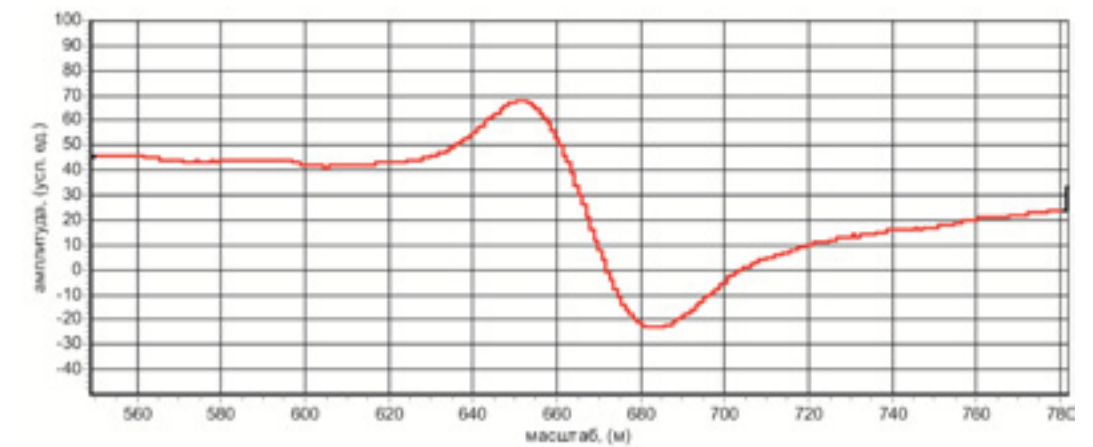


Рис 15.

пульсного рефлектометра определяются две муфты на расстояниях 69 м и 208,5 м, а также обрыв кабеля на расстоянии 354,5 м. Если присмотреться к муфте 69 м, то отклик от неё имеет большую амплитуду (соизмеримую с откликом от обрыва кабеля). Можно предположить, что муфта находится под воздействием влаги, а дальнейшая эксплуатация кабеля может привести к частичному обрыву в этом месте (как на рис. 14). Муфта 69 м особенно выделяется на фоне муфты 208,5 м, находящейся в исправном состоянии.

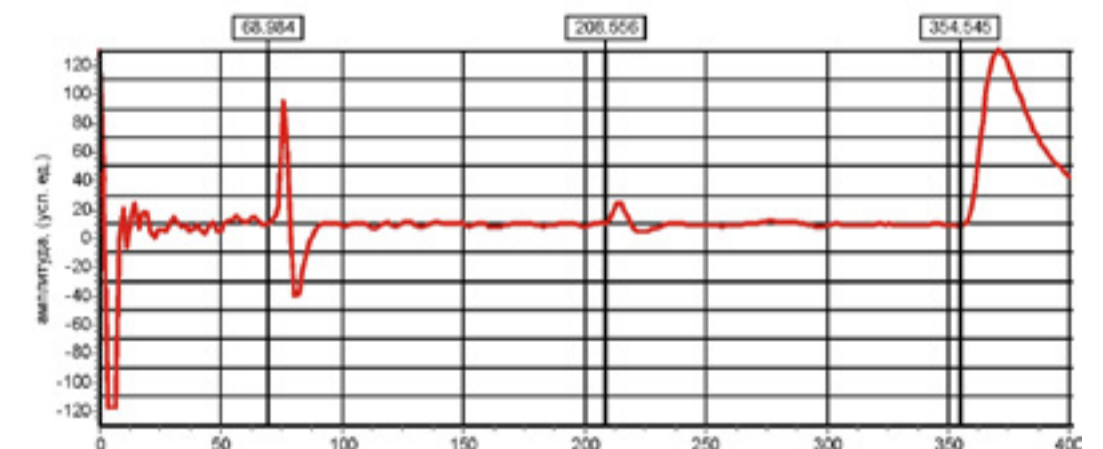


Рис 16.

Не каждый раз перегорание кабеля приводит к обрыву одной или всех жил. Не менее частые дефекты: замыкание жилы на броню, замыкание на броню нескольких жил, замыкание между жилами и полное короткое замыкание всех жил и брони ка-



беля. Дефект “короткое замыкание кабеля” с высокой точностью можно определить с помощью импульсного рефлектометра. Отклик от дефекта “короткое замыкание” выглядит аналогично отклику от дефекта “обрыв кабеля”, только отрицательной полярности (рис. 17).

проникновение влаги в сердечник кабеля приводит либо к обрыву, либо к короткому замыканию на кабеле. Изображение дефекта “намокание кабеля” представлено на рис. 19, как вы видите, оно очень схоже с изображением на рис. 18.

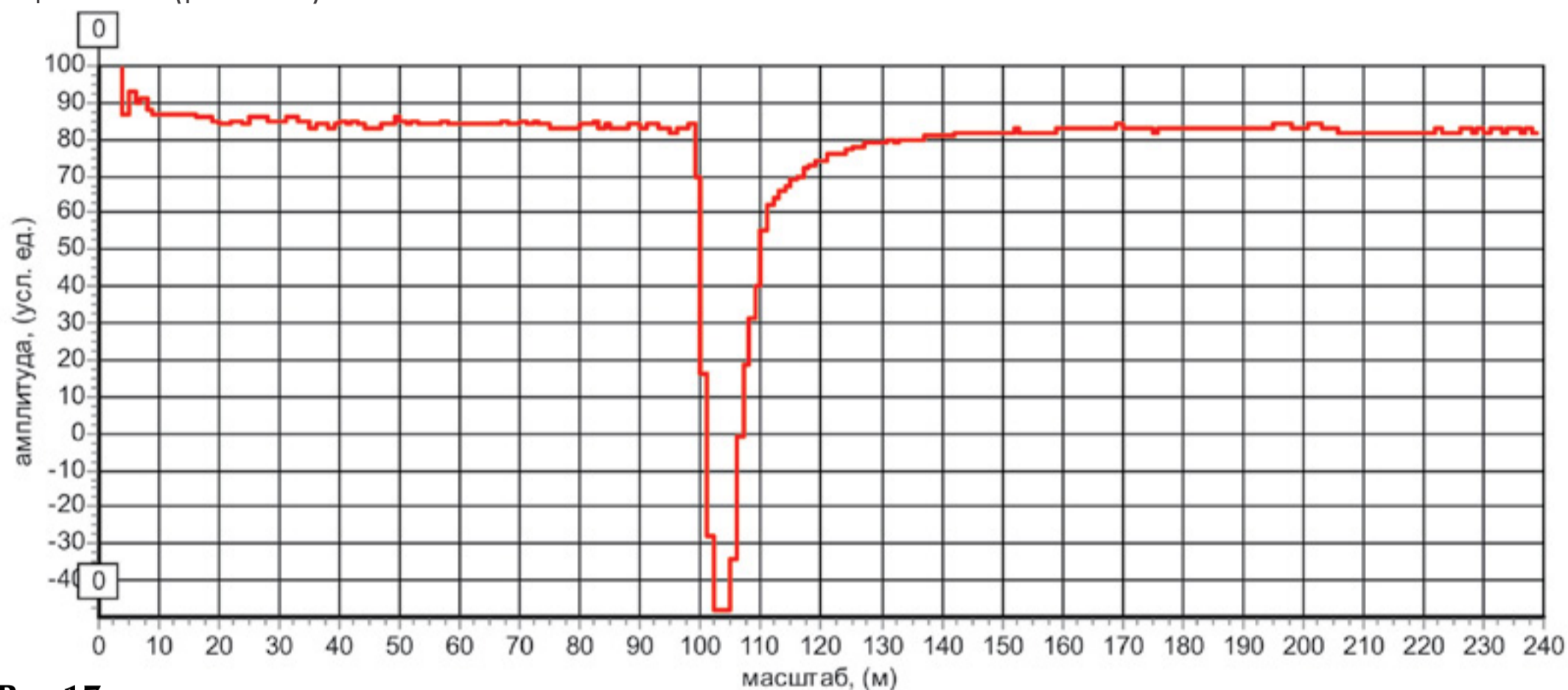


Рис 17.

