

КУЗНЕЦОВ М.Б.

Заместитель главного инженера ООО «ЭЗОП – Электроэнергетика, Защита От Помех», к.ф.-м.н.

**МАТВЕЕВ М.В.**

Директор ООО «ЭЗОП – Электроэнергетика, Защита От Помех», к.ф.-м.н.



ЗАЩИТА ОТ ВТОРИЧНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ МОЛНИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭМС МП АППАРАТУРЫ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Современная аппаратура автоматике, управления, сигнализации, учета и связи, основанная на микроэлектронных и микропроцессорных элементах, имеет широкие функциональные возможности, обеспечивает простоту и гибкость конфигурирования, позволяет обеспечить дружественный интерфейс и обладает рядом других преимуществ. При этом устойчивость к электромагнитным помехам такой аппаратуры, как правило, ниже, чем, например, у традиционных электромеханических устройств. На промышленных объектах, в том числе объектах нефтегазовой и электроэнергетической отрасли, уровни электромагнитных помех могут превышать уровни помехоустойчивости микропроцессорной (МП) аппаратуры, определяемые, например, [1]. В этом отношении ситуация в целом аналогична тому, что наблюдается в электроэнергетике на электрических станциях и подстанциях [2-7].

Обеспечение устойчивой работы аппаратуры под действием электромагнитных помех тесно связано с понятием электромагнитной совместимости (ЭМС). Электромагнитная совместимость (ЭМС) – это способность электронной аппаратуры нормально функционировать в определенной электромагнитной обстановке (ЭМО), не создавая при этом электромагнитных помех, опасных для других технических средств.

Совокупность уровней помех, характерных для любого конкретного объекта, называется электромагнитной обстановкой (ЭМО).

В настоящее время в нашей стране и за рубежом решению проблемы ЭМС уделяется заметное внимание [1-7]. За прошедшее время рядом организаций были проведены работы на более чем 30 объектах нефтегазовой отрасли в России и ближнем зарубежье, что позволило накопить опыт решения проблем ЭМС. В частности, при активном участии авторов проводились работы по определению ЭМО на следующих объектах: ПХГ «Касимов», КС «Донская», КС «Острогжская», КС «Переславская», КС «Приозерная», КС «Арская», КС «Смоленская», КС «Давыдовская», объекты АК «Транснефть» и другие объекты нефтегазового комплекса (ГРС, узлы связи, радиорелейные станции, НУП ТМ). Результаты проведенных работ, включающие анализ аварийных ситуаций, заставили предположить, что молниевый разряд – основной источник опасных помех на объектах нефтегазового комплекса.

Как показывает практика, вероятность протекания опасных токов КЗ на объектах нефтегазовой отрасли в среднем ниже, чем на объектах электроэнергетики. Поэтому опасность влияния на МП аппаратуру помех в аварийных режимах в сетях электроснабжения предприятий нефтегазовой отрасли несколько снижается по сравнению с энергообъектами.

В то же время, при молниевых разрядах ситуация оказывается крайне неблагоприятной.

Во-первых, молниевый разряд на территории таких объектов является распространённым событием. Ток молнии может достигать 100 кА и более [9], что делает ее, пожалуй, самым мощным источником электромагнитных воздействий на территории объектов нефтегазовой отрасли.

Во-вторых, что еще более важно: ток, протекающий через заземляющее устройство при молниевом разряде, имеет сравнительно высокочастотный спектр (до нескольких десятков кГц). Как известно [2,6], эффективность протяженных заземлителей резко падает с ростом частоты. При этом, на территории многих из рассматриваемых объектов единое ЗУ в виде сетки либо отсутствует, либо размер ячеек сетки значительно выше, чем на ПС. Это означает, что несколько раз в год на территории объекта могут возникать импульсные разности потенциалов до нескольких десятков и даже сотен кВ. Если они при этом будут приложены к цепям до 1 кВ и входам аппаратуры – вероятность повреждения очень высока.

ХАРАКТЕРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ МП АППАРАТУРЫ НА ОБЪЕКТАХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Рассмотрим некоторые проблемы защиты МП аппаратуры от вторичных проявлений молниевых разрядов, характерные для распространенных типов объектов нефтегазового комплекса. Здесь не рассматриваются случаи явных нарушений требований НТД или здравого смысла, такие как, например, отсутствие заземлителей у молниеприемников, расположенных в каре РП, или размещение на молниеотводах цепей, подключаемых к МП аппаратуре (например, пожарных извещателей). Описанные ниже ситуации являются характерными для многих объектов нефтегазовой отрасли.

