

# Испытания кабелей 6–500 кВ в полимерных трубах

УДК 621.315.21

За последние годы прокладка кабельных линий 6–500 кВ в полимерных трубах получила значительное распространение. Такое решение позволяет минимизировать объем земляных работ, выполнить пересечение различных коммуникаций и преград, обеспечить механическую защиту кабелей. Однако, как показал опыт эксплуатации, полимерные трубы имеют существенный недостаток — они мешают выявить наличие повреждений у наружной оболочки кабелей и определить точное расположение этих дефектов вдоль трассы линии.

**Дмитриев М.В.**,  
к.т.н., доцент Санкт-Петербургского политехнического университета

## ВВЕДЕНИЕ

При строительстве кабельных линий (КЛ) классов 6–500 кВ в настоящее время, в основном, применяют кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). Наиболее распространены следующие конструкции таких кабелей:

- однофазная для сетей 6–500 кВ (рисунок 1а);
- трехфазная для сетей 6–35 кВ (рисунок 1б).

Для всех кабелей, имеющих СПЭ-изоляцию, важным элементом конструкции является внешняя оболочка, обычно выполняемая из полиэтилена или ПВХ. Толщина оболочки, как правило, составляет от 4 до 6 мм, а ее основная функция — герметизация кабеля с целью исключения проникновения воды в СПЭ. Следует понимать, что для герметизации может применяться и ряд других способов, однако они не являются основными, а лишь дополняют собой оболочку кабеля.

Повышенное внимание к защите кабеля от проникновения воды связано с тем, что молекулы воды, оказавшись между молекулами СПЭ, искажают электрическое поле и с течением времени приводят к возникновению в изоляции дефектов, которые называются водными триингами и способны довести изоляцию до полного пробоя. По этой причине важно периодически проверять целостность оболочки, своевременно выявлять все факты ее повреждения, находить расположение дефектов вдоль трассы линии и устранять их.

Возможность корректного проведения испытаний и оперативного поиска мест повреждения оболочки в значительной степени зависит от условий прокладки кабеля. Известно, что при прокладке на воздухе, где кабель окружен диэлектрической средой, даже серьезные повреждения оболочки могут остаться незамеченными, тогда как при прокладке в земле подобных проблем не возникает в силу проводящих свойств грунта и присутствующей в нем влаги. Однако, к сожалению, нигде в публикациях и нормах не указывается на то, что проблемы, аналогичные воздушной диэлектрической среде, возникают и при прокладке кабелей в земле в полимерных трубах.

**Ключевые слова:**  
кабельная линия, кабель в трубе, сшитый полиэтилен, оболочка кабеля, испытания оболочки, поиск повреждения оболочки

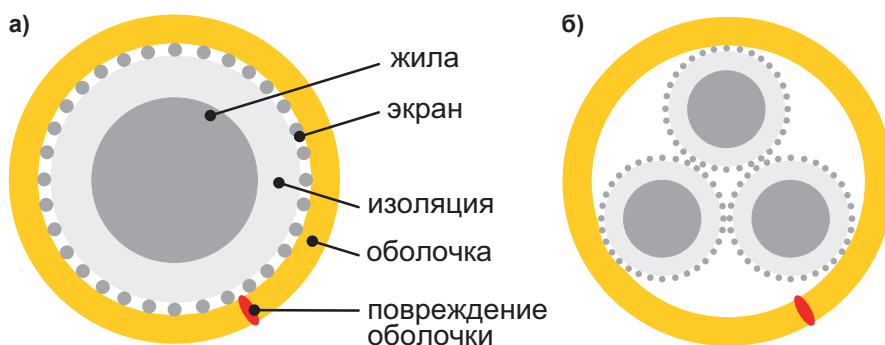


Рис. 1. Конструкция кабелей с СПЭ-изоляцией: а) однофазный кабель; б) трехфазный кабель