Если во время горения кабеля, металл из сердечника расплылся по изоляции, то можно говорить о дефекте “частичное короткое замыкание кабеля”. Мы будем наблюдать сравнительно небольшой по амплитуде отрицательный отклик, и, возможно, будем наблюдать отклик от обрыва кабеля (рис. 18). Подобный дефект является следствием проникновения влаги в кабель. Сам дефект “намокание кабеля” можно определить только на слаботочных трассах, потому что на силовых кабелях,

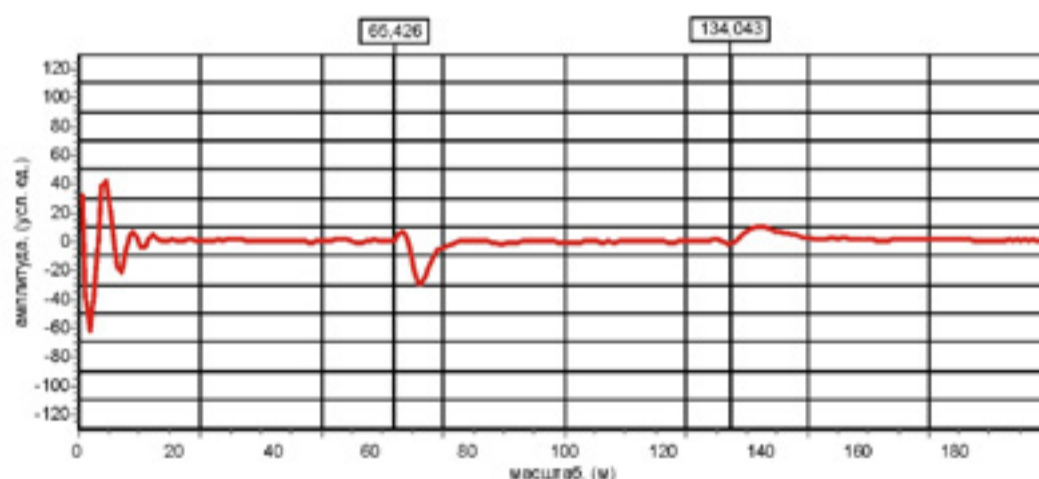


Рис 18.

Схожее изображение с рис. 19 можно наблюдать и при несанкционированном подключении к сетям. Дефект “параллельный отвод” в равной мере может возникнуть на сетях кабельного телевидения, телефонных сетях (повсеместно), но наибольший

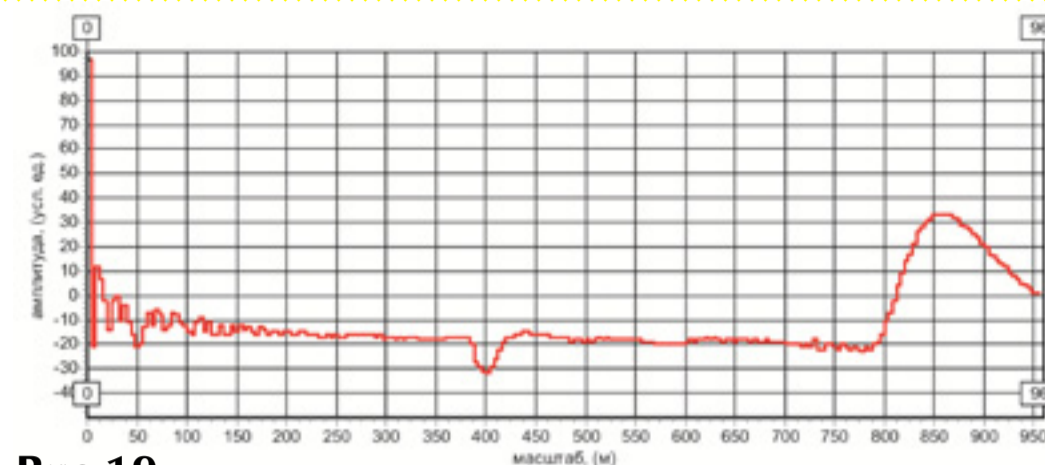


Рис 19.

экономический ущерб наносится именно владельцам силовых кабелей. Импульсный рефлектометр – единственный прибор, способный определить место подключения параллельного кабеля к трассе. Однако с его помощью возможно только определение места подключения, длину подключённого кабеля рассчитать точно невозможно, но сделать примерное представление можно. На рис. 20, рис. 21 и рис. 22 представлены изображения малых, средних и длинных отводов соответственно. Все графики рефлектограмм объединяют общие свойства: в месте подключения “параллельного отвода” наблюдается увеличение емкостной составляющей волнового сопротивления (небольшой отрицательный отклик), переходящий в прямую линию, заканчивающуюся откликом от обрыва кабеля. Это особенно хорошо заметно на рис. 22, где параллельный отвод примерно равен остаточной длине кабеля, мы можем наблюдать два отклика от обрыва кабеля (поскольку имеем два действительных конца одного кабеля), но не сможем утвердительно сказать, какой именно из этих откликов является концом параллельного отвода, а какой – концом основного кабеля.



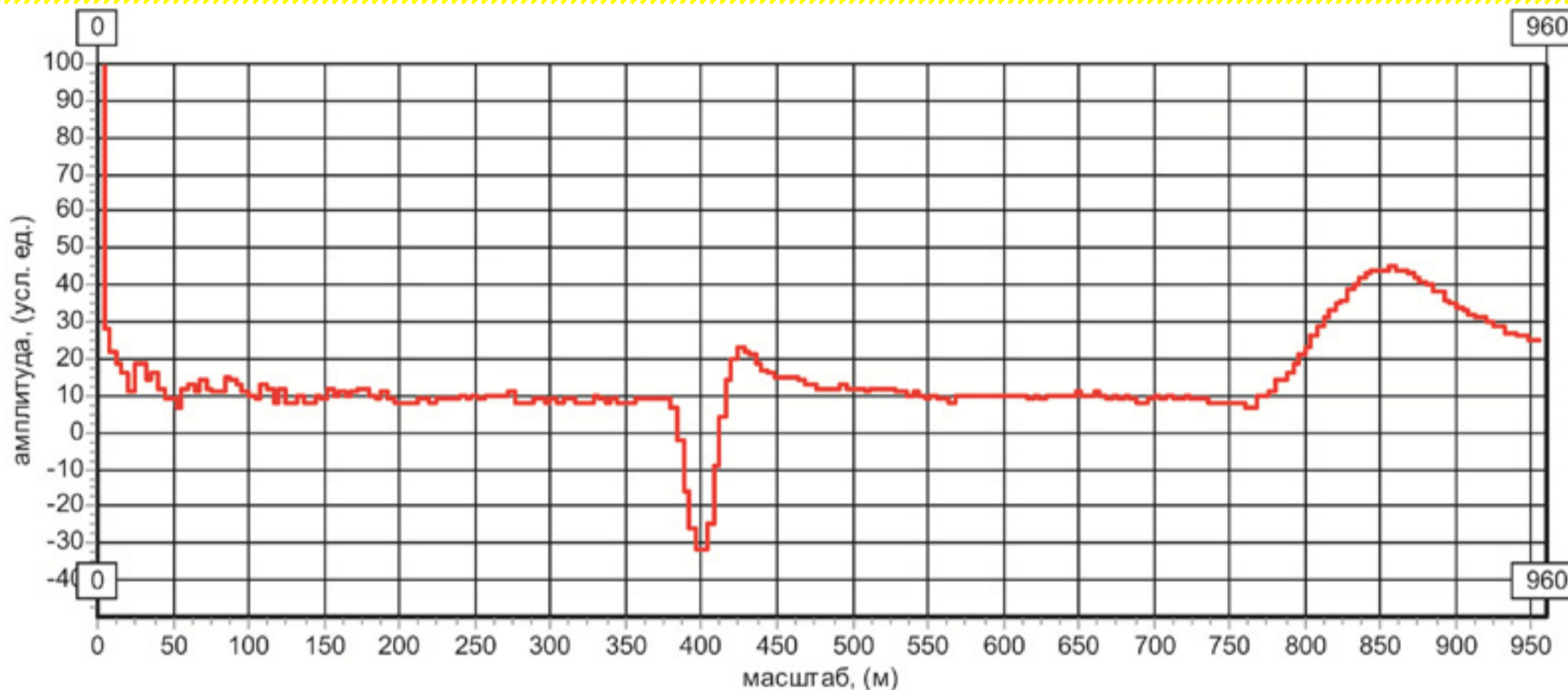


Рис 20.