РЕЗЕРВУАРНЫЕ ПАРКИ

КЗУ резервуарных парков представляет собой, как правило, редкую заземляющую сетку (размер ячейки порядка нескольких десятков метров) и не обеспечивает эффективного уравнивания потенциалов на частотах молниевых импульсов. При этом практически все основные сооружения на территории объекта связаны между собой проводными цепями питания и обмена информацией, присоединяемыми к электронной аппаратуре АСУ, КИП, учета, сигнализации, видеонаблюдения и связи. В результате молниевых разрядов на территорию РП, разности потенциалов более 10 кВ будут приложенными к изоляции цепей до 1 кВ и входам аппаратуры. Такой уровень импульсных перенапряжений превосходит в несколько раз принятые уровни устойчивости электронной аппаратуры (даже в промышленном исполнении, согласно ГОСТ Р 51317.6.2-99). Предельно допустимые уровни импульсных перенапряжений, прикладываемых к изоляции цепей до 1 кВ согласно ГОСТ Р 50571.19-2000, также окажутся превышенными.

Важной особенностью РП являются повышенные требования к взрыво- и пожаробезопасности. Бесперебойная работа систем пожарной сигнализации и автоматики должна обязательно обес-

печиваться, в том числе, в случае удара молнии по территории объекта (поскольку именно молния часто является первопричиной возгорания).

Ситуация осложняется тем фактом, что в ряде случаев эстакады с кабелями питания и обмена информацией располагается на расстоянии менее 10 м от молниеотводов. Иногда расстояние от молниеотводов до эстакад составляет всего несколько десятков сантиметров. При этом заземление молниеотводов обычно осуществляется непосредственно на эстакады и проходящие под ними заземлители. В результате почти 100 % тока молнии будет растекаться по эстакадам. Вынос потенциала на эстакады при этом составит от нескольких десятков до нескольких сотен кВ. Соответственно, разность потенциалов до нескольких сот кВ будет приложена к изоляции проводных цепей до 1 кВ. Это с высокой вероятностью вызовет пробой изоляции (поскольку предельно допустимые уровни приложенных к ней перенапряжений согласно ГОСТ Р 50571.19-2000 будут превышены более чем в 10 раз. В результате опасные импульсные помехи достигнут входов аппаратуры, подключенной к соответствующим цепям, и с высокой вероятностью выведут ее из строя. Возможно даже повреждение устройств защиты от импульсных перенапряжений – УЗИП (если они установлены на входах аппаратуры) вследствие превышения пороговой мощности.

ГКС и УПХГ

На ГКС, УПХГ в большинстве случаев отсутствует единое заземляющее устройство, выполненное с целью заземления и уравнивания потенциалов на территории объекта в целом. Существующая «естественная» система уравнивания потенциалов, состоящая из трубопроводов, оболочек кабелей и т.п., не обладает достаточной эффективностью на частотах молниевых импульсов.

Так, например, на ГКС между ЗУ зданий щита управления и ГПА (газоперекачивающими агрегатами) электрическая связь осуществляется, часто по экранам и броне кабелей, а также по PEN/PE проводникам систем электроснабжения. В лучшем случае, сюда добавляются конструкции кабельной эстакады. При этом между указанными зданиями проходит большая часть цепей, подключенных к МП аппаратуре.

Заземление мачт с молниеприемниками, как правило, соединяется с ЗУ зданий и сооружений как по искусственным заземлителям, так и по PEN/PE проводникам кабелей электроснабжения прожекторов (размещаемых обычно на мачтах). В результате, разности потенциалов от нескольких десятков до нескольких сотен кВ между различными зданиями, строениями и аппаратами, создаваемые при молниевом разряде в молниеотводы и прожекторные мачты, расположенные на территории объекта, представляют опасность

для электронной аппаратуры и изоляции ее цепей в соответствии с ГОСТ Р 50571.19-2000 и ГОСТ Р 51317.4.5-99. В некоторых случаях ситуация еще более усложняется тем, что некоторые молниеприемники размещены непосредственно на конструкциях самих сооружений, например, на трубах рекуператоров ГПА. В этом случае разности потенциалов между ГПА и щитом управления будут максимальны.

