ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ЗАЩИТА портов оборудования с интерфейсами 100/1000BASE-T

Часть 2. Заземление оборудования и экранов кабелей. Принципы защиты от импульсных помех и их реализация применительно к Ethernet. Ответы на вопросы и промежуточные итоги

Д.Терентьев, технический директор компании COMMENG /
ic@commeng.ru

УДК 621.391.31, DOI: 10.22184/2070-8963.2020.87.2.54.60

Статья в определенной мере является продолжением цикла публикаций "Аварии на объектах связи. Причина – опасные электромагнитные влияния" [1–6] и обобщает опыт разработки и эксплуатации оборудования (и устройств защиты для него) для проводного и беспроводного ШПД, систем IP-видеонаблюдения, использующих интерфейсы Ethernet и работающих в условиях воздействия электромагнитных помех.

В первой части данной статьи были рассмотрены влияющие на стойкость систем связи к воздействию импульсных помех особенности схемотехники оборудования с портами Ethernet и используемых для его подключения кабелей и линий связи. Ниже дан и кратко обоснован ряд важных практических рекомендаций. Сделана попытка, насколько это возможно в журнальной статье, ответить на основные вопросы, которые обычно задают специалисты, занимающиеся проектированием и эксплуатацией.

Во всех частях статьи применена сквозная нумерация источников, таблиц и рисунков.

ЭКРАНЫ КАБЕЛЕЙ И ЭКРАНИРОВАНИЕ ОТ ВНЕШНИХ ПОМЕХ

Говоря о сетях Ethernet, логично использовать понятие "категория кабеля", при этом для рассматриваемых нами задач используются кабели категорий от 5е до 6а. Cat 7 и Cat 8 находят применение, в основном, в центрах обработки данных.

Чем выше категория, тем лучше экранирование – начиная с общего экрана из фольги

и заканчивая экранированием каждой пары и двумя внешними экранами из фольги и медной оплетки с дренажным проводом между ними.

Вопросы экранирования кабелей рассматриваются в многочисленной литературе. Довольно часто в самых доступных статьях (прежде всего в интернете) по теме встречается не только вольная интерпретация, но и ошибки, поэтому желающим разобраться рекомендуем более серьезные источники, например [12, 13], где вопрос экранирования кабелей изложен понятно и с использованием необходимого минимума математического аппарата. Для того чтобы продолжить, необходимо очень коротко упомянуть о механизме экранирования (причем принципиальной разницы для экранирования полей от внешнего источника и помех от эмиссии самого кабеля нет).

Затухание экранирования металлических оболочек при влиянии внешних источников помех определяются, как:

$$A_3 = A_{\Pi} + A_0 + A_z,$$

где: $A_{\text{п}}$ – затухание экранирования за счет поглощения энергии в экране; A_0 – затухание экранирования за счет отражения на границах "металл – диэлектрик"; A_z – затухание экранирования, обусловленное током, протекающим по цепи "экран – земля".

Нас интересует, прежде всего, последняя составляющая.

Сущность экранирующего действия за счет тока в цепи "экран – земля" можно объяснить с помощью векторной диаграммы, показанной на рис.8.

Пусть $I_{\text{вл.}}$ – вектор тока во влияющей линии (например, в канале молнии). Влияние помехи индуцирует ЭДС в цепях "экран – земля" $E_{\text{п.э.}}$ и "жила – земля" $E_{\text{п.ж.}}$, которые примерно равны и отстают по фазе от тока на 90° . ЭДС $E_{\text{п.э.}}$ создает в экране ток I_3 , который отстает от нее на угол φ . Этот угол будет тем больше, чем больше индуктивность экрана и меньше его активное сопротивление, то есть чем больше отношение $\omega L_3/R_3$.

Ток I_3 создает ЭДС $E_{\text{ж-э}}$ в цепи "жила – экран", которая совпадает по фазе с током и равна $E_{\text{ж-э}} = I_3 R_3$, и ЭДС в цепи "жила – земля" $E_{\text{ж-з}} = I_3 (Z_3 - R_3)$, где: R_3 – сопротивление оболочки постоянному току, Z_3 – полное сопротивление цепи "экран – земля".