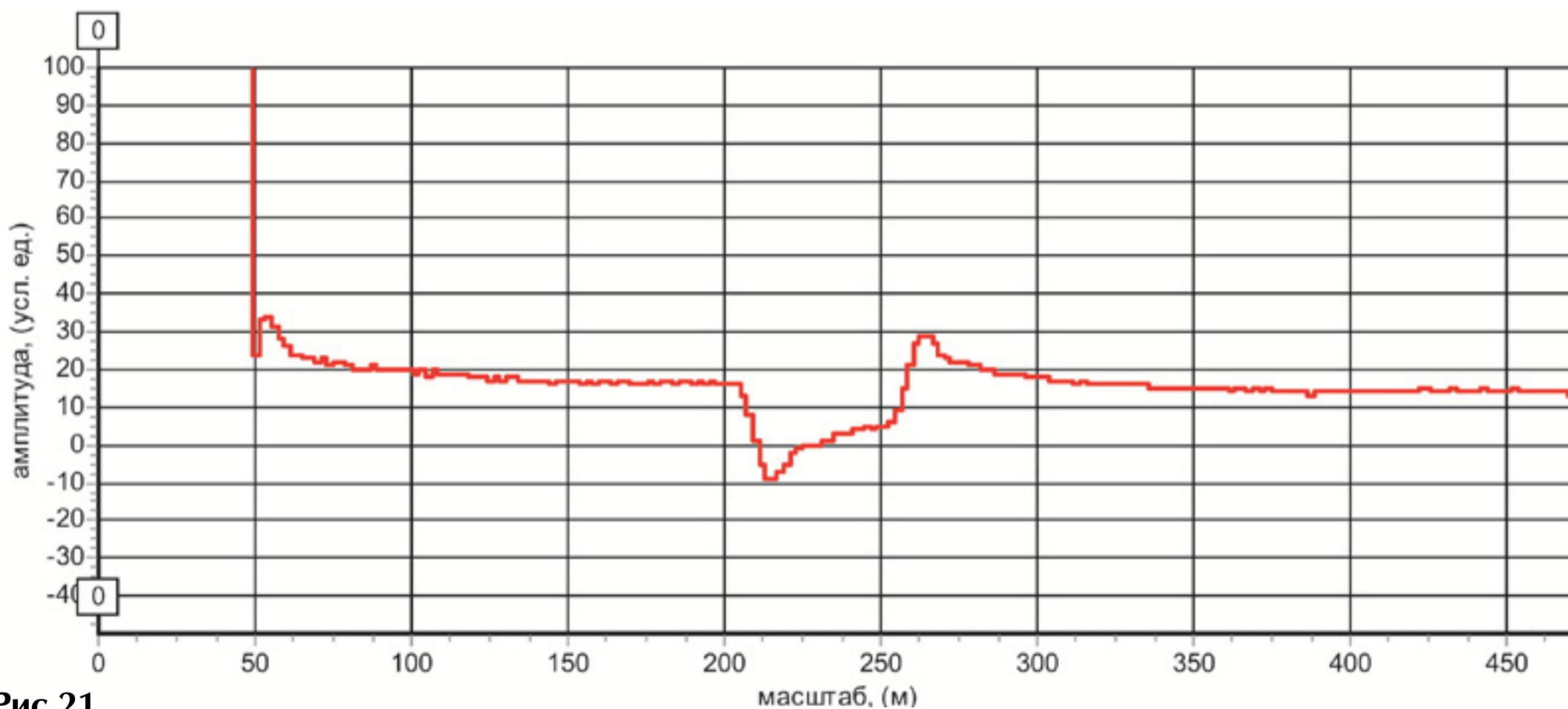


Рис 21.

Частым дефектом на симметричных кабелях (типа ТПП) является разбитость пар. Кабель состоит из повитых попарно жил, одна из которых выделяется цветом от других жил в пучке кабеля, другая

– обычно белого цвета. При монтаже соединений участков такого кабеля, монтажник обычно путает белые жилы одной пары с белыми жилами другой. Симметричная линия разбивается. Дефект “разбитость

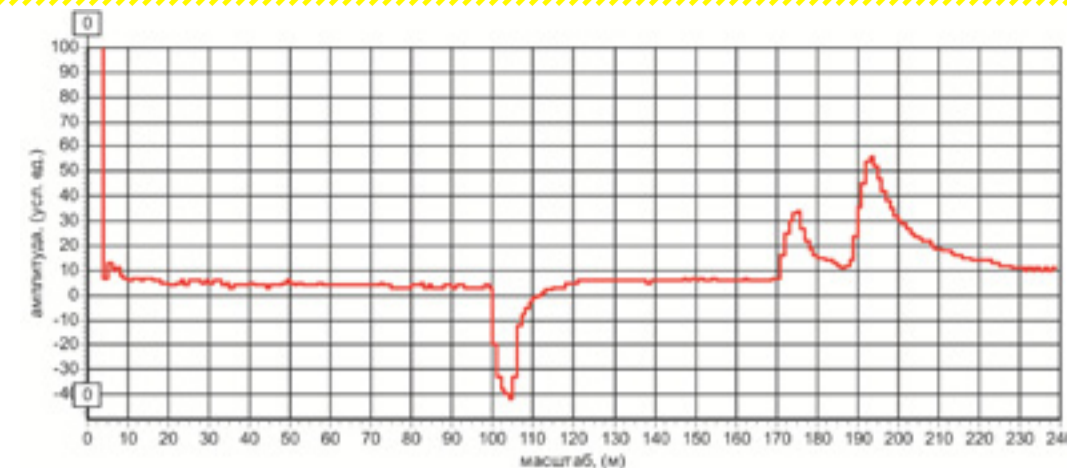


Рис 22.

пар” можно отыскать только с помощью импульсного рефлектометра. При анализе рефлектограммы следует обратить внимание на участок графика, схожий с дефектом “параллельный отвод” (рис. 20). Действительно, на рис. 23 наблюдается небольшой отрицательный отклик, переходящий в отклик от частичного обрыва кабеля.

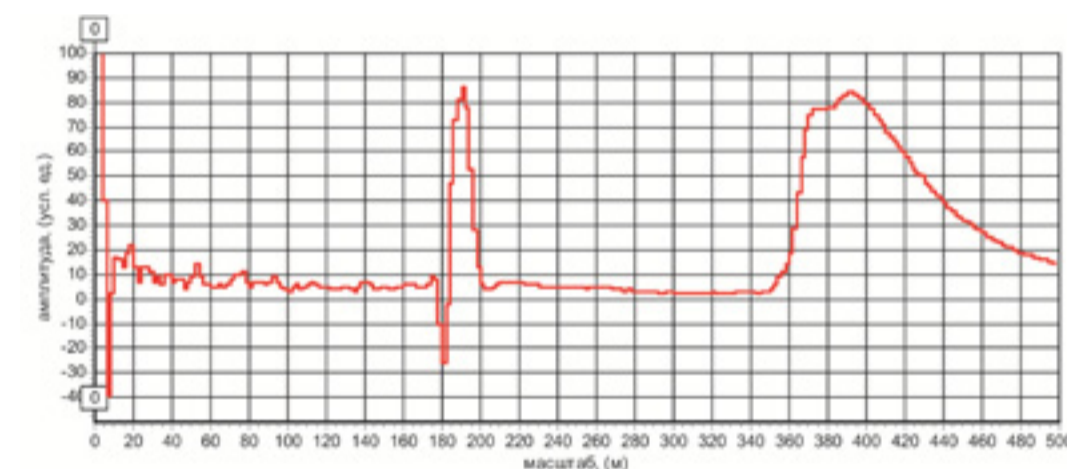


Рис 23.

