

# АВАРИИ НА ОБЪЕКТАХ СВЯЗИ

## Причина – опасные электромагнитные влияния

Часть 2\*

Д.Терентьев  
ic@commeng.ru

Мы продолжаем серию публикаций, посвященных авариям на объектах электросвязи. Длительное время автор занимался проблемами защиты от перенапряжений и электромагнитной совместимости. В ходе работы приходилось как анализировать причины, приведшие к повреждению оборудования и линий связи и пожарам, так и разрабатывать мероприятия и специальное оборудование для предотвращения аварий и нарушений качества связи из-за воздействия электромагнитных влияний. Накопленный опыт позволил системно исследовать проблему, результаты этой работы и рассматриваются в серии публикаций.

### **АВАРИЯ НА УЗЛЕ СВЯЗИ БРАТСКОЙ ГЭС КАК ЧАСТЬ КАТАСТРОФЫ НА САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС**

Саяно-Шушенская ГЭС (СШГЭС) на реке Енисей – самая мощная в России и одна из крупнейших в мире. Установленная мощность составляет 6400 МВт, среднегодовая выработка – около 22 млрд. кВт·ч. Плотина образует водохранилище полным объемом 30,7 млрд. м<sup>3</sup>.

О множестве технических проблем на Саяно-Шушенской ГЭС было известно давно. Подробно они описаны в книге бывшего директора станции В.И.Брызгалова [11], изданной в 1999 году. За 20 лет эксплуатации на СШГЭС произошло 64 нарушения работы гидротурбин и повреждения их узлов, а на втором гидроагрегате за 20 лет работы было обнаружено 17 повреждений.

17 августа 2009 года на СШГЭС произошла одна из самых значительных в истории мировой гидроэнергетики техногенных катастроф [12, 13]. В результате аварии погибло 75 человек, из 10 работавших на станции гидроагрегатов семь разрушены или получили серьез-

ные повреждения (рис.2). Экономике страны нанесен огромный ущерб, пострадала и экология. По мнению некоторых специалистов, реальная опасность угрожала не только лежащему ниже по течению Абакану, но и Красноярску.

Плотина и горные породы под ней до сих пор находятся в неравновесном состоянии. В книге В.В.Тетельмина [14] подробно рассмотрены пять не учтенных в проекте гидроузла физических процессов, которые определяют загадочное, на первый взгляд, поведение плотины СШГЭС и до сих пор не принимаются во внимание в расчетах плотины на устойчивость. Автор работы выражает надежду, что "17 августа 2009 года станет началом новой истории в развитии безопасной гидроэнергетики России".

Рассмотрим более подробно два аспекта катастрофы на СШГЭС, которые находятся в сфере профессиональных интересов специалистов по телекоммуникациям, электронике и энергетике.

### **ПОЛНОЕ ОБЕСТОЧИВАНИЕ ВСЕХ СИСТЕМ СШГЭС**

В первой части статьи мы описали "Московский блэкаут", вызвавший массовое отключение потребителей

\* Продолжение. Начало см. Первая миля, 2011, №1.

энергии в Москве и нескольких областях Центрального региона России, что привело, в частности, к серьезным нарушениям работы систем связи. На СШГЭС все системы, включая аварийные, были полностью обесточены, и если бы не героические и профессиональные действия сотрудников дежурной смены, последствия были бы куда тяжелее и жертв намного больше. Опираясь на источники [12, 15–17], попробуем оценить влияние уничтожения системы электроснабжения и применения резервных источников питания в самые критические часы.