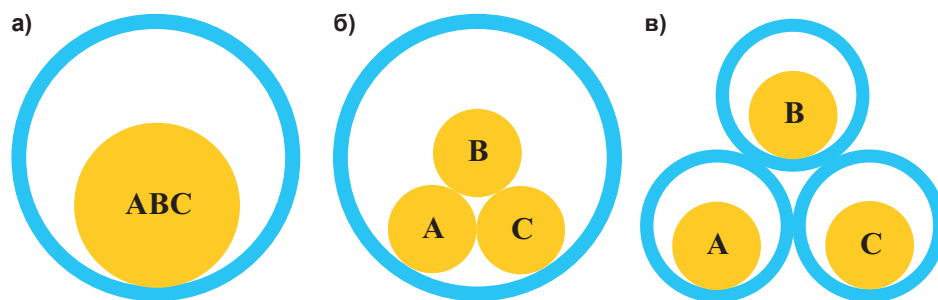


Рис. 2. Варианты размещения кабелей в трубах: а) трехфазный кабель; б) три однофазных в общей трубе; в) три однофазных в отдельных трубах

В новой статье рассмотрено, почему размещение кабелей в полимерных трубах серьезно мешает как выявлению фактов повреждения внешней оболочки кабелей, так и поиску конкретных мест трассы, где эти повреждения произошли. Таким образом, статья призвана обратить внимание читателей на то, что носящее массовый характер применение полимерных труб при строительстве КЛ удобно и выгодно монтажным организациям и производителям труб, но для служб эксплуатации сетевых компаний может превратиться в неразрешимую проблему испытаний оболочки с вытекающими отсюда негативными последствиями для основной СПЭ изоляции кабелей.

### ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ В ТРУБАХ

Применение труб для прокладки КЛ регламентируется многими документами, например, относительно новым СТО [1], где трубы рассмотрены в п. 8.6. Есть целый перечень случаев, когда размещение кабелей в трубах напрямую предписывается той или иной из действующих норм: например, организация захода кабелей в кабельные помещения распределительных устройств станций и подстанций; создание трубных блоков при совместной прокладке большого числа кабелей; выполнение пересечения различных коммуникаций. Традиционно в сетях 6–35 кВ прокладка всех трех фаз выполняется в общей трубе (рисунки 2а и 2б). Для сетей 110–500 кВ, напротив, используется пофазное размещение в трубах, расположенных в грунте пучком (рисунок 2в) или же на удалении друг от друга.

Асбестовые и металлические трубы имели ряд серьезных недостатков, которые ограничивали их использование для прокладки кабелей — например, они не являлись гибкими, и поэтому могли применяться лишь на прямых участках трассы. Асбестовые трубы кололись, оказывали абразивное действие на внешнюю оболочку кабеля при его протяжке, не позволяли выполнить герметичное стыкование труб во избежание их заиливания. Что касается металлических труб, то они имели высокий вес и стоимость, подвергались коррозии. Появление гибких полимерных труб, лишенных многих недостатков, присущих асбесту и металлу, открыло проектным и монтажным организациям широкие возможности для применения таких труб при строительстве КЛ, причем не только в рамках исполнения требований нормативных документов, но и далеко за их пределами.

Строительство КЛ 6–500 кВ в полимерных трубах включает в себя несколько последовательных этапов. В первую очередь, отдельные трубы (обычно длиной до 12–13 м) сваривают друг с другом встык для образования единого монолитного канала необходимой протяженности. Далее подготовленный таким образом трубный канал (каналы) размещают в грунте, после чего в него затягивают кабели.

В нашей стране наиболее распространены два способа размещения полимерных труб в грунте:

- открытый на дне траншеи (рисунок 3а);
- закрытый методом горизонтально-направленного бурения (ГНБ, рисунок 3б).