Для точной идентификации дефекта “разбитость пар”, импульсные рефлектометры имеют два разъёма на корпусе для подключения двух линий. Для определения расстояния до дефекта необходимо перевести прибор в специальный режим, при котором зондирующий импульс будет подаваться в одну пару кабеля, а данные будут приходиться с другой пары. Если имеет место разбитость пар, то в месте дефек-

та сигнал переходит в канал приёма, и на экране импульсного рефлектометра отображается следующий график (рис. 24). Получив такой график, мы можем быть уверены, что нашли две разбитые пары.

цающих дефектов в течение длительного времени измерений накапливает на экране импульсного рефлектометра графики рефлектограмм кабельной линии. Имея высокую частоту опроса линии, прибор не

Когда вы только начинаете работать с импульсным рефлектометром, овладеваете первым опытом, есть часть графика рефлектограммы, способная ввести вас в заблуждение, - это ближняя зона. Анализ ближней зоны – очень важная часть при рассмотрении графика рефлектограммы. На рис. 7, рис. 13, рис. 14, рис. 16, рис. 19 в этой статье после фронта спада зондирующего импульса видны различные неоднородности переходных процессов, которые можно интерпретировать по-разному. В любом случае, мы не должны пропускать дефект на кабеле, расположенный непосредственно в ближней зоне подключения рефлектометра. Это особенно важно, если вы вскрываете для ремонта муфту, расположенную посреди трассы, и хотите проанализировать состояние кабеля в обе стороны от муфты. Неоднородности переходных процессов могут помешать вам. Давайте выясним причину и способ борьбы с ними.

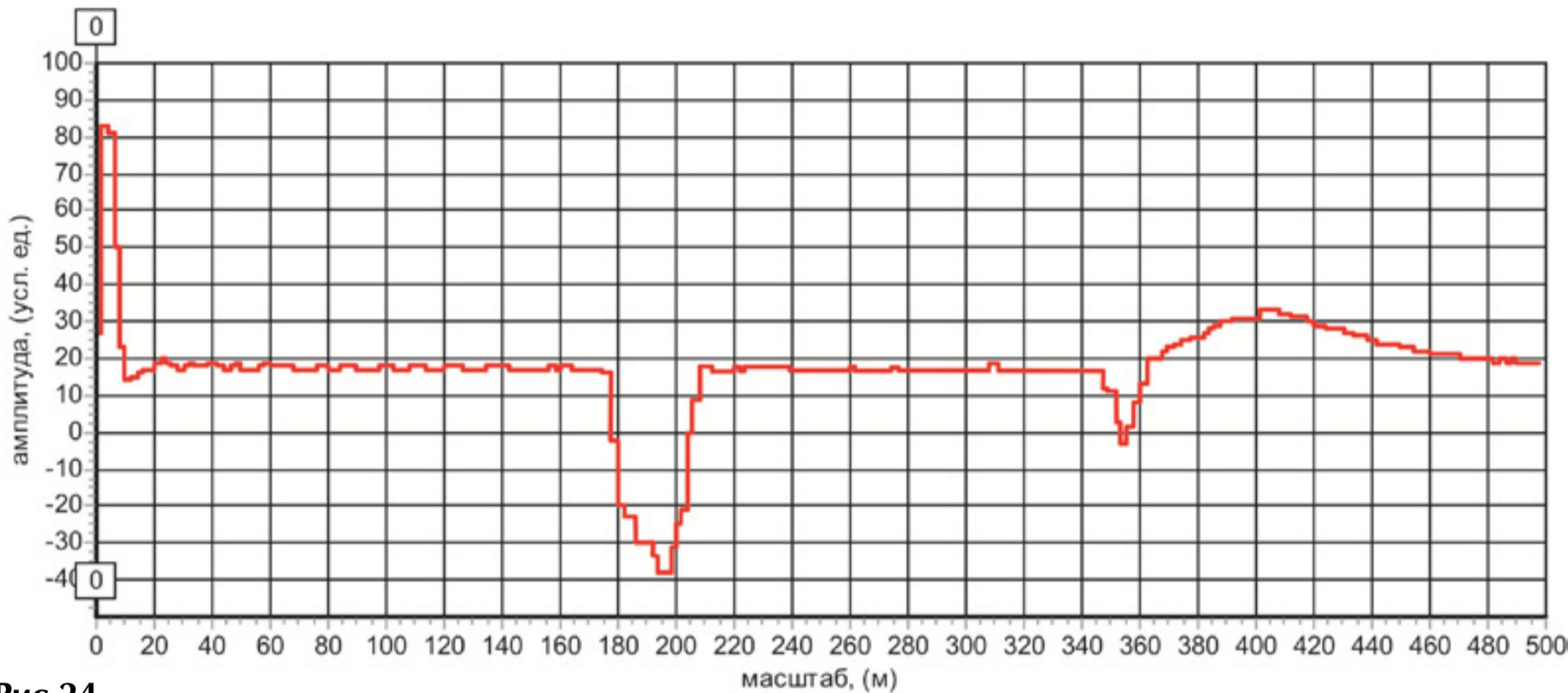


Рис 24.

Некоторые импульсные рефлектометры (например, [ПИ-307](#)) обладают очень полезной функцией – захватом “мерцающих дефектов”. Эти дефекты появляются на слабых кабельных линиях в виде непостоянства конструкции кабеля. Например, кабель проложен под трамвайными путями, где проявляется дефект – излом кабеля, приводящий к короткому замыканию некоторых жил. Пока грунт неподвижен, дефект выявить невозможно, однако при прохождении трамвая над кабелем, происходят подвижки грунта, и дефект можно заметить. Специальный режим захвата мер-

позволит вам пропустить “мерцающий дефект” кратковременного излома кабеля. На рис. 25 приведён пример изображения графика рефлектограмм захвата “мерцающих дефектов”.

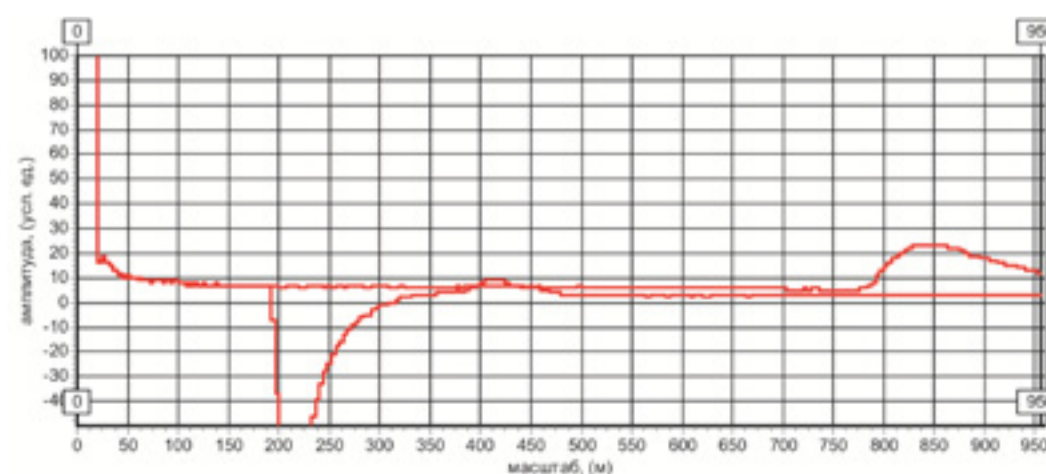


Рис 25.

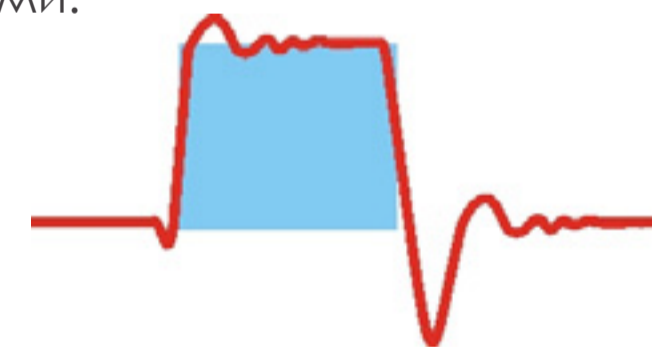


Рис 26.