17 августа 2009 года в 8 ч 13 мин по местному времени персонал, находившийся в машинном зале, услышал громкий хлопок в районе гидроагрегата № 2 и увидел выброс столба воды. На центральном пульте управления сработала светозвуковая сигнализация, пропали оперативная связь, электропитание освещения, автоматики, сигнализации, защит и приборов. Автоматические системы, останавливающие гидроагрегаты, сработали только на гидроагрегате № 5. Затворы на водоприемниках других гидроагрегатов оставались открытыми, и вода продолжала поступать на турбины, что привело к разрушению гидроагрегатов № 7 и 9. Потоками воды, поступающими через открытые водоводы, и разлетающимися обломками гидроагрегатов были разрушены стены и перекрытия машинного зала. Все гидроагрегаты ГЭС были затоплены, при этом на работающих гидрогенераторах произошли короткие замыкания.

СШГЭС полностью лишилась электропитания, как следствие – освещения, связи, автоматики, сигнализации. Все оборудование станции, даже не затронутое водой и разрушениями, перестало работать. В связи с потерей энергоснабжения закрыть затворы можно было только вручную, для чего персоналу необходимо было проникнуть в специальное помещение на гребне плотины. Около 8.30 восемь человек оперативного персонала добрались до помещения затворов, после чего связались по сотовому телефону с начальником смены станции, который дал указание опустить затворы, которые были полностью закрыты в 9.20.

Следующей задачей было открыть водосброс (обходной путь для воды через тело плотины), чтобы не допустить перелива воды из водохранилища. Если бы это не было сделано, затопленными могли оказаться населенные пункты ниже по течению Енисея, а также из строя вышла бы и Майнская ГЭС. На гребень плотины была привезена передвижная дизель-генераторная



**Рис.2. Разрушения на Саяно-Шушенской ГЭС**

станция, от которой в 11.32 был запитан козловой кран, расположенный на гребне плотины, и в 11.50 начали открывать затворы водосбросных отверстий. К 13.07 все 11 затворов водосливной плотины были закрыты.

После катастрофы на СШГЭС, а также событий на АЭС "Фукусима-1" стало совершенно очевидно: система резервного электропитания объектов, представляющих повышенную опасность, должна быть рассчитана на работу в условиях крупномасштабной аварии, техногенной и природной катастроф. Эти же требования должны распространяться и на системы связи, обеспечивающие работу таких объектов.

#### **АВАРИЯ НА УЗЛЕ СВЯЗИ БРАТСКОЙ ГЭС**

По сведениям ряда информационных источников, авария на Саяно-Шушенской ГЭС была непосредственно связана с пожаром на узле связи Братской ГЭС (БрГЭС). Так, глава Ростехнадзора Н.Кутыин, представивший акт технического расследования причин аварии, отметил: "Нельзя сказать, что Братская ГЭС виновна в аварии на Саяно-Шушенской, это не так, но условия были созданы как раз во время возгорания на Братской" [18]. В то же время пресс-служба ОАО "Иркутскэнерго", дочернее предприятие которого ООО "Иркутскэнергосвязь" занималось обслуживанием узла связи, в своем комментарии от 5 октября 2009 года заявила, что "инцидент, связанный с потерей на 40 мин 16 августа 2009 года связи между Оперативным диспетчерским управлением Сибири