Траншейная трубная прокладка (рисунок 3а) находит весьма широкое применение из-за того, например, что при этом снижаются требования к качеству подготовки дна траншеи и к грунтам, используемым для обратной засыпки. Кроме того, считается, что в процессе эксплуатации труба обеспечит определенную механическую защиту кабелей в случае ведения рядом с трассой «неосторожных» земляных работ. Глубины расположения труб обычно составляют  $H_1 > 0,7$  м для кабелей 6–35 кВ и  $H_1 > 1,5$  м для кабелей 110–500 кВ.

Широкое распространение метода ГНБ (рисунок 3б) при прокладке КЛ объясняется тем, что при ГНБ удается свести к минимуму объем земляных работ и связанных с ними согласований в различных инстанциях. Сейчас протяженность единичных ГНБ-участков достигает 300–500 метров, и факторами, сдерживающим дальнейший рост протяженности, пожалуй, является только ограничение строительной длины кабеля и необходимость организации ровных площадок вне труб для монтажа соединительных муфт. Для ГНБ характерны глубины  $H_1 > 0,7 \div 1,5$  м и  $H_2 > 3 \div 10$  м.

На торцах трубных участков согласно СТО [1] устанавливают:

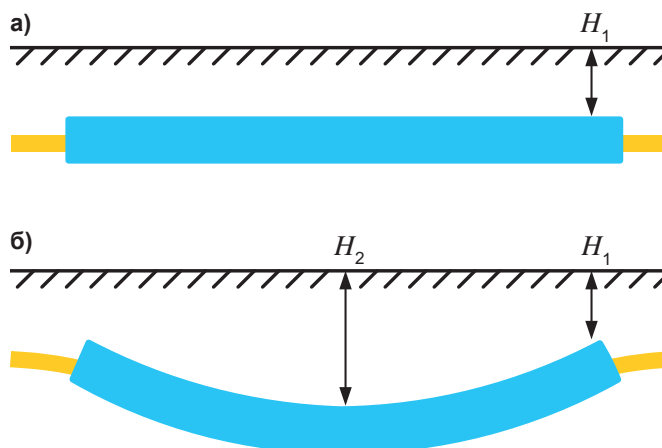


Рис. 3. Прокладка кабеля в полимерной трубе в грунте: а) труба размещена на дне траншеи; б) труба затянута в грунт методом ГНБ

- расширительные воронки, защищающие оболочку кабеля от воздействия острой кромки трубы;
- уплотнители, предотвращающие заиливание трубы с кабелем и обеспечивающие тем самым возможность беспрепятственного извлечения кабеля из трубы с целью его ремонта или полной замены.

### ИСПЫТАНИЯ ОБОЛОЧКИ КАБЕЛЯ

Проверка целостности внешней оболочки кабелей проводится в рамках приемо-сдаточных испытаний КЛ, а также периодически в процессе эксплуатации. Проверка осуществляется на отключенной КЛ, где после разземления экрана на него подается постоянное испытательное напряжение 10 кВ на время 1 мин. Ранее в статье [2] было показано, что если кабели однофазные и у них в экранах установлены ОПН с рабочим напряжением 8–9 кВ, то отключать такие ОПН на время испытаний не требуется — это существенно сокращает время подготовки схемы.

Если испытательная установка, подающая на экран напряжение, зафиксирует отсутствие испытательного тока ( $I_{и} = 0$ , рисунок 4а), то персонал сделает вывод о том, что и оболочка кабеля, и экранные ОПН не имеют опасных повреждений. Однако при наличии трубных участков трассы подобный вывод может оказаться неверным.

Если кабель имеет трубные участки, то отсутствие испытательного тока  $I_{и} = 0$  не обязательно будет означать, что оболочка кабеля не имеет критичных повреждений. Дело в том, что полимерные трубы изолируют кабель от окружающего грунта, и даже при наличии заметных повреждений оболочки испытательный ток не сможет выйти с экрана кабеля в грунт (рисунок 4б).