Если посмотреть на рис. 26, на котором голубым цветом выделен идеальный импульс, а красным – реальный импульс, то мы можем наблюдать, что после завершения фронтов импульса (нарастающего и спадающего), можно наблюдать



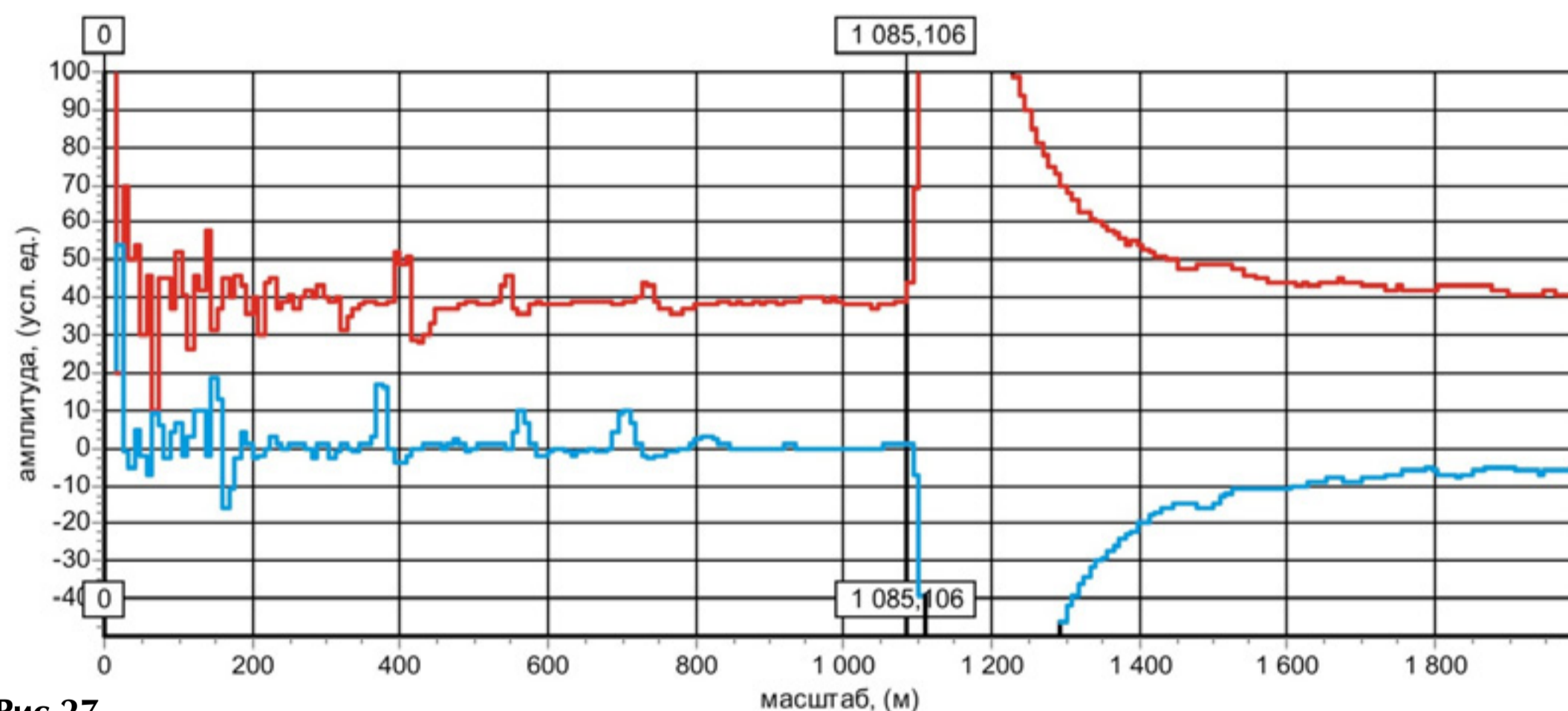
бесконечно затухающие переходные колебательные процессы. Это является первой причиной неоднородностей в ближней зоне. Второй причиной является наложение откликов от соединения прибора с измеряемой кабельной линией. Давайте проследим очерёдность соединений: с разъёма импульсного рефлектометра сигнал поступает в соединительный кабель, от соединительного кабеля сигнал поступает на клеммы в распределительном шкафу, от клемм в распределительном шкафу сигнал поступает в кабель с некоторым постоянным волновым сопротивлением. Таким образом, есть не менее трёх участков с разным волновым сопротивлением, дающих накладывающиеся отклики и затухающие колебательные процессы.

Зная причину, мы можем подобрать и способ борьбы. Самый очевидный способ – уменьшение длительности зондирующего импульса. Минимальный импульс в 10 нс занимает на графике рефлектограмм около 1 метра, а переходные процессы заканчиваются через 3 метра и имеют слабое влияние на форму графика. Если же учесть, что соединительный кабель из комплекта прибора имеет длину 1,5 метра, то ближнюю зону можно уверенно наблюдать сразу после окончания соединительного кабеля. Нужно отметить, что имеются попытки создания зондирующих импульсов менее 10 нс. Такие импульсы имеют уже треугольную форму (в отличие от 10 нс – прямоугольных), дающую сильно затянутые

фронты откликов, а их амплитуда примерно равна 25% от амплитуды импульса в 10 нс. Другой способ – использовать переходной кабель определённой длины, чтобы погасить в нём все переходные процессы. Этот способ находит частое применение на практике с одной оговоркой, длительность зондирующего импульса не должна перекрывать длину переходного кабеля.

с дальнего конца (нижний график) муфта была определена лучше.

Надеюсь, что к этому моменту вы сняли все вопросы касательно анализа графиков рефлектограмм, и сможете быстро и качественно определять дефекты на кабеле, а также рассчитывать расстояние до них. Здесь стоит приостановиться и вспомнить о том, что рефлектограмма – это график, на



**Рис 27.**

На рис. 27 приведён пример графиков рефлектограмм кабеля АСБ 3х50 длиной 1085 метров, снятых с обеих сторон кабеля (на нижнем графике – имитация короткого замыкания на дальнем конце). Кабель имеет шесть муфт на: 135, 359, 542, 678, 789 и 909 м. Зондирующий импульс в 200 нс внёс значительные переходные процессы в измеряемую линию, создав сложности при анализе муфты 135 м, однако при анализе

котором по вертикали откладывается амплитуда откликов, а по горизонтали – временная задержка. Рассматривая раннее структурную схему импульсного рефлектометра, мы выяснили, что производители приборов трансформируют ось времени в ось расстояний. Эта трансформация вводит важный параметр, без которого нельзя представить ни один импульсный рефлектометр – коэффициент укорочения (КУ).

Давайте рассмотрим физику процесса измерения временной задержки. Импульсный рефлектометр посылает в кабель зондирующий импульс, который распространяется со скоростью света ( $C = 3 \cdot 10^8$  м/с). Отразившись от дефекта, часть зондирующего импульса возвращается, проходя суммарно двойное расстояние. Однако электромагнитная волна распространяется по внешней поверхности жилы кабеля, и, если бы жила находилась в вакууме, то скорость распространения равнялась бы скорости света. Но жила обернута изоляцией, состоящей из диэлектрика, поэтому электромагнитная волна «тормозится», и её реальная скорость становится меньше скорости света. Таким образом, расстояние до дефекта, с учётом коэффициента укорочения длины по сравнению с длиной, измеренной при скорости распространения равной скорости света, рассчитывается по формуле:

$$X = v \frac{t_3}{2} = \frac{C}{2 \cdot KU} \cdot t_3$$

Где:  $X$  – расстояние до дефекта,  $v$  – скорость распространения электромагнитной волны,  $t_3$  – время задержки отражённого сигнала,  $C$  – скорость света,  $KU$  – коэффициент укорочения.