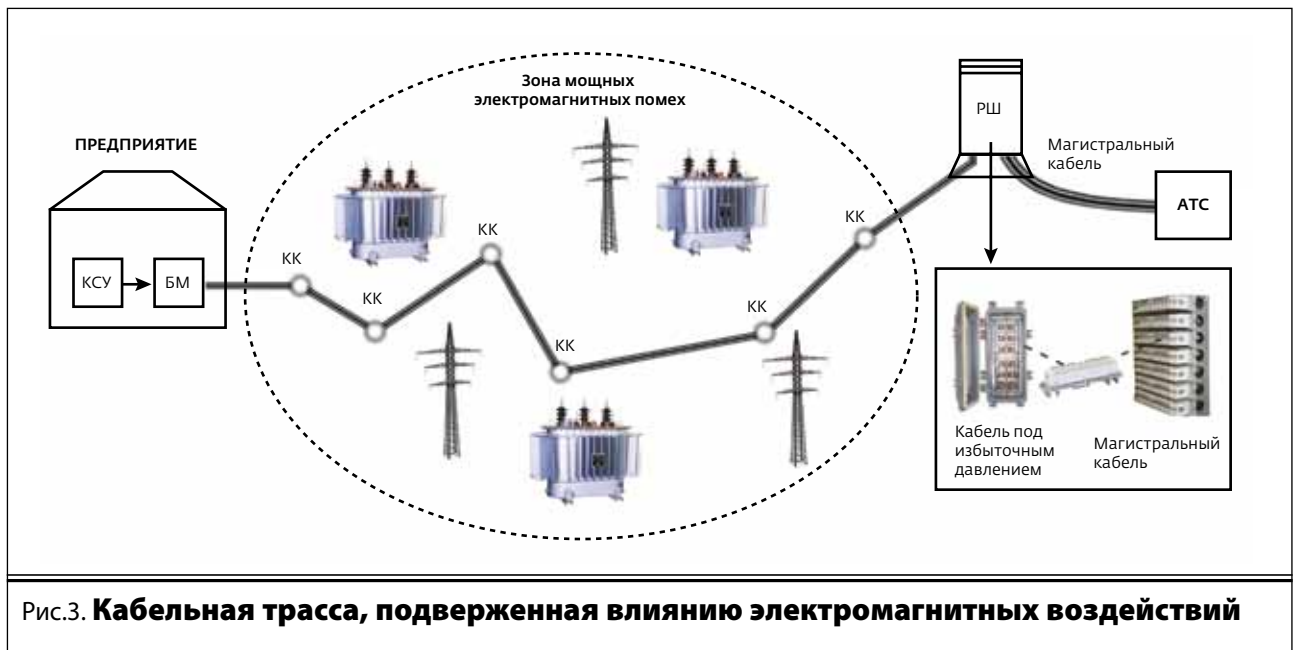


Рис.3. Кабельная трасса, подверженная влиянию электромагнитных воздействий

и Братской ГЭС, не является причиной аварии на Саяно-Шушенской ГЭС" [19].

Оставим обсуждение вопроса о связи между аварией на узле связи БрГЭС и катастрофой на СШГЭС специалистам, ограничившись замечанием, что, по всей видимости, такая связь существует. В акте расследования причин аварии [17] в разделе, посвященном описанию работы оперативно-диспетчерского управления (ОДУ) Сибири в Кемерово, которое управляет обеими станциями, значительное место занимает описание аварии системы связи, в результате которой связь БрГЭС с Центром управления ОДУ Сибири оказалась утерянной.

Рассмотрим последовательность событий, отраженную в акте [17]. 16 августа 2009 года в 20 ч 20 мин (время московское) на рабочем месте сменного персонала ССДТУ (службы связи, диспетчерского и технологического управления) БрГЭС сработала пожарная сигнализация цифрового линейного аппаратного зала. На центральном пульте управления БрГЭС сработала сигнализация о неисправности каналов связи, отключились каналы автоматического регулирования частоты и перетоков мощности (АРЧМ), электронно-вычислительные машины, пропала голосовая связь с дежурными диспетчерами оперативно-диспетчерского управления, ОАО "Иркутскэнерго" и ООО "Иркутскэнергосвязь". Сразу же о пожаре сообщили оператору пожарной команды по охране БрГЭС.

В последующие 10 мин в результате пожара поочередно вышли из строя оптические линки между БрГЭС и подстанциями "Покосное" и "Тулун", было повреждено оборудование основных и резервных каналов связи, устройств АРЧМ БрГЭС, устройств телемеханики, прямых голосовых каналов с ОДУ "Сибири" и Иркутским РДУ.

В период с 20.21 до 20.55 принимались все меры по восстановлению связи, используя любые ее виды (междугородная, сотовая, ведомственная и т.д.), а также по передаче сообщений через другие энергообъекты. По данным оперативного журнала БрГЭС, связь по сотовому телефону была восстановлена с дежурным диспетчером ОДУ лишь в 21.00. Таким образом, отсутствие любой связи между БрГЭС и ОДУ Сибири составило

40 мин. 17 августа в 10.03 авария была ликвидирована, связь восстановлена.