При этом результирующая ЭДС в цепи "жила – земля" $E_{\text{рез.}}$ равна разности между ЭДС $E_{\text{п.ж.}}$, индуцированной помехой, и ЭДС $E_{\text{ж-з}}$.

Векторная диаграмма объясняет характер зависимости от электрических параметров металлической оболочки (экрана) кабеля идеального коэффициента экранирования (т.е. когда влияющее поле однородно и металлические покровы кабеля идеально заземлены).

Чтобы двигаться дальше, сделаем следующие выводы:

- для протекания тока по экрану необходимо заземление экрана с двух сторон кабеля (или участка влияния);
- экранирующее действие экрана кабеля максимально при нулевом сопротивлении заземления. При отсутствии заземления хотя бы с одной стороны экранирование от электромагнитных полей значительно снижается.

Следует ли из этого, что для того, чтобы защитить от импульсных помех цепи передачи данных, нужно обязательно заземлять экран кабеля с обеих сторон? Ответим на этот вопрос позже, а пока рассмотрим случаи, когда экран и заземляющее устройство являются источником помех, а не средством защиты от них.

Рис.8. Векторная диаграмма ЭДС и токов, индуцируемых в оболочке и жиле кабеля

ПРОТЕКАНИЕ ОПАСНЫХ И МЕШАЮЩИХ ТОКОВ ПО ЭКРАНАМ И МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ОБОЛОЧКАМ КАБЕЛЕЙ. ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА КАК ИСТОЧНИК ПОМЕХ

Прежде чем рассмотреть реальные примеры, представим себе "идеальное заземление" экрана кабеля, которое удовлетворяет следующим требованиям:

- разность потенциалов между точками заземления равна нулю;
- сопротивление (как активная, так и индуктивная составляющая) между точками заземления равно нулю.

Действительность может настолько далеко отстоять от идеала, что заземление или подключение к металлоконструкциям экранов или металлических оболочек кабелей приводит не только к помехам в линиях связи, но и к повреждению кабелей. Можно привести несколько возможных ситуаций, каждая из которых может привести (и приводила) к повреждению активного оборудования и линейных сооружений или нарушению связи.

Высокочастотные свойства заземляющих проводников

Информация о свойствах проводников систем заземления и уравнивания потенциалов при протекании по ним токов молнии и помех различного рода приведена в [14].

При решении вопросов ЭМС важнейшую роль имеют частотные характеристики помех, из всего многообразия которых нас в свете темы настоящей статьи интересуют:

- помехи с частотой сети переменного тока 50 Гц;
- гармоники 50 Гц в спектре до нескольких сотен гигагерц (основной источник – импульсные выпрямители);
- помехи от мощных радиопередающих устройств, установленных на объекте (спектр до единиц гигагерц);
- помехи от коммутации мощных источников и потребителей энергии, коротких замыканий на землю (например, на высоковольтных подстанциях, энергоёмких производствах и т.п.) в широком спектре частот;
- наводки от ударов молнии.

С ростом частоты увеличиваются как активная, так и индуктивная составляющие сопротивления проводника.

Активная его составляющая с ростом частоты возрастает за счет влияния скин-эффекта, одно из проявлений которого состоит в том, что величина переменного тока от поверхности к центру проводника убывает. Расстояние от поверхности проводника, на котором плотность тока убывает в e раз (т.е. имеет значение 37% от максимальной), называется глубиной скин-слоя.

Толщина скин-слоя рассчитывается, как

$$t = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}},$$

где: μ – абсолютная магнитная проницаемость вещества, σ – удельная проводимость, f – частота.

Для меди на промышленной частоте 50 Гц толщина скин-слоя составляет примерно 1 см, а, например, на 10 МГц его толщина уже около 10 мкм.

Магнитная проницаемость стали примерно в 1000 раз (или более, в зависимости от марки) выше, чем у меди, а удельная проводимость ниже примерно в семь раз. Тогда глубина скин-слоя составит на частоте 50 Гц 0,08 см, а на 10 МГц – менее 1 мкм.