Коэффициент укорочения зависит от материала, из которого выполнена изоляция жил кабеля, и от шага повива жил кабеля

относительно друг друга. Резюмируем, коэффициент укорочения индивидуален для каждой марки кабеля. Конечно сразу же возникает вопрос, где можно взять таблицу коэффициентов укорочения? Здесь производители импульсных рефлектометров с сожалением разводят руками: охватить всю кабельную продукцию, имеющуюся на рынке, не возможно. Тогда как производители кабельной продукции не выражают заинтересованность предоставлять КУ, чтобы оказывать поддержку при эксплуатации своей продукции. Инженерам (кабельщикам), прежде чем прокладывать кабельную линию, приходится вручную измерять коэффициент укорочения прямо на барабане с кабелем, имеющем заводскую отметку о длине. Производители импульсных рефлектометров могут лишь систематизировать полученные этим путём данные в сводной таблице коэффициентов укорочения на кабели различных марок, и предоставить их в свободном доступе (<http://www.ersted.ru/stati/tabлица-koeffitsientov-ukorocheniya>). Поэтому от вас, читающих эту статью, во много зависит успех ваших коллег в отыскании повреждений на кабельных линиях.

Перейдем теперь к следующему важному вопросу – анализу погрешности измерений дальности с помощью рефлектометра. Причины возникновения погрешности несколько. Важнейшая из них – только что рассмотренный коэффициент укорочения. Как правило, он или вовсе не известен,

или известен с небольшой точностью. Мы не рекомендуем доверять на 100% никаким источникам данных по коэффициенту укорочения, т.к. даже уверенность в том, что ваш кабель изготовлен с соблюдением всех требований ГОСТа не гарантирует успех. Если кабель пролежал в земле много лет – его свойства могли измениться под воздействием разрушающих факторов: влаги, давления, перепадов температуры, старения изоляции. Что же делать в тех случаях, когда коэффициент укорочения известен ненадежно? Оптимально – измерить его самостоятельно. Для этой цели необходимо использовать доступный участок кабеля, длина которого известна по чертежу, или может быть измерена. На конце этого участка должно быть короткое замыкание, или обрыв, или муфта, т.е. нечто, заметное на рефлектограмме. Далее, подключив прибор и установив курсор на отклик, следует менять значение коэффициента укорочения до получения на экране заранее известного отсчета по дальности. В тех моделях рефлектометров, где делать это неудобно, можно произвести несложный расчет.

Так, предположим, мы установили некий коэффициент укорочения  $K1$  и получили длину исследуемого участка  $X1$ . Но мы знаем, что настоящая длина –  $X2$ . Несложная формула даст нам правильное значение коэффициента укорочения исследуемого кабеля:



$$K_y = K_1 \cdot \frac{X_1}{X_2}$$

Следующий фактор погрешности – шаг постановки измерительного курсора. Обычно он равен одному метру (как в рефлектометрах [PI-10M1](#) и [PI-10M2](#)), но технологии совершенствуются, и сейчас уже доступны измерения с шагом в 12,5 см (как в [PI-303T](#), [PI-307](#) и [PI-307USB](#)). Нужна ли большая детализация графика рефлектограмм? Конечно, если вы исследуете бортовую сеть автомобиля или состояние кабельной шины какого-нибудь прибора. Скорее – нет, если вам во второй раз за неделю порвали магистральный кабель экскаватором незадачливые подрядчики. В любом случае, сейчас на рынке представлены импульсные рефлектометры, отвечающие любым запросам. И, наконец, на погрешность измерений влияет точность постановки вами измерительного курсора на отклик от дефекта. Надеюсь, что вы будете руководствоваться принципами, изложенными в этой статье, чтобы уменьшить эту погрешность.

Импульсный рефлектометр прекрасно подходит для определения дефектов: обрыв кабеля, короткое замыкание жил кабеля, разбитость пар в кабеле типа ТПП, намокание кабеля, а также обнаружение прочих устройств на кабельной линии: муфта, сработка кабеля, определение места параллельного подключения к кабелю.

Однако он не сможет полностью заменить кабельный мост – прибор, измеряющий сопротивление шлейфа, сопротивление изоляции, электрическую ёмкость, а также рассчитывающий расстояния до пониженного сопротивления изоляции (утечки). Импульсный рефлектометр и кабельный мост – взаимно дополняющие приборы, позволяющие инженеру (кабельщику) с высокой вероятностью производить отыскание дефекта на кабеле. Поэтому производители измерительной аппаратуры создают специальные комплексы, состоящие из импульсного рефлектометра и кабельного моста (например, [PI-10M2](#)). В табл. 1 приведены возможности и ограничения в отыскании дефекта импульсным рефлектометром и кабельным мостом.



Рис 28. Импульсный рефлектометр [PI-307 USB](#)

Характер повреждения	Переходное сопротивление	Импульсный рефлектометр	Кабельный мост
Понижение сопротивления изоляции	0 – 100 Ом	Да	Нет
Понижение сопротивления изоляции	40 – 200 Ом	Да	Да
Понижение сопротивления изоляции всех жил	10 – 200 Ом	Да	Нет
Понижение сопротивления изоляции	200 – сотни МОм	Нет	Да
Разбитость пар	—————	Да	Нет
Параллельный отвод	—————	Да	Нет
Частичный обрыв жил	Сотни МОм	Да	Да
Обрыв всех жил	Сотни МОм	Да	Да

Табл 1. возможности и ограничения в отыскании дефекта импульсным рефлектометром и кабельным мостом.

В заключении, мы пожелаем вам успехов в отыскании дефектов на кабеле. Помните, что импульсный рефлектометр – это всего лишь хороший инструмент, помогающий вам в вашей трудной работе.



## Профессиональная поисковая аппаратура

Современное состояние отечественных кабельных линий, их изношенность, ненадежность влекут за собой необходимость применения эффективного оборудования для поиска мест повреждений, так как неработоспособность линии может вызвать экономические, финансовые и материальные потери. Сокращение времени на поиск места повреждения и ремонта линии, пропорционально сократит и возможные потери.

Появление дефектов происходит по различным причинам. Основными из них являются: механические или коррозионные повреждения, заводские дефекты, дефекты монтажа соединительных и концевых муфт, осушение изоляции вследствие местных перегревов кабеля и старение изоляции.

Для поиска трасс и мест повреждений необходима поисковая аппаратура, выбор которой определяет эффективность решения поставленной задачи. Выбор метода определения мест дефектов кабеля зависит от характера повреждения и переходного сопротивления в месте повреждения. Рассмотрим основные типы повреждений силовых кабелей:

- однофазное замыкание на «Землю»;
- межфазное замыкание; межфазное замыкание на «Землю»;
- обрыв жил кабеля без заземления или с заземлением как оборванных, так и необорванных жил;



• заплывающий пробой, проявляющийся в виде КЗ (пробоя) при высоком напряжении и исчезающий (заплывающий) при номинальном напряжении.

Кабельные линии характеризуются большой протяженностью и крайне ограниченным доступом, поэтому особой сложностью является поиск дефектов кабеля.

В наши дни поиск места повреждения кабеля осуществляется с помощью современных поисковых комплектов. Профессиональные поисковые комплекты [КП-500К](#),

[КП-250К](#) и [КП-100К](#) позволяют в кратчайшие сроки выполнять поиск места дефекта и определить глубину залегания кабеля.

Кратко рассмотрим методы нахождения мест повреждений силового (электрического) кабеля:

- Акустический метод. Метод основан на прослушивании звуковых колебаний, вызванных искровым разрядом в канале над местом повреждения кабеля. Его применяют для обнаружения на трассе всех видов повреждений с условием, что в месте по-



вреждения может быть создан электрический разряд. Для возникновения искрового разряда необходимо, чтобы величина переходного сопротивления в месте повреждения превышала 40 Ом.

- **Метод шаговых потенциалов.** В месте дефекта изоляции появляется ток утечки, создаваемый генератором. Этот ток в свою очередь создает в грунте вблизи трассы разность потенциалов, измерение которой и производится.

- **Индукционный метод.** В основу индукционного положено наличие магнитного поля, которое создается протекающим по кабелю током. Посредством оценки магнитного поля обнаруживают наличие кабельной линии и глубину ее залегания, а по характеру изменения поля определяют место повреждения. Этот метод применяется для непосредственного отыскания на кабеле мест повреждения при пробое изоляции жил между собой или на «землю», обрыве с одновременным пробоем изоляции между жилами или на «землю», для определения трассы кабеля и глубины его залегания, для определения местоположения соединительных муфт.