Таким образом, практика показала, что системы связи и технологического управления даже таких стратегически важных, опасных и генерирующих мощные финансовые потоки объектов, как Братская и Саяно-Шушенская ГЭС, имели низкую надежность. Нет никаких сомнений, что это не исключение из правил.

Один из важнейших аспектов надежности систем связи – их устойчивость к опасным электромагнитным влияниям. Рассмотрим на реальных примерах различные аспекты этой проблемы, постаравшись сформулировать практические рекомендации и решения. Начнем с АТС, где сосредоточено не только самое массовое, но и самое уязвимое оборудование. Практически любая из многих миллионов жил кабелей телефонной распределительной сети может стать источником перенапряжений различного рода. Нельзя забывать и о низком качестве электропитания, особенно в сельских районах, и об ударах молнии в мачты узлов связи. Однако сначала рассмотрим только опасность, угрожающую оборудованию АТС со стороны абонентских линий.

#### КАК ГОРЯТ КООРДИНАТНЫЕ АТС

При внедрении координатных АТС решили сэкономить, и на городских АТС кроссы для них (в основном, производства завода "Красная Заря", а также предприятий ЧССР и ГДР) устанавливались практически без защиты. В частности, при монтаже АТСК-У защитные устройства (угольные разрядники и термокатушки ТК-0,25) предусматривались только для воздушных и смешанных линий связи. Кабельные линии связи заводились в рамки с разделительными гнездами 25×5. Оборудование производства ЧССР комплектовалось коммутационными рамками фирмы Tesla. Некоторым станциям досталось в наследство от декадно-шаговых АТС громоздosity. Вполне допускаю, что такое решение имело техническое и экономическое обоснование. Ведь специалисты научно-исследовательских и проектных институтов не предполагали, что падение техно-

логической дисциплины, несогласованность действий разных организаций, безответственность, а также ужасающее состояние электроустановок жилых зданий в 1990-е и первые годы 21 века станут скорее нормой, чем исключением из правил.

Сельские АТС (АТСК 50/200, АТСК 50/200 М) представлялись с вводно-коммутационными устройствами, содержащими термокатушки и угольные разрядники, а с АТСК 50/200 М – и газонаполненные разрядники Р-27. Предназначенная для райцентров АТСК 100/2000 по большей части комплектовалась громполосами с термокатушками и угольными разрядниками.

Специалистами МГТС, МТУСИ и МИФИ [21] были проведены исследования АТСК-У с точки зрения стойкости к попаданию постороннего напряжения электросети в абонентские линии. Эту работу продолжало в 2001–2003 годах НПО "Инженеры электросвязи", перед которым одним из операторов была поставлена задача – срочно обеспечить надежную защиту всех координатных АТС и квазиэлектронных АТС "Квант". Прежде всего мы на всех АТС, даже необслуживаемых, установили круглосуточное дежурство. Дежурный персонал несколько раз наблюдал дым и даже открытый огонь в стативах АТС. Немедленно принимались меры по расследованию случившегося, что дало много полезной информации. Причиной такого решения послужили несколько пожаров, произошедших в течение короткого срока.

#### ПРИМЕР 1.

Во время пожара в жилом доме произошел контакт между оголившимися жилами силового и телефонного кабелей. В результате попадания постороннего напряжения загорелись абонентские комплекты, расположенные в стативе АИ-АВ. Огнем были полностью уничтожены несколько стоек, сгорели кабели, проложенные на кабельростах. Огромный автосал был покрыт толстым слоем сажи.

Районный центр с населением более 30 тыс. человек остался без связи. Вспомним, что 10 лет назад мобильная связь была далеко не у всех, поэтому для вызова аварийных специальных служб в различных точках города были размещены автомобили, оборудованные радиосвязью.