Индуктивная составляющая сопротивления проводника зависит от частоты и собственной индуктивности (которая, кстати, тоже зависит от частоты). Расчеты показывают, что индуктивность одного метра проводника круглого сечения площадью 16 кв. мм на относительно низких частотах (на которых сосредоточена основная часть энергии импульса молнии) составляет: для стали – 5 мГн, для меди – 1,2 мкГн.

Таким образом, индуктивное сопротивление одного метра медного проводника указанного сечения на частоте 100 кГц составляет порядка 1 Ом, а стального – несколько кОм.

Протекание токов уравнивания потенциалов по металлическим покровам или экранам кабеля

Данный процесс происходит практически всегда, когда электроустановки зданий, между которыми проложен кабель, подключены к разным подстанциям. В случае аварийных ситуаций, например при "отгорании нуля" в здании с установкой TN-C, часть тока нулевой последовательности потечет через экран кабеля в заземляющее устройство другого здания (как правило, объекта связи).

Механизм аварии описан в [15, 16], известные автору случаи с повреждением телефонных кабелей и оборудования произошли в 1990-х и начале 2000-х годов в нескольких компаниях электро-связи и прекратились после того, как земляные жилы кабелей были тем или иным образом изолированы от металлоконструкций этажных распределительных щитов. Надо отметить, что на снижение повреждений влияет не только состояние линейных сооружений, но и инфраструктурных объектов, где они проложены (в данном случае электроустановок зданий).

Повреждение кабелей, проложенных вблизи объектов энергетической инфраструктуры

Автору пришлось заниматься расследованием причин двух аварий, каждая из которых привела к повреждению кабелей, оборудования и пожару. Одна из них произошла на электрифицированной железной дороге ([16], пример 3 в [3]), в другом случае линия связи проходила рядом с высоковольтной подстанцией (пример 2 в [2]). В обоих случаях причиной послужили грубые ошибки при проектировании, строительстве и эксплуатации.

Протекание части тока молнии по оболочке кабеля

Рассмотрим крайне упрощенную модель, которая показана на рис.9.

На мачте установлен выполненный из металла трансиверный модуль РРС с антенной, который соединен с оборудованием, установленным в контейнере, коаксиальным кабелем. Экран (внешний проводник) кабеля электрически соединен с корпусом трансивера и через него с мачтой, при вводе в контейнер экран подключается к контуру заземления первого. Мачта имеет молниезащитное заземление, соединенное проводником с контуром заземления контейнера.

Эквивалентная схема состоит из комплексных сопротивлений металлоконструкции мачты Z_m , экрана кабеля Z_z , молниезащитного заземления

мачты $Z_{з.м.}$, заземления контейнера $Z_{з.к.}$ и соединительного проводника Z_c . Для еще большего упрощения будем считать, что $Z_c=0$. Тогда ток разряда молнии i_p распределяется между мачтой и экраном кабеля обратно пропорционально отношению их комплексных сопротивлений, то есть $i_m Z_m = i_z Z_z$. Как видим, случай неидеальный, так как сопротивление между точками "заземления" (правильно будет сказать: точками подключения к металлоконструкциям) экрана кабеля не равно нулю.

Существуют различные методы, позволяющие оценить характеристики токов и напряжений в проводниках системы заземления и уравнивания потенциалов при различных воздействиях – от измерений до численного моделирования [17].

При математическом моделировании удара молнии в мачту, в верхней части которой экраны двух мощных коаксиальных кабелей через корпус оборудования подключались к металлоконструкции мачты, было определено, что по оболочке каждого кабеля протекает ток порядка 15% от общего тока молнии. Расчеты проводились на реальном объекте с использованием одной из первых версий программы [18].

Разделение заземляющих устройств и изолированная система уравнивания потенциалов

В некоторых случаях из-за мощных источников помех (например на высоковольтных подстанциях) для заземления оборудования передачи и обработки информации имеется отдельное заземляющее устройство (которое иногда называют "электронная земля"). Стандарт [19] предусматривает в некоторых случаях организацию на одном объекте нескольких заземляющих устройств, не соединенных друг с другом. Это может оказаться необходимым, если на одном из заземляющих устройств высок уровень помех, а другое используется как рабочее для оборудования связи.