Отличительной особенностью профессиональных поисковых комплектов [КП-500К](#), [КП-250К](#) и [КП-100К](#) является возможность работы на практике по всем трем методам поиска повреждений.

Рассмотрим основные ключевые преимущества поискового комплекта КП-500К в сравнении с техникой аналогичной приме-

няемости и направления:

- **Универсальность** – т.е. возможность работать индукционным, акустическим и потенциальным методами. Также реализуется возможность использования генератора на стадии «дожиг» кабеля.

- **Сочетание большой выходной мощности генератора и высокой чувствительности приемника** позволяют успешно искать повреждения на кабельных трассах протяженностью более десяти километров, заглубленностью более десяти метров с сопутствующими экранирующими помехами (трубопроводы, ж/б перекрытия и т.п.). Трассировка кабелей и коммуникаций протяженностью более 30 км.

- **Высокая избирательность приемника.** Данный фактор обеспечивает электрическую помехозащищенность, позволяющую работать вблизи мощных источников регулярных помех.

- **Качество и временная стабильность выходного сигнала,** что обеспечивает необходимую избирательность, соответственно и помехозащищенность. Более того, сигнал генератора практически не влияет на работу другой электронной аппаратуры.

- **Три рабочие частоты генератора** расширяют диапазон применения комплектов. Выбор рабочей частоты определяется видом отыскиваемого повреждения и условиями работы. Для повышения помехозащищенности аппаратуры все рабочие частоты не кратны основным промышленным частотам напряжения и их гармонич-

кам.

- **Надежные защиты.** Все генераторы, входящие в комплекты, имеют эффективные защиты от короткого замыкания, от перенапряжения, от реактивной мощности (существенно для протяженных линий, имеющих большую собственную электрическую емкость), от перегрева. Длительная работа в режиме короткого замыкания и холостого хода является штатным рабочим режимом, при котором не только не ухудшается работоспособность, но даже не искажается форма выходного сигнала. Это свойство (учитывая большой выходной ток) многие пользователи применяют для дожига кабелей.

- **Продуманные и отработанные схемотехнические и конструктивные решения,** а также использование в ответственных узлах высоконадежных промышленных элементов позволили реально обеспечить высокую эксплуатационную надежность. Подтверждение тому - отсутствие рекламаций от потребителей, хотя в эксплуатации находится уже не одна сотня комплектов.

- **Малые габариты и вес.** По габаритам и весу комплекты вдвое компактнее и легче зарубежных аналогов.

- **Высокие эксплуатационные характеристики.** Рабочие температуры эксплуатации от -30°C до +40°C подтверждаются не только испытаниями, но и эксплуатацией на Крайнем Севере, Дальнем Востоке, в Сибири и самых южных районах России.

Огромное количество потребителей данной аппаратуры по всей стране уже оценили весь комплекс непревзойденных качеств, реализованных в данной технике.

Вот лишь некоторые отзывы:

## **Кабельная сеть ОАО «ЛЕНЭНЕРГО»:**

«Вышеуказанная аппаратура эксплуатируется в Службе измерения и испытаний Кабельной сети ОАО «Ленэнерго» с 2003 года. За время эксплуатации данная аппаратура зарекомендовала себя хорошо, пользуется успехом у мастеров, занимающихся отысканием мест повреждения и трасс на силовых кабельных линиях.»

## **ОАО «Омский аэропорт»:**

«Личный состав электролаборатории ОАО «Омский аэропорт» выражает благодарность коллективу вашего предприятия за создание простой в работе, надежной и неприхотливой поисковой аппаратуры. Нами был приобретен поисковый комплект КП-100, который успешно прошел испытания в суровых климатических условиях Сибири.»

## **ЗАО «СПГЭС»:**

«Электротехническая лаборатория ЗАО «СПГЭС» эксплуатирует поисковые комплекты вашего производства с 2005 года. В настоящее время работает 2 поисковых генератора [ГП-500К](#) и 5 поисковых приемников [ПП-500А](#).

Одной из отличительных особенностей является надежная работа поисковой аппаратуры в условиях длительной эксплуатации в очень тяжелых условиях (работа практически каждый день и при любой погоде). За истекший период отказов оборудования не было.»

## **ЗАО Компания «СИАМ»:**

«Используем поисковые комплекты семейства КП-100, в том числе и последнюю модификацию [КП-100К](#), с генератором нового поколения, имеющим возможность управления от компьютера и контроля множества выходных и внутренних параметров»

## **ООО «ИНТЕРИНЖ»:**

«Поисковые комплекты семейства КП-500 известны фирме ООО «ИНТЕРИНЖ» с 1997г. Комплекты [КП-500К](#) входят в состав выпускаемых нами передвижных лабораторий для испытания и диагностики проложенных под землей кабелей.

Опыт эксплуатации и информация, поступающая от конечных потребителей нашей продукции, позволяют утверждать следующее:

- комплект КП-500К не имеет отечественных аналогов;
- по большинству технических характеристик, по надежности, по адаптированности к различным условиям эксплуатации комплект КП-500К превосходит известные импортные аналоги»

## **Филиал «Балахнинские ЭС» ОАО «НИЖНОВЭНЕРГО»:**

«В целом, КП-500 зарекомендовал себя надежным и эффективным прибором при отыскании повреждений»

## **Филиал ОАО «МОЭСК» - Московские кабельные сети:**

«Совокупность всех преимуществ позволяет оценивать эти поисковые комплекты как конкурентно способные на мировом рынке и, пожалуй, как лучшие среди выпускаемых в России и странах СНГ»



## Опыт проведения работ по обнаружению мест повреждений кабеля

Важной проблемой диагностики инженерных коммуникаций является трассировка (локация) кабельных линий и поиск мест повреждения.

Начнем с того, что все известные на сегодняшний день трассоискатели, как отечественного, так и зарубежного производства, функционируют по одному принципу – электромагнитной индукции. Все они реагируют на электрический ток, протекающий по коммуникации. Есть ток – работаем в пассивном режиме (без генератора), нет тока – создаем его с помощью генератора. Таким образом, можно прийти к выводу, что любым трассоискателем можно работать и добиваться равных результатов. Однако на практике все выходит гораздо сложнее, и малейшие преимущества прибора позволяют более эффективно решать практические задачи.

Наиболее востребованы приборы, позволяющие работать как в активном режиме, так и в пассивном, что предопределяет наличие у приемника 2-3 активных частот. Использование 2-3 рабочих частот генератора для «активной» трассировки кабеля, а также наличие индуктивной антенны позволяют определять местоположение кабеля без непосредственного подключения к коммуникации. Приборы серий «Успех-АТГ» и «Атлет» отличаются приемником, дающим возможность работы и электромагнитным

и акустическим датчиком.

Остановимся подробнее на методике нахождения места повреждения силового кабеля.

При возникновении неисправности силового кабеля (обрыв, короткое замыкание, пробой изоляции), как правило, срабатывает РЗ и А, и кабель отключается от сети электроснабжения. Для выяснения причины неисправности необходимо провести анализ причины отключения (по какой защите: МТЗ, ТО, ОКЗ и т.д.), и тип повреждения. Выбор метода определения места повреждения кабеля зависит от характера повреждения и переходного сопротивления в месте повреждения.

### Типы повреждения:

однофазное замыкание на «Землю»; межфазное КЗ; двух, трехфазное КЗ на «Землю»; обрыв жил кабеля без заземления или с заземлением как оборванных, так и необорванных жил; заплывающий пробой, проявляющийся в виде КЗ (пробоя) при высоком напряжении и исчезающий (заплывающий) при номинальном напряжении.

### Основные методы определения зоны повреждения:

метод петли; метод накладной рамки; метод колебательного разряда; емкостной метод; импульсный метод; индукционный метод; акустический метод.

В данной статье мы хотели бы поделиться

опытом по поиску места повреждения индукционным, акустическим методами и методом «разности потенциалов».

### Последовательность (алгоритм) поиска места повреждения:

1. Провести измерение сопротивления изоляции ( $R_{из}$ ) между фазами и между фазами и «Землей», провести анализ состояния сопротивления изоляции кабеля. По состоянию сопротивления изоляции кабеля можно сделать вывод о типе повреждения (мегаомметром).