Оператор был вынужден срочно переоборудовать коммутатор, предназначенный для выполнения функций зонного телефонного узла, и еще два года пропускать свой внутренний трафик через междугородный коммутатор другого предприятия связи.

#### ПРИМЕР 2.

Следующий случай с городской координатной АТС тоже произошел в начале 2000-х годов, было повреждено несколько стативов, много станционного кабеля. Для того чтобы полностью восстановить и настроить АТС силами специалистов, собранных со всех концов области, понадобилось две недели. Расположенная на другом этаже декадно-шаговая АТС заработала в тот же день. Последствия могли быть гораздо хуже, если бы пожар не был в самом начале обнаружен. Правда, их могло бы быть и меньше, если бы сотруднику охраны удалось привести в действие огнетушитель – вполне исправный, как потом выяснилось.

Пример этот интересен обстоятельствами и механизмом опасного воздействия на кабель связи, о других

подобных случаях мне неизвестно. Рассмотрим его обстоятельства.

Некое предприятие было связано с городской координатной АТС телефонным кабелем (рис.3). Причем от предприятия кабель проходил до распределительного шкафа (РШ) (вынос АТС), а дальше магистральным кабелем соединялся с АТС. Кабель от предприятия до РШ был проложен в трубах в алюминиевом шланге и частично в свинцовой оболочке, находящийся под избыточным воздушным давлением. Давление поддерживала компрессорно-сигнальная установка (КСУ). В РШ кабель был заведен в магистральный бокс (БМ). С помощью кроссировок через плиты контакты БМ соединялись с магистральным кабелем.

В кабельных колодцах (КК) кабель лежал на металлических консолях, которые соединялись с заземляющими электродами. Трасса проходила по каменистому склону, изгибаясь среди камней и выходов скальной породы. На протяжении порядка 300 м рядом с ней находилось несколько подстанций и сближений с ЛЭП. На этом участке расстояние между колодцами составляло 30–40 м.

Важно отметить, что участок от предприятия до РШ обслуживался одной бригадой, а РШ и магистральный кабель до кросса АТС – другой. Граница ответственности проходила по магистральному боксу в вынесенном РШ.

Кабельная трасса была проложена в незапамятные времена. Позже были построены две подстанции из трех, после чего у бригады, обслуживающей кабельную трассу, начались проблемы. В месте контакта свинцовой оболочки кабеля с консолью колодца в оболочке образовалось отверстие, что было сразу же обнаружено, так