На некоторых объектах было отмечено наличие нескольких отдельных контуров заземления, используемых для заземления оборудования в пределах одного сооружения. При этом различные блоки аппаратуры, находящиеся даже внутри одного шкафа или панели, могут (как показывает практика) заземляться на разные контуры. В результате, при молниевых разрядах в ближайшие к зданиям молниеприемники, возможно появление разностей потенциалов в несколько десятков и даже сотен кВ внутри помещений с МП аппаратурой и даже внутри отдельных шкафов. Естественно, риск повреждения аппаратуры и даже опасность поражения персонала при этом многократно увеличивается. Как правило, требование выполнения отдельного (так называемого «инструментального» или «телекоммуникационного») контура заземления выдвигалось поставщиками чувствительной аппаратуры с несимметричными цепями. Однако это требование нарушает ПУЭ, 7-е изд., п.1.7.55, и в настоящее время, когда несимметричные цепи применяются все реже, представляется опасным анахронизмом.

НУП ТЕЛЕМЕХАНИКИ, ДИСПЕТЧЕРСКИЕ ПУНКТЫ И УЗЛЫ СВЯЗИ

НУП телемеханики и связи, диспетчерские пункты и узлы связи (например, РРС) имеют в своем составе антенные опоры (АО), высота которой на различных объектах может составлять от 20–25 метров до 80 и даже 120 метров. Естественно, молниевый разряд в такое высокое сооружение намного более вероятен, чем в более низкие объекты. Близкое расположение АО и мест размещения МП аппаратуры (причем не только оборудования радиосвязи, но и АТС, АСУ и т.п.) приводит к ряду нежелательных последствий. Так, разность потенциалов (от нескольких десятков до сотен кВ) будет приложена к проводным цепям, уходящим на оборудование в других зданиях и сооружениях. Помимо разностей потенциалов, опасность для аппаратуры будут представлять импульсные магнитные поля (напряженностью от нескольких сотен до нескольких тысяч А/м), создаваемые током молнии, протекающем по металлоконструкциям АО и проводящим элементам кабелей, заходящим на АО. Некоторые здания и сооружения частично экранируют магнитное поле (создаваемое током, растекающимся по конструкциям АО), например НУП, выполненные в виде цельнометаллических



«бочек» или контейнеров с металлическими стенками. Однако, без специальной защиты, часть тока, протекающая по проводящим элементам кабелей, заходящих внутрь экранированного объема, может создавать в местах размещения МП аппаратуры магнитные поля напряженностью выше 1 кА/м, что представляет опасность для аппаратуры согласно ГОСТ Р 50649-94.

Общей проблемой многих подобных объектов является то, что большая часть осветительных приборов (как прожекторов, так и аэронавигационных огней), расположенных на молниеотводных мачтах или антенных опорах, получают электроснабжение от тех же КТП или ЩП, что и МП аппаратура. При такой ситуации молниевый разряд в молниеотводы будет приводить к неконтролируемому растеканию части тока молнии по цепям 0,4 кВ, выносу потенциала на заземление МП аппаратуры и появлению опасных помех в сетях 0,4 кВ.

ОБЪЕКТЫ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА

Как уже отмечалось выше, буровые установки представляют собой высотные сооружения, частота поражения которых молнией может быть велика. В этом случае ситуация аналогична таковой для зданий и сооружений рядом с мачтами радиосвязи (см. выше).

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЭМС МП АППАРАТУРЫ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Опыт, накопленный в процессе выполнения работ по обеспечению ЭМС на объектах нефтегазовой отрасли, позволяет с уверенностью утверждать, что в большинстве своем проблемы ЭМС были «заложены» еще при проектировании объектов. Если обобщить сказанное выше, наиболее распространенными проблемами можно назвать:

Молниеприемники размещены непосредственно на трубах рекуператоров ГПА на ГКС

“
**В большинстве
своем проблемы
ЭМС были
«заложены»
еще при
проектировании
объектов.
Но даже при
тщательном
учете вопросов
ЭМС на стадии
проектирования
существует
необходимость
последующей
эксперименталь-
ной проверки
ЭМО**”

- неудовлетворительные характеристики ЗУ по условиям ЭМС МП аппаратуры;
- молниезащита выполняется без учета влияния вторичных проявлений молниевых разрядов – импульсных разностей потенциалов и электромагнитных полей – на вторичные цепи и аппаратуру;
- экранирование вторичных цепей осуществляется произвольно без учета реальной необходимости либо не осуществляется вовсе;
- устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) на базе разрядников, варисторов и шунтирующих диодов практически не используются в цепях МП аппаратуры. В случаях, когда они все же применяются, их применение редко бывает увязано с мерами по уравниванию потенциалов и экранированию согласно [8].