Возможность для тока  $I_{и}$  выйти с экрана кабеля через поврежденную оболочку в грунт возникает тогда, когда кабель проложен непосредственно в грунте (рисунок 5а), или же когда кабель проложен в трубе, которая внутри является влажной в степени, достаточной для обеспечения связи места повреждения хотя бы с одним из торцов трубы (рисунок 5б). В обоих этих случаях персонал зафиксирует испытательный ток  $I_{и} > 0$  и сделает вывод о необходимости выхода на трассу КЛ с приборами, позволяющими установить конкретное место, где имеется повреждение оболочки кабеля.

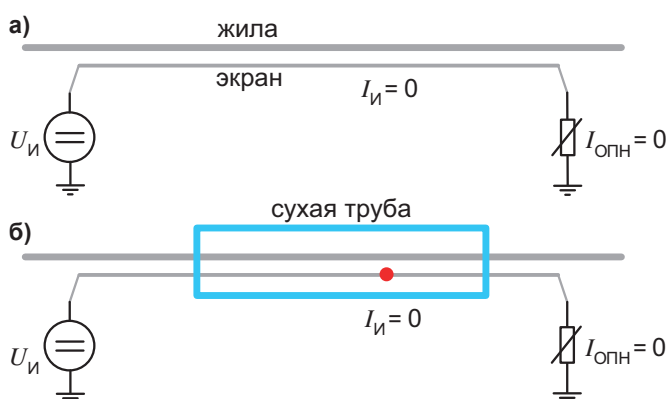


Рис. 4. Успешные испытания оболочки кабеля:  
а) оболочка не имеет повреждений в грунте;  
б) оболочка повреждена в сухой трубе

### ЗАПОЛНЕНИЕ ТРУБЫ ВОДОЙ

Согласно нормативным документам [1] полимерные трубы герметизируются по торцам для исключения заиливания, но на практике это также приводит к замедлению процесса заполнения трубы грунтовыми водами или даже делает такое заполнение невозможным. Учитывая изложенное, с высокой вероятностью на момент проведения приемо-сдаточных испытаний КЛ труба будет иметь количество воды, недостаточное для обеспечения выхода тока с экрана кабеля через поврежденную оболочку в грунт. Поэтому персонал зафиксирует  $I_{и} = 0$ , линия будет признана годной к эксплуатации, а монтажная организация получит подписанный акт выполненных работ, хотя сдала в эксплуатацию линию с повреждением оболочки (оно возникло или при производстве кабеля на заводе, или в процессе его монтажа).

При размещении труб в грунте, еще до момента затяжки в них кабелей, в трубы непременно попадает некоторое количество грунта и воды, которые после протяжки кабеля и герметизации торцов оказываются навсегда закрыты внутри трубы. Если в трубу попало достаточное количество воды, чтобы ее торцы надежно смачивались, то, конечно, факт повреждения оболочки будет установлен на стадии приемо-сдаточных испытаний (рисунки 6а и 6б), и устранять его придется монтажной организации за свой счет.

Если воды недостаточное количество (рисунок 7а), то в рамках приемо-сдаточных испытаний факт повреждения оболочки установить не удастся, но, строго говоря, в этом случае нет и какой-то особой опасности проникновения воды в СПЭ-изоляцию. В процессе эксплуатации, даже если заполнение трубы и будет происходить, то из-за отсутствия перепада высот оно будет проходить равномерно вдоль всей трубы, а значит, хотя опасность для кабеля и возрастает, но и условия для обнаружения факта повреждения оболочки также будут улучшаться. Следовательно, рано или поздно, при очередной проверке оболочки факт ее повреждения все же