Иногда приходится выполнять полностью изолированную систему уравнивания потенциалов, которая в терминах Исследовательской комиссии № 5 МСЭ-Т именуется замкнутой изолированной системой соединений (Mesh Bonding Network).

В практике автора был интересный пример, когда в работе оборудования связи, находящегося в многоэтажном здании (антенны установлены на крыше, аппаратная – на верхнем техническом этаже) периодически возникали сбои,

Инжекторы Power over Ethernet универсального назначения. Оптимальное решение для БШПД

- ✓ питание от источников постоянного тока;
- ✓ исполнения – indoor / outdoor;
- ✓ опционально – грозозащита.

Мультирежимный инжектор IEEE 802.3

- ✓ Fast/Gigabit. IEEE 802.3 af/at/bt/ultra PoE;
- ✓ установка мощности и метода PoE.

Универсальный инжектор Passive PoE

- ✓ Fast/Gigabit. Методы А, В, А+В (100 Вт);
- ✓ электронная защита от перегрузки.

Простой инжектор Passive PoE

- ✓ Fast Ethernet. Метод передачи В (50 Вт);
- ✓ электронная защита от перегрузки.

www.commeng.ru

youtube: COMMENG: как это сделано.

Сделано в Санкт-Петербурге

при изучении которых была обнаружена корреляция с работой лифтового оборудования. Проблема была решена созданием изолированной системы соединений для всего оборудования, включая антенны, и выполнением отдельного рабочего защитного заземления.

Тем, кого интересует заземление объектов связи, можно рекомендовать доклад [20], где данный вопрос рассмотрен достаточно подробно, а также дан обзор существовавшей в то время нормативной базы.

РАБОТА ЗАЩИТЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ. УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ КАК ЧАСТЬ СИСТЕМЫ УРАВНИВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ

Автору понадобилось несколько лет работы в области ЭМС, прежде чем удалось сформулировать для себя принцип защиты от импульсных помех [6, 21]. После этого решение многих проблем стало очевидным.

Представим себе защищаемый объект (электронный блок, стойка с оборудованием, узел связи в целом) в виде "черного ящика" (рис.10). К нему подключается, по крайней мере, одна линия передачи информации, одна – электропитания. Имеются токопроводящие элементы с условно нулевым электрическим потенциалом: на плате это экраны разъемов, проводники, в стойке – металлический корпус и т.п.

На объекте связи – это система уравнивания потенциалов, к которой подключены остальные элементы вплоть до дорожек "земли" на плате.

Для простоты представим, что данные и электропитание передаются по однопроводным линиям (а и b соответственно), система также имеет общую точку (с) с нулевым потенциалом.

Для любой такой системы имеется набор значений импульсных перенапряжений с определенными амплитудами, длительностями, формами импульсов, при воздействии которых техническая система может выйти из строя. В данном случае это u_{a-b} , u_{a-c} и u_{b-c} .

Для защиты от импульсных перенапряжений необходимо уравнивать потенциалы всех токоведущих частей, для чего их необходимо соединить. К системе уравнивания потенциалов здания мы подключаем металлические оболочки кабелей, коробка вентиляции, корпуса оборудования и т.д. Но подключить к ней напрямую проводники кабелей связи и электропитания нельзя, поэтому для этого используются устройства защиты от импульсных помех (УЗИП), которые, не нарушая режимов передачи информации и электроэнергии, пропускают через себя ток при заданном уровне разности потенциалов и таким образом ее уравнивают до безопасных значений.

Отсюда следует вывод: устройства защиты от импульсных помех являются частью системы уравнивания потенциалов. Следовательно:

- УЗИП бесполезны (неэффективны), если система уравнивания потенциалов отсутствует или не обеспечивает низкого сопротивления между точками подключения к ней на высоких частотах;
- УЗИП бесполезны, если они не подключены к системе уравнивания потенциалов либо подключены неправильно.

Если вернуться к рис.10, то мы не увидим на нем заземляющего устройства. Однако, если снизить значения напряжений u_{a-b} , u_{a-c} и u_{b-c} до безопасного уровня с помощью установки УЗИП между точками a-b, a-c и b-c, то система будет защищена от воздействия помех.