Поэтому решение большей части проблем ЭМС должно, строго говоря, происходить именно при проектировании новых и реконструируемых объектов. Применение современных расчетных методов определения ЭМО позволяет получить достаточно полную информацию по прогнозируемым уровням помех уже на стадии проектирования нового объекта [5,6]. Разумеется, для уже существующих объектов нефтегазовой отрасли, подлежащих реконструкции, определение электромагнитной обстановки происходит, в основном, методами прямого измерения и имитационного моделирования.

Следует, однако, отметить, что даже при тщательном учете вопросов ЭМС на стадии проектирования существует необходимость последующей экспериментальной проверки ЭМО. Связано это с невозможностью учета всех влияющих факторов на стадии проектирования объекта, неизбежными дефектами монтажных работ, недокументированными изменениями конструкции объекта в ходе его эксплуатации, коррозией заземлителей и т.п. Практика показывает, что для полного решения проблемы ЭМС необходим комплексный подход.

В первую очередь на объектах нефтегазового комплекса должна быть создана единая система молниезащиты, заземления и уравнивания потенциалов, позволяющая максимально уравнивать потенциалы (возникающие при молниевых разрядах) различных зданий и сооружений, между которыми проходят цепи МП аппаратуры. При этом концепция Зоновой защиты согласно МЭК 62305 [8] должна адаптироваться к специфике объектов нефтегазовой отрасли.

Действительно, обычно при применении Зоновой концепции рассматриваются цепи, проходящие в пределах зданий и сооружений (как, собственно, показано на иллюстрациях в МЭК и отечественной инструкции [10]). В случае же территориально распределенных объектов, к которым относятся многие объекты нефтега-

зовой отрасли, эта концепция может выглядеть несколько по-другому. Суть ее в данном случае будет заключаться в том, чтобы создать эффективное уравнивание потенциалов (в том числе, на высоких частотах) на части территории объекта, где проложено большинство цепей до 1 кВ (в первую очередь – цепей обмена информацией). Если при этом отдельные цепи прокладываются за пределы данной «защищенной зоны», то их следует дополнительно снабжать УЗИП, средствами гальванической развязки, а оптимально – вообще выполнять оптоволоконно. Система заземления и уравнивания потенциалов в пределах указанной «защищенной зоны» может рассматриваться как «информационное» или «телекоммуникационное» заземление. К нему непосредственно не следует присоединять заземляющие проводники молниеотводов. В то же время, это не означает, что другие естественные и искусственные заземлители и проводящие коммуникации вообще не должны присоединяться к данной системе: критически важным моментом является то, что растекание большей части тока молнии должно обеспечиваться за пределами «защищенной зоны». Таким образом, реализуется некий «компромисс» между выполнением отдельного контура заземления информационного оборудования и необходимостью объединения всех проводящих коммуникаций на объекте по требованиям ПУЭ в конкретном случае. Эффективность предлагаемых решений может быть уточнена расчетом характеристик ЗУ на частотах молниевых импульсов по специальным программам.

Например, на объектах типа ГКС (когда протяженность объекта не позволяет создать единое ЗУ) ЗУ в виде сетки необходимо создать вблизи зданий и сооружений, где размещается большая часть МП аппаратуры и проходят подключаемые к ней цепи до 1 кВ. Так, как правило, выполнение сетки необходимо между ГЩУ и ГПА одного цеха ГКС. При этом молниеотводные мачты должны быть вынесены за пределы такой сетки на расстояние 10–20 м (точная величина определяется расчетом). В то же время, следует исключить существование нескольких контуров заземления, не связанных друг с другом.

Электроснабжение осветительных приборов, расположенных на молниеотводных мачтах или антенных опорах, рекомендуется осуществлять от отдельных источников питания, от которых не осуществляется электроснабжение МП аппаратуры.

Для цепей МП аппаратуры, проходящих между различными сооружениями, рекомендуется использовать экранирование. Для этого могут использоваться экранированные кабели. Экраны кабелей должны быть заземлены по обоим концам, если ЗУ сооружений, между которыми проходят цепи, соединены в единое ЗУ (напри-

мер, находятся в пределах «защищенной зоны»). В случае если цепи выходят за пределы «защищенной зоны», заземление экрана рекомендует осуществлять со стороны защищаемой аппаратуры. При этом дополнительно используются устройства защиты от импульсных перенапряжений, гальванические развязки и т.п.