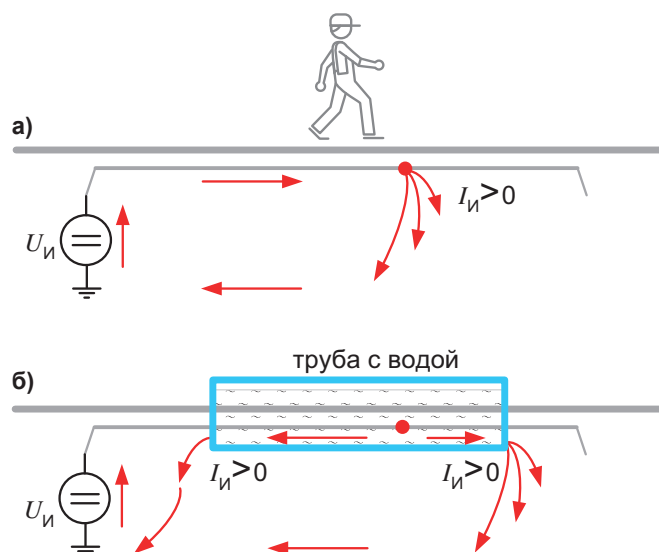


Рис. 5. Неуспешные испытания оболочки кабеля:  
а) оболочка повреждена в грунте;  
б) оболочка повреждена в трубе с водой

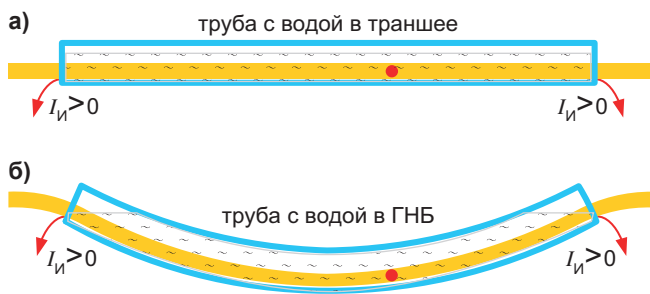


Рис. 6. Установленные повреждения оболочки кабеля в трубе: а) случай траншеи; б) случай ГНБ

установят (рисунок 6а). Увы, устранять повреждение энергетикам придется за свой счет, ведь с даты начала эксплуатации КЛ могут пройти многие годы, и гарантийные обязательства завода и монтажной организации успеют прекратиться.

Гораздо более серьезные последствия возникнут в ситуации ГНБ (рисунок 7б), где после завершения монтажа в силу перепада высот значительный объем воды оказался «заперт» в нижней части загерметизированной трубы. Поскольку концы труб водой не смочены, то  $I_{и} = 0$ , и поэтому приемо-сдаточные испытания КЛ будут успешными. Далее по мере эксплуатации КЛ может получиться так, что по причине качественной герметизации торцов объем воды увеличиваться не будет, концы трубы останутся сухими, повреждение оболочки так и не будет выявлено даже при проведении регулярных периодических испытаний КЛ. Вместе с тем, как видно из рисунка 7б, с первых дней после прокладки кабель с повреждением лежит в воде, ничто не мешает ей проникать внутрь СПЭ-изоляции, и ситуация способна сохраняться годы.

### ПОИСК ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБОЛОЧКИ КАБЕЛЯ В ТРУБЕ

Помимо своевременного установления факта повреждения внешней оболочки кабелей есть и еще одна проблема — поиск конкретного места трубного участка, куда приходится это повреждение. Установление точного места важно, так как позволяет принять решение о возможности ремонта оболочки и об оптимальных способах его выполнения. Сложности с ремонтом возникают, главным образом, если повреждение пришлось на глубокий участок ГНБ — в такой ситуации может быть принято решение об извлечении кабеля из трубы или для его замены на новый, или для его ремонта на поверхности земли с целью последующей затяжки обратно в трубу. Что же касается участков траншейной прокладки, то здесь ремонт осуществляется путем вырезания небольшого участка трубы и наложения на кабель термоусадки, но прежде следует определить место повреждения.