В качестве наглядного примера можно привести самолет. На нем смонтировано множество сложных электронных приборов, защищенных с помощью УЗИП, в качестве системы уравнивания потенциалов для которых используется металлический фюзеляж, заземление которого осуществимо только на стоянке. Тем не менее при ударах молнии в самолет все его

системы, как правило, продолжают нормально функционировать.

ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ

Одна из причин, почему автор взялся за эту статью – попытка разом ответить на несколько связанных с ЭМС вопросов, которые нам чаще всего задают: нужно ли заземлять экран, почему сгорела IP-камера, почему пропадают link или теряются пакеты, как подключить наше защитное устройство и какая у него величина Response Time.

Response Time переводится на русский как время отклика, ответа, срабатывания, реагирования. Если говорить об устройствах защиты, то это будет значить "время срабатывания". Обычно этот параметр указывают производители из КНР и Тайваня, иногда США. Из описаний значения Response Time попадает в тендерную документацию. На основании этих цифр иногда принимаются решения так: "Понятно же, что 5 нс лучше, чем 10?". Давайте все-таки разберемся.

Некоторые производители указывают для своих устройств на базе разрядников скорость срабатывания, равную 100 нс. Мне непонятно, зачем и откуда такая величина взялась. Параметры устройств защиты для систем проводной связи (и разрядников для них) нормируются для микросекундных импульсов тока 8/20 мкс (рис.11). Используются и другие импульсы, но у всех из них длительность фронта составляет единицы микросекунд. Разделите отрезок T₁ на 80 частей (8 мкс/80 = 100 нс) и представьте, какими должны

быть скорость нарастания и амплитуда импульса, чтобы значение напряжения было достаточным для срабатывания разрядника.

Для газонаполненных разрядников скорость срабатывания определяется динамическим напряжением пробоя, характеризующим зависимость времени срабатывания разрядника от скорости нарастания напряжения. Напомню, что пробой разрядника происходит при зажигании дуги в нем, для чего под воздействием электрического поля между электродами в газе должны появиться свободные носители заряда, то есть произойти его ионизация, а на это требуется время.

Динамическое напряжение пробоя можно представить, как фиксированное значение напряжения пробоя при определенной скорости нарастания импульса. На рис.12 показаны значения напряжения пробоя:

75 В – статическое (нарастание напряжения со скоростью 100 В/с), а также при воздействии нарастающего со скоростью 100 В/мкс и 1000 В/мкс напряжения (напряжение пробоя 450 и 550 В соответственно).

В принципе, производитель защитных устройств для оборудования Ethernet может провести испытания на воздействие наносекундных импульсов. Но, по нашему мнению, указывать его смысла (во всяком случае, в таком виде) нет, так как:

- время срабатывания разрядника (и устройства на его базе) должно привязываться к форме импульса;
- наносекундных помех в кабелях Ethernet нет, так как нет воздействия их источников на эти кабели (определенные исключения быть могут, но рассматривать их не будем).

Другая ситуация с полупроводниковыми защитными элементами – защитными диодами, тиристорами (полупроводниковыми разрядниками). Свободные носители зарядов в легированных зонах присутствуют, некоторое замедление пробоя р-п-перехода при подаче на него достаточного для этого напряжения обусловлено, в частности, его собственной емкостью. Таким образом, для полупроводниковых элементов и устройств с их применением указание параметра "время срабатывания" (Response Time) имеет физический и практический смысл.

В первой части статьи было рассмотрено несколько схем устройств защиты, и во всех из них полупроводниковые элементы используются для защиты от дифференциальных помех. Там же объясняются ограничения для их применения в цепи "провод – земля". Проблема только в том, что дифференциальных помех между проводами пары в рассматриваемых нами ситуациях нет.

Действительно, величина Response Time устройства защиты может составлять условные 5 или 10 нс, но при этом часто забывают уточнить, что относятся эти значения только к подаче импульса в цепь "провод – провод" витой пары. Для устройств защиты Ethernet практического значения это не имеет по той причине, что в реальных условиях применения такого рода помех не бывает.