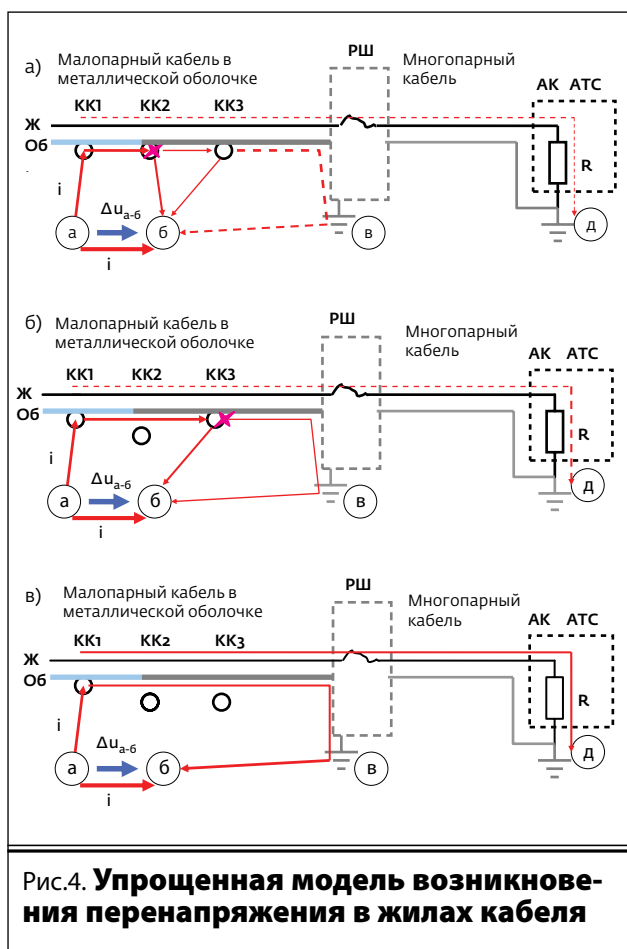


Рис.4. Упрощенная модель возникновения перенапряжения в жилах кабеля

как кабель находился под избыточным давлением. Герметичность кабеля была восстановлена, между консолью и оболочкой была проложена изолирующая прокладка. Через некоторое время то же самое произошло в другом колодце. Так продолжалось несколько раз до тех пор, пока на АТС не произошел пожар.

Очевидно, что причиной аварии стало влияние подстанций и ЛЭП, рядом с которыми проходила кабельная трасса. Энергетические объекты – мощный источник помех, которые достигают максимального уровня во время различных коммутаций (переключение линий, отключение и включение нагрузки). При этом в заземляющие устройства электроустановок могут стекать токи в сотни ампер.

После изучения всех обстоятельств и обследования кабельной трассы мною было предложено объяснение причин аварии. Для их понимания рассмотрим механизм возникновения перенапряжения на упрощенной модели (рис.4). Предположим, что в момент коммутации на одной или нескольких подстанциях одновременно между заземляющими устройствами подстанций (точки а, б) возникает разность потенциалов. Под воздействием напряжения  $U_{a-b}$  между ними протекает ток. Так как сопротивление скального грунта очень высоко, значительная часть тока протекает по оболочке кабеля (рис.4а). Попадая в оболочку через консоль в колодце КК1, ток стекает через консоли в колодцах КК2 и КК3. Пренебрежимо малая часть тока течет из точки а в точку б через заземляющее устройство распределительного шкафа.

Стекающий через консоль КК2 ток за счет электрохимического и термического воздействий на свинцовую оболочку разрушает ее в зоне контакта. В то же время, в КК1 алюминиевый шланг не был поврежден (муфта расположена между точками контакта с консолями в КК1 и КК2, в каком из колодцев – непринципиально). После устранения повреждения оболочки в КК2 между ней и консолью устанавливается изоляционная прокладка. Следующее повреждение по аналогичной схеме происходит в КК3 (рис. 4б), и опять после ремонта оболочки она изолируется от консоли.

Возникшая снова высокая разность потенциалов между точками а и б теперь привела к тому, что значительная часть тока попадала в точку б через заземление РШ (точка в). Ток в металлической оболочке кабеля  $I_{об}$  создает ЭДС  $E_{ж-об}$  в цепи "жила-оболочка", которая совпадает по фазе с током и ЭДС в цепи "жила-земля"  $E_{ж-з}$ , величина которых прямо пропорциональна  $I_{об}$ . Механизм экранирования и взаимосвязь ЭДС и токов в оболочке и жилах подробно рассмотрен в [22]. Реальный случай гораздо сложнее модели – в частности, оболочка в нескольких местах соединена с землей, основной ток помехи протекает по оболочке, кроме того, присутствуют и индуктивные наводки от ЛЭП. Кроме того, ток в оболочке изменяется по сложному закону, включает множество гармоник и может протекать достаточно длительное время.

Тем не менее очевидно, что за счет взаимной индуктивности между оболочкой и жилами кабеля в последних протекает ток, величина которого зависит от характеристик тока в оболочке, коэффициента взаимной индукции М между жилами и оболочкой, и длины участка, на котором происходит влияние внешних помех. Длина участка, на котором происходили индуктивные наводки на жилы кабеля, постоянно увеличивалась работниками линейной бригады при изоляции кабелей от консолей, что и привело

к увеличению наведенной ЭДС в жилах кабеля. Индуцированный ток, проходя через несколько абонентских комплектов, вызвал в них возгорание.