Поиск места повреждения внешней оболочки затруднен, поскольку полимерная труба выпускает испытательный ток в грунт не там, где находится повреждение, а по торцам трубного участка (рисунок 8а). Поэтому стандартный метод шагового напряжения, который основан на поиске точки выхода тока в грунт, укажет на торцы трубы, но не на кон-

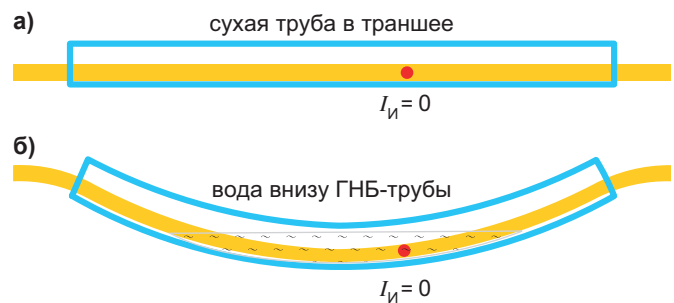


Рис. 7. Неустановленные повреждения оболочки кабеля в трубе: а) случай траншеи; б) случай ГНБ

кретное место повреждения. Также проблемы возникают и при использовании акустического метода, ведь труба приглушает звук от импульсного пробоя оболочки.

Чтобы найти место повреждения оболочки кабеля на трубном участке, следует последовательно вскрывать трубу и обеспечивать контакт кабеля с грунтом (рисунок 8б). При длине трубного участка, достигающей 300–500 м, процедура деления трубы на секции и последовательного приближения к месту повреждения может занять неделю и более. Все это время КЛ будет отключена, а кабельная лаборатория и ее персонал будут обеспечены тяжелой работой. Следует понимать, что вскрытие трубы должно проводиться максимально бережно, так как иначе пила может попасть по кабелю и нанести его оболочке глубокие порезы. После проведения процедуры поиска повреждения оболочки труба будет разделена на многие секции, то есть перестанет быть цельным герметичным монолитным кабельным каналом и не сможет быть повторно использована в случае реновации сети и замены кабелей на новые.

Известно, что для выявления повреждений оболочки при прокладке на воздухе используют кабели, оснащенные наружным полупроводящим слоем, и отсюда может возникнуть предложение применять такие кабели и на трубных участках в грунте. К сожалению, обычно данные кабели дороже традиционных и не всегда предназначены для прокладки в грунте, однако важнее другое — вне зависимости от типа оболочки кабеля труба выпустит испытательный ток в грунт только лишь на своих торцах, то есть процедуры деления трубы на секции избежать никак не удастся.

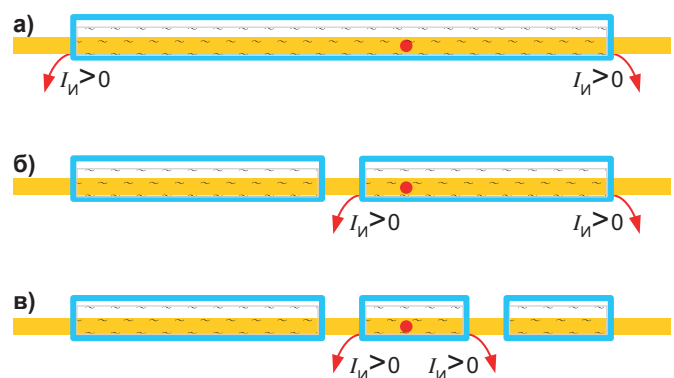


Рис. 8. Процедура поиска места повреждения оболочки кабеля в трубе: а) исходная труба; б) первое секционирование трубы; в) второе секционирование трубы



### КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЧР


Современные КЛ, особенно классов 110–500 кВ, оснащаются дорогостоящими системами температурного мониторинга и контроля частичных разрядов (ЧР). Так как повреждение внешней оболочки КЛ не вызывает повышения температуры СПЭ-изоляции, то температурный мониторинг оказывается бесполезен для решения задачи выявления факта повреждения оболочки и поиска его места вдоль трассы.

Измерение ЧР осуществляется в СПЭ-изоляции кабеля при приложении к ней рабочего напряжения сети или же высокого напряжения от стороннего источника. На время измерения ЧР экраны кабелей в обязательном порядке должны быть заземлены. Поскольку экраны заземлены, то они имеют практически нулевой потенциал, и даже при наличии повреждения внешней оболочки кабеля на экране нет напряжения, под действием которого с экрана кабеля через место повреждения оболочки наружу мог бы выходить какой-то ток или в оболочке могли бы возникать какие-то ЧР.