Экранирование цепей, проложенных по кабельным эстакадам, в некоторых случаях может быть обеспечено металлоконструкциями самой эстакады. Также рекомендуется использовать экранированные кабели и экранирующие кабельные короба.

В качестве дополнительных мероприятий, как правило, применяют устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП). Использование УЗИП без создания комплексной системы защиты от вторичных проявлений молниевых разрядов является, как правило, недостаточным.

При проектировании систем молниезащиты и заземления должно учитываться множество факторов, таких как грозовая активность, удельное сопротивление грунта, площадь объекта и его компоновка, наличие в непосредственной близости от объекта питающей ПС, и многое другое. Поэтому параметры комплексной системы защиты МП аппаратуры от вторичных проявлений молниевых разрядов для каждого конкретного объекта должны быть разработаны на основе результатов обследования ЭМО и соответствующих расчетов. Поскольку инструкция [10] и ПУЭ не содержат необходимых требований и технических решений, изложенных с достаточной степенью детализации и в достаточном объеме, рекомендуется напрямую использовать положения МЭК 62305 (что допускается отечественной НТД). Оптимальным же путем является разработка специализированной НТД для нужд нефтегазовой отрасли. Ниже приводится пример, показывающий недостаточность выполнения требований действующей НТД для обеспечения ЭМС.

Так, согласно ПУЭ, сопротивление ЗУ объекта к «которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока». Указанное требование может быть автоматически перенесено на молниеотводные мачты с прожекторами, на которых заземлены PEN- или PE- проводники. Если требования ПУЭ соблюдены, и сопротивление заземлителя прожекторной/молниеотводной мачты составляет 4 Ом, то при молниевом разряде в такую мачту импульсный потенциал на ее заземлении составит ~400 кВ (при токе молнии 100 кА). Соответственно, разность потенциалов в несколько сотен

кВ будет приложена к цепям 0,4 кВ, проходящим между мачтой и щитом питания. В реальности большая часть тока молнии станет растекаться именно по цепям питания на ЗУ щитовой. Как показывает практика, то же ЗУ обычно является и заземлением МП аппаратуры. Т.е. вынос потенциала в несколько десятков киловольт на заземление аппаратуры при этом почти неизбежен.

При прохождении вблизи такой мачты эстакады с цепями управления, сигнализации и связи высокий импульсный потенциал (также порядка нескольких десятков кВ) будет вынесен на металлоконструкции эстакады.

При выполнении комплексной системы защиты МП аппаратуры от электромагнитных помех нельзя забывать, что сама МП аппаратура должна удовлетворять требованиям устойчивости к помехам. Действительно, любая система защиты может ослабить помехи только до определенного уровня – но не ликвидировать полностью. Общие требования можно найти, например в ГОСТ Р 51317.6.2-99 [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51317.6.2-99 (МЭК 61000-6-2-99) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний.
2. Guide on EMC in Power Plants and Substations. CIGRE Publ. 124, 1997 г.
3. Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех. Утверждены Департаментом науки и техники 29.06.93 за номером РД 34.20.116-93. М. РАО «ЕЭС России», 1993 г.
4. Методические указания по определению электромагнитной обстановки на электрических станциях и подстанциях. СО 34.35.311-2004 РАО «ЕЭС России».
5. *Матвеев М.В.* Электромагнитная обстановка на объектах определяет ЭМС цифровой аппаратуры. Новости электротехники, №1–2 (13–14), 2002 г.
6. *Матвеев М.В.* ЭМС цифровой аппаратуры диктует новые требования к заземляющим устройствам электроустановок, «Новости Электротехники» №2, 2004 г.
7. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. Под ред. Дьякова А.Ф. М.: Энергоатомиздат, 2003 г.
8. IEC 62305 (Lightning Protection)
9. *V. Rakov, M. Uman.* "Lightning", Cambridge, 2005 г.
10. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. М.: МЭИ, 2004 г.
11. *А.Й. Шваб.* Электромагнитная совместимость. – Энергоатомиздат, М., 1995 г.

“**Параметры комплексной системы защиты МП аппаратуры от вторичных проявлений молниевых разрядов для каждого конкретного объекта должны быть разработаны на основе результатов обследования ЭМО и соответствующих расчетов**”