Таким образом, можно выделить три непосредственных причины аварии. Во-первых, линия, эксплуатируемая без проблем много лет, после строительства ЛЭП и подстанций стала источником повышенной опасности. Обслуживающий персонал не сделал правильных выводов из нескольких случаев, предшествующих пожару. Более того, действия линейных электромонтеров были ошибочны. Квалифицированные инженеры, которые могли бы правильно оценить ситуацию, к решению проблемы привлечены не были. В данном случае (до замены кабеля на кабель в полиэтиленовой оболочке) следовало бы обеспечить хороший электрический контакт оболочки с консолями, что исключило бы ее прогорание и уменьшило наводки на жилы кабеля.

Вторая причина – в плинте, через который контакт бокса БМ был соединен с плинтом магистрального кабеля (см. рис.3), был установлен модуль защиты по напряжению, однако его заземляющий контакт не был подключен. Так как этот плинт находился на границе раздела ответственности двух линейных бригад, никто не заинтересовался, правильно ли установлены модули защиты. В этот плинт, а еще лучше – в бокс БМ, необходимо было установить модули комплексной защиты, в идеальном случае – с пониженным током срабатывания. Третья причина возгорания – в кроссе АТС модули защиты отсутствовали и были установлены только после пожара.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ВОЗГОРАНИЙ НА КООРДИНАТНЫХ АТС

В двух публикациях мы рассмотрели четыре случая возгорания городских координатных АТС. Так сегодня эксплуатируется достаточно много таких станций, разберемся, каким образом на них воздействует постороннее напряжение.

Рассмотрим схему абонентского комплекта АТСК-У (рис.5) [23]. Результат попадания постороннего напряжения в абонентскую линию зависит от множества факторов – не только от источника перенапряжения, пути его

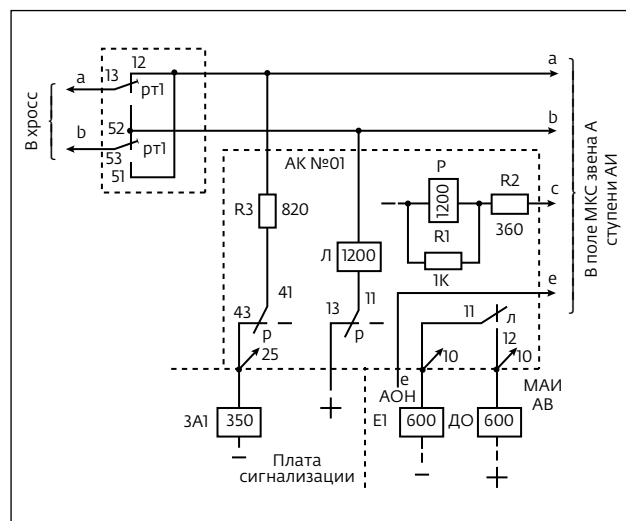


Рис.5. Абонентский комплект усовершенствованной системы АТСК-У

попадания в линию и параметров линии, но и от особенностей оборудования (например, текстолитовая или гетинаксовая плата) и даже от нагрузки на приборы АТС.

При попадании постороннего напряжения в провод в срабатывает линейное реле Л и к линии подключаются входящий шнуровой комплект (ИШК) и другое стационарное оборудование, эти приборы могут быть повреждены. В том случае, если ИШК не подключается к абонентскому комплекту при отсутствии промежуточных путей на ступени АВ, отсутствии свободных ИШК или неуверенного срабатывания реле Л (пульсации), весь ток протекает через обмотку реле Л, что приводит к его разогреванию и снижению сопротивления обмотки. Возгорание обмотки реле возможно, но маловероятно.