Контроль ЧР способен обнаружить повреждение оболочки кабеля только лишь косвенно — тогда, когда за годы своего существования данное повреждение вызовет проникновение воды в кабель и даст необратимые изменения в самой СПЭ-изоляции.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При строительстве современных КЛ 6–500 кВ все чаще используют полимерные трубы, и в обозримом будущем альтернативы таким трубам пока не видно. Несмотря на многочисленные преимущества размещения кабелей в трубах, не следует забывать и о некоторых особенностях этого способа прокладки. В частности, важно понимать, что при проведении приемо-сдаточных и периодических испытаний КЛ на трубных участках трассы не всегда удастся выявить имеющиеся повреждения внешней оболочки кабелей, опасные с точки зрения проникновения воды в кабель.

Учитывая изложенное, сетевым компаниям имеет смысл уделять повышенное внимание входному контролю кабельной и трубной продукции, поступающей на объекты строительства КЛ 6–500 кВ. Также важно осуществлять тщательный надзор за ходом монтажных работ и не допускать отклонения от требований, содержащихся в отраслевых нормативных документах (например, в части оснащения торцов труб концевыми воронками). Для снижения риска травмирования оболочки при трубной прокладке можно рекомендовать использовать кабели с усиленной оболочкой, в том числе с двойной оболочкой, имеющей снаружи продольные ребра. 

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СТО 34.01-21.1-001-2017. Распределительные электрические сети напряжением 0,4–110 кВ. Требования к технологическому проектированию. Стандарт ПАО «Россети», 2017.
2. Дмитриев М.В. Испытания оболочки кабельных линий 6–500 кВ // Кабель-news, 2014, № 2. С. 16–19.

#### REFERENCES

- 1.
- 2.

В издательстве Инфра-Инженерия вышла в свет новая книга к.т.н. В. И. Гуревича  
объемом свыше 500 страниц под интригующим названием

## «Электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва и защита электрооборудования от него»



В этой необычной книге рассказывается об истории развития военных ядерных программ в СССР и США, роли разведки в создании ядерного оружия в СССР, обнаружении электромагнитного импульса при ядерном взрыве (ЭМИ ЯВ), многочисленных испытаниях ядерных боеприпасов.

В доступной для неспециалистов в области ядерной физики форме описан процесс образования ЭМИ ЯВ при подрыве ядерного боеприпаса на большой высоте, показано влияние многочисленных факторов на интенсивность ЭМИ ЯВ и его параметры. Рассмотрено влияние ЭМИ ЯВ на электронные компоненты и устройства, а также и на силовое электрооборудование энергосистем.

Большую часть книги занимает описание практических (а не теоретических, как в сотнях отчетов на эту тему) средств и методов защиты электронного и электро-

технического оборудования от ЭМИ ЯВ, испытания этого оборудования на устойчивость к ЭМИ ЯВ, оценки эффективности средств защиты.

В книге использованы многочисленные документы и фотографии с грифами секретности, которые были рассекречены и стали общедоступными лишь недавно. По широте охвата проблемы, новизне, глубине и практической значимости описанных технических решений книга является фактически энциклопедией ЭМИ ЯВ и не имеет аналогов на книжном рынке.

Книга рассчитана на инженеров-электриков и энергетиков разрабатывающих, проектирующих и эксплуатирующих электронное и электротехническое оборудование, а также будет полезна преподавателям вузов и студентам. Много интересного найдут в ней также и любители истории техники.

Заказать книгу можно на сайте издательства [www.infra-e.ru](http://www.infra-e.ru) или по электронной почте [infra-e@yandex.ru](mailto:infra-e@yandex.ru) и телефону 8 (8172) 75-15-54