2. Если повреждение ОКЗ или переходное сопротивление большое, то кабель необходимо «дожечь». Для этого используются установки прожига (дожига) кабеля типа: УП-7; АПК-14; МПУ-3 «Феникс».

3. Подсоединив рефлектометр (серии «Рейс», или другой) к жилам кабеля просмотреть эюры по фазам и определить предварительное расстояние до места повреждения.

4. После предварительного определения места повреждения кабеля проводится поиск точного места повреждения индукционным или акустическим методами. Для точной локализации места повреждения используются поисковые комплекты серии «Успех-АТГ»; «Успех-АГ»; «Атлет-ТЭК-100 (200; 500)».

### Поиск места повреждения индукционным методом.

Этот метод применяется для непосредственного отыскания на трассе кабеля мест повреждения при пробое изоляции жил между собой или на «землю», обрыве с одновременным пробоем изоляции между жилами или на «землю», для определения трассы кабеля и глубины его залегания, для определения местоположения соединительных муфт.

Сущность метода заключается в фиксации с поверхности земли с помощью приемной рамки характера изменения электромагнитного поля над кабелем при пропускании по нему тока звуковой частоты (800-1200 Гц) от долей ампера до 20 А в зависимости от наличия помех и глубины залегания кабеля. ЭДС, наводимая в рамке зависит от токораспределения в кабеле и взаимного пространственного расположения рамки и кабеля. Зная характер изменения поля, можно при соответствующей ориентации рамки определить трассу и место повреждения кабеля. Более точные результаты получают при прохождении тока по цепи «жила-жила», для чего «дожигают» однофазные замыкания до двух или трехфазных или создают искусственную цепь «жила-оболочка кабеля», разземляя последнюю с двух сторон. Силовые линии поля тока «жила-земля» представляют собой концентрические окружности, центром которых является ось кабеля (после одиночного тока). При использовании цепи

«жила-жила ток, идущий по прямому и обратному проводам, создает два концентрических магнитных поля, действующих в противоположных направлениях (поле пары токов). При расположении жил в горизонтальной плоскости результирующее поле на поверхности земли наибольшее, а при расположении жил в вертикальной плоскости - наименьшее. Поскольку кабели имеют скрутку жил, то в рамке, расположенной вертикально и перемещаемой вдоль трассы кабеля будут индуцироваться ЭДС, изменяющиеся от минимума до максимума. Подключаем генератор к жилам кабеля по принятой схеме (в зависимости от типа повреждения). Согласовываем нагрузку. При помощи электромагнитного датчика (ЭМД), приемного блока (ПБ) и головных телефонов (ГТ) ищем место повреждения кабельной линии. В месте повреждения сигнал от генератора резко возрастает, а затем затухает.

### Поиск места повреждения акустическим методом.

Сущность акустического метода состоит в создании в месте повреждения искрового разряда и прослушивании на трассе вызванных этим разрядом звуковых колебаний, возникающих над местом повреждения. Этот метод применяют для обнаружения всех видов повреждения с условием, что в месте повреждения может быть создан электрический разряд. Для устойчивого искрового разряда необходимо, чтобы ве-

личина переходного сопротивления в месте повреждения превышала 40 Ом.

Слышимость звука с поверхности земли зависит от глубины залегания кабеля, плотности грунта, вида повреждения кабеля и мощности разрядного импульса. Глубина прослушивания может колебаться в пределах от 1 до 5 метров. В качестве генератора импульсов применяются генераторы типа ГВИ-2000(5000); ГИ-20-2 (70-2). В качестве приемника акустического сигнала используют датчики пьезо - или электромагнитной системы, преобразующие механические колебания грунта в электрические сигналы, поступающие на вход усилителя. Над местом повреждения уровень сигнала максимальный.

Включаем генератор типа ГВИ-5000 (ГИ-20-2), подключенный к жилам кабеля и при помощи акустического датчика (АД), ПБ и ГТ прослушиваем кабельную линию в предполагаемом месте повреждения. В точке повреждения кабеля будут прослушиваться характерные «щелчки» с заданной частотой.

Эти два метода поиска места повреждения кабеля являются самыми высокоэффективными и дают точность обнаружения 0,2 - 0,5 метра. Поиск неисправности (повреждения) кабеля в целом оценивается довольно дорого. Применение предложенных методик позволит снизить затраты в среднем на 35 %.



# Отчет о работах в г. Луховицы

**Задача:** провести трассировку и найти место повреждения высоковольтного кабеля 10кВ. Протяженность участка – 11200 метров.

**Используемое оборудование:** тече-трассопоисковый комплект **АТЛЕТ ТЭК-120А**, индукционные клещи **КИ-110**.



Все используемое оборудование является мобильным – легко доставляется к месту работ одним человеком.



К моменту прибытия специалистов ООО «техно-ас» был проведен прожиг установкой

**УП-7М**, рефлектометром **Р-5-10** предварительно определено расстояние до 1-го места повреждения (7150 метров). Точно локализовать неисправность не удалось, было вскрыто несколько десятков метров трассы.



На линию генератором **АГ-120** наведен импульсный сигнал. Проведена трассировка и обвеховка.



Для точного обнаружения места повреждения проходим вдоль всего участка с датчиком-определителем дефектов коммуникаций **ДОДК-100**.



В месте, где есть изменение электромагнитного поля, шурфим и с помощью индукционных клещей выбираем наш кабель.





Для определения следующего места повреждения мегаомметром была определена поврежденная жила кабеля (однофазное замыкание на «броню»)



Подключение к кабелю производим по схеме поврежденная жила – «броня»

Для предварительного определения расстояния до следующего повреждения вновь используется рефлектометр



Проводим трассировку.

В обнаруженном месте оказалась поврежденная старая муфта, производим ее замену.

Для точного определения места повреждения подключаем генератор АГ-120







На расстоянии примерно 390 метров от места 1-го повреждения сигнал усиливается, а затем пропадает.



Были проведены работы по вскрытию грунта и замене участка кабеля с дефектом. Вероятнее всего, болотистая местность сильно сокращает срок их службы.



Пришлось вновь подключить генератор и пройти по трассе с электромагнитным датчиком, было найдено еще одно место повреждения кабеля.



Производителем работ самостоятельно было обнаружено место максимального уровня сигнала.



Мегаомметр показал, что на кабеле есть еще одно повреждение.





Для подтверждения места повреждения применили датчик контроля качества изоляции **ДКИ-100**, использовался «метод минимума» и «метод максимума». Оба метода подтвердили найденное место повреждения.

### Возникшие трудности при проведении работ:

1. Из-за отсутствия генератора высоковольтных импульсов (например, ГВИ-2000) не удалось провести поиск повреждения кабеля акустическим методом.

2. Из-за того, что в наличии имелись толь-



Было произведено вскрытие грунта и обнаружено повреждение в муфте.

После вырезания и проверки сопротивления изоляции кабеля установлено, что мест повреждений больше нет.

ко одни индукционные клещи, для выбора кабеля из пучка пришлось подключать генератор к трассе непосредственно, а не бесконтактно. Гораздо удобнее, если в комплекте двое клещей – одними сигнал с

генератора наводится на кабель, другими при подключении к приемнику снимается.

3. После первого подключения генератора на частоте 1024 Гц и автоматического его согласования с нагрузкой, выходная мощность составила 40 Вт, чего оказалось недостаточно для осуществления трассировки. Было принято решение перевести генератор на частоту 8928 Гц и задать ток в линию 4 А. После согласования выходная мощность составила 71 Вт, чего оказалось более, чем достаточно для проведения работ.

4 При поиске места повреждения оказалось не совсем удобным определение максимального уровня сигнала при подключении генератора в импульсном режиме. Не удавалось точно зафиксировать максимальное отклонение колеблющейся стрелки. Неудобство было устранено простым переводом генератора в непрерывный режим.

**Вывод: с помощью комплекта АТЛЕТ ТЭК-120А удалось точно провести трассировку кабеля, локализовать оба места, где имелись неисправности, выбрать искомый кабель из пучка кабелей.**