Заземление экрана кабеля. Нужно ли заземлять кабельный экран, а если да, то с одной стороны или с обеих? Вероятность того, что уровень помех от протекания посторонних токов по экрану будет гораздо выше, чем от других источников электромагнитного поля, велика (приближается к 100%). Кроме того, возможно протекание части тока молнии по экрану кабеля, если подключить его так, как показано на рис.9. Чтобы не думать, потекут ли токи по экрану и какие, рекомендуется подключать экран кабеля к заземлению только на одной стороне: там, где стоит основное оборудование – коммутатор, IDU, видеосервер, метеостанция, и не подключать со стороны оконечного – IP-камеры, ODU, устройства контроля доступа, измерительного прибора.

Конечно, встречаются и особые случаи. Например, если экран заземлить с двух сторон – потечет

низкочастотная помеха, не заземлить – будут наводки от высокочастотной помехи. Для этого случая есть методы замыкания цепи протекания тока экрана только по высокой частоте [22].

Нужно ли электрически соединять (или, наоборот, изолировать) IP-камеру или ODU БШПД с металлоконструкциями (мачта, опора, металлический ангар), на которых они установлены? На этот вопрос автор ответит в третьей части статьи.

ЛИТЕРАТУРА

12. Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А. Защита сооружений связи от опасных и мешающих влияний. – М.: Связь, 1978.
13. Власов В.Е., Парфенов Ю.А. Кабели цифровых сетей электросвязи. – М.: Эко-Трендз, 2005.
14. Терентьев Д.Е. Высокочастотные свойства заземляющих проводников // Электросвязь. 2004. № 11.
15. Терентьев Д.Е. Способ и устройство для защиты от опасных токов в земляной жиле кабеля // V Всероссийская конференция по линейно-кабельным сооружениям СТЛКС-2006: сб. трудов. – СПб, 2006.
16. Терентьев Д.Е. Воздействие токов уравнивания потенциалов, протекающих по металлическим покровам оптических кабелей // Техника связи. 2008. № 6.
17. Кузнецов М.Б., Матвеев М.В. Численное моделирование процесса растекания тока молнии по заземляющему устройству здания: сравнение результатов эксперимента и расчетов // II Всероссийская конференция по заземляющим устройствам: сб. тезисов. – Новосибирск, 2005.
18. Описание программы "Контур". V. 3. 4.0.0. ООО "Эзоп".
19. European Telecommunication Standart. Earthing and bonding of telecommunication equipment in telecommunication centres. ETSI, 1994.
20. Терентьев Д.Е. Заземляющие устройства объектов связи: проблемы и пути их решения // I Всероссийская конференция по заземляющим устройствам: сб. тезисов. – Нсб., 2002.
21. Терентьев Д.Е. Устройства защиты от импульсных помех как часть системы уравнивания потенциалов объекта связи // Техника связи. 2006. № 1.
22. Терентьев Д.Е. Способ высокочастотного заземления экранов кабелей цифровых сетей электросвязи при наличии разности потенциалов или низкочастотной помехи // V Всероссийская конференция по линейно-кабельным сооружениям СТЛКС-2006: сб. трудов. – СПб, 2006.

16-й МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ – ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

2-4 июня 2020 г., Москва,
ВДНХ, павильон 75

16th MOSCOW INTERNATIONAL
INNOVATION FORUM

ACCURATE MEASUREMENTS – THE BASIS FOR QUALITY AND SAFETY

June 2-4, 2020, Moscow,
VDNH, Exhibition hall 75

ОРГАНИЗАТОРЫ:

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ

METROLEXPO

МЕТРОЛОГИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ

CONTROL&DIAGNOSTIC

КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

LABTEST

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

PROMAUTOMATIC

ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

RESMETERING

УЧЕТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

WEIGHT SALON

ВЕСОВОЙ САЛОН

ФОРУМ 2019 г. (ЦИФРЫ И ФАКТЫ):

Участники – 256 компаний из 24 стран мира

Посетители – 4870 специалистов

Площадь экспозиции – 6500 м²

Приборы и оборудование – более 2000 ед.

Докладов и презентаций – 68 чел.

Участников съезда – 1100 чел.

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

Тел./факс: +7 (495) 937-40-23

E-mail: metrol@expoprom.ru

Спешите забронировать стенд
www.metrol.expoprom.ru