Однако наиболее опасным является протекание тока через резистор R3 мощностью 2 Вт. При токе порядка 100 мА и выше он может стать источником открытого огня. При частичном разрушении таких резисторов они могут стать источниками устойчивой электрической дуги, которая воспламеняет все вокруг. Старая изоляция проводов в жгутах, залитые лаком платы могут быстро загореться (см. пример 2).

Сделаем выводы, которые касаются не только АТСК и АТСК-У, но и сельских координатных АТС. АТС координатной системы имеют высокую стойкость к импульсным помехам. На кабельных подземных и коротких подвесных линиях они не требуют защиты по напряжению. На воздушных и смешанных линиях связи в грозоопасных районах такая защита необходима. Ее не обязательно устанавливать в кроссе – можно и в кабельных ящиках, которые соединены с кроссом АТС кабелями в канализации. Для защиты можно использовать газонаполненные разрядники и, в ряде случаев, варисторы. Защита по току необходима, так как при попадании постороннего напряжения может произойти возгорание АТС.

Токовая защита должна срабатывать при минимально возможном токе, который ограничен снизу уровнем броска тока при снятии трубки во время посылки вызова и током на линиях с низкоомным шлейфом (зона прямого питания, телефонный аппарат с низким сопротивлением). Таким образом, термокатушка ТК-0,25 не может обеспечить надежную защиту АТС. Как показывает опыт, предохранители имеют большой разброс параметров и могут перегорать при снятии трубки во время посылки вызова.

Единственным экономически и технически обоснованным вариантом токовой защиты является применение

резисторов с положительным температурным коэффициентом – полимерных или керамических позисторов с гарантированным током срабатывания не более 100 мА и гарантированным током несрабатывания не менее 70 мА.

\*\*\*

В заключение отметим, что каждый тип АТС горит по-своему. Воздействия, критичные для координатных АТС, безопасны для декадно-шаговых или электронных станций. Поэтому при анализе опасности электромагнитных воздействий нужно учитывать специфику каждого типа АТС, чем мы и займемся в последующих публикациях.

Продолжение следует

#### ЛИТЕРАТУРА

11. **Брызгалов В.И.** Из опыта создания и освоения Красноярской и Саяно-Шушенской гидроэлектростанций. – Красноярск: Сибирский ИД "Суриков", 1999.
12. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС. – <http://ru.wikipedia.org>
13. <http://www.plotina.net/>
14. **Тетельмин В.В.** Плотина Саяно-Шушенской ГЭС: Состояние, процессы, прогноз. – М.: Книжный дом "Либроком", 2010.
15. **Беляков Е.** Саяно-Шушенскую ГЭС спас инженер. – Комсомольская правда в Красноярске, 3 сентября 2009.
16. Вестник РусГидро, №9, 2009.
17. Акт технического расследования причин аварии, произошедшей 17 августа 2009 года в филиале ОАО "РусГидро" – "Саяно-Шушенская ГЭС им.П.С. Непорожного". – [ru.wikisource.org/wiki](http://ru.wikisource.org/wiki)
18. Новости России, 3 октября 2009. – [www.newsru.com](http://www.newsru.com)
19. <http://www.irkutskenergo.ru>
20. Материалы заочного научно-практического семинара "Защита оборудования связи от опасных токов и напряжений. Подготовка к грозовому сезону. – НПО "Инженеры электросвязи", 1999. – [www.commeng.ru](http://www.commeng.ru)
21. **Евстигнеев Ю.Г., Пшеничников А.П. и др.** Токовая защита координатных АТС на Московской городской телефонной сети элементами ЭЗТ-100К. В сборнике [20]. – [www.commeng.ru](http://www.commeng.ru)
22. **Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А.** Защита сооружений связи от опасных и мешающих влияний. – М.: Связь, 1978.
23. **Корнышев Ю.Н., Маркович А.Я., Пискер М.Н., Романцов В.М.** Станционные сооружения городских телефонных сетей. – М.: Радио и связь, 1989.