

Экспериментальные исследования характеристик активных (химических) заземляющих электродов

Манасыпов Р.Ф., Корягин И.В., Нигматкулов А.А. (ООО «Амнис»)

Одной из основных проблем в молниезащите, является проблема создания низкоомного заземляющего устройства в грунтах с высоким удельным сопротивлением. В настоящий момент активное распространение получили так называемые активные (химические) заземляющие электроды. Основная задача которых, заключается в искусственном снижении удельного сопротивления грунта в месте устройства заземлителя. Методов решения этой задачи два – грунтозамещение и обработка грунта солевыми растворами. По словам производителей активных заземляющих электродов, эффективность может достигать десятикратного снижения сопротивления заземления по сравнению с заземляющим электродом тех же габаритов, который монтируется без использования активных (химических) компонентов.

Целью данной работы являлось определение эффективности активных заземляющих электродов по сравнению с обычными электродами тех же габаритов при измерении сопротивления току промышленной частоты в течении календарного года. Также ставилась задача по определению эффективности активного заземляющего электрода в импульсном режиме.

В испытаниях использовали генератор импульсных сигналов ИК-1, осциллограф OWON и прибор для измерения сопротивления заземляющего устройства току промышленной частоты Sonel MRU-101. Все приборы были снабжены автономным источником питания, чтобы избежать паразитных наводок.

Испытания проводились на загородном земельном участке, свободном от каких-либо подземных и наземных коммуникаций. Испытаниям подлежали серийно выпускаемые активные электроды горизонтальной установки длиной 3 м с вертикальной частью, используемой для заполнения химическими реагентами и для присоединения горизонтального заземляющего проводника. Технология монтажа активного электрода предполагала грунтозамещение вокруг электрода. Дополнительная солевая обработка грунта происходила в процессе эксплуатации с помощью химических реагентов засыпанных внутрь электрода. Расположение электродов на рабочем поле показано на рис. 1. Усредненное по времени (с июня по сентябрь 2015 г.) удельное сопротивление грунта составляет 280 Ом м.

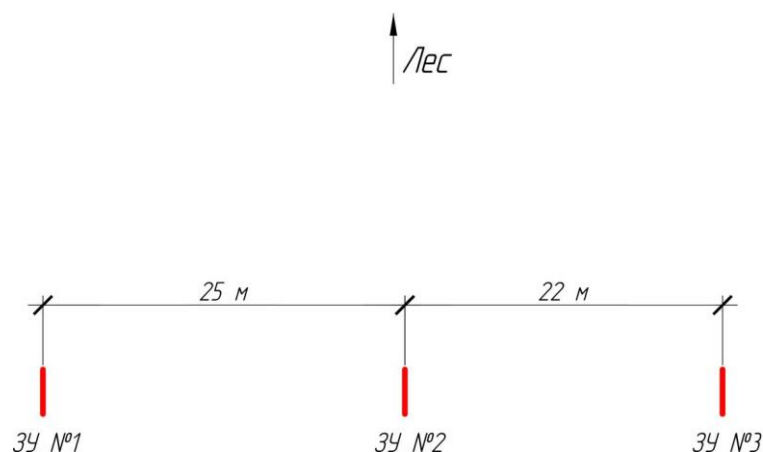


Рис. 1
Схема размещения испытуемых электродов на рабочем поле

1. Измерение сопротивления активных заземляющих электродов току промышленной частоты (2015-2016 гг.).

При монтаже были произведены следующие различия в части использования химических реагентов:

- электрод №1 смонтирован по технологии производителя с химическим наполнителем и с увлажнённой приэлектродной засыпкой;
- электрод №2 смонтирован без химического наполнителя и без приэлектродной засыпки;
- электрод №3 смонтирован без химического наполнителя и с увлажненной приэлектродной засыпкой.

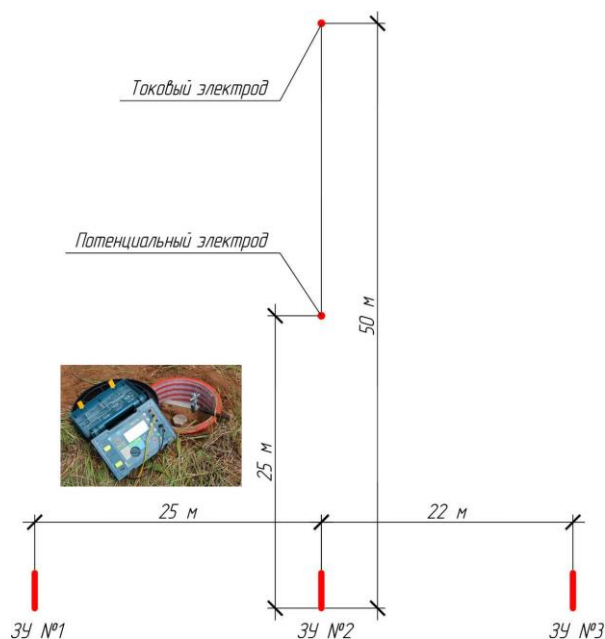


Рис. 2
 Схема измерения сопротивления заземления электрода при
 низкочастотных токах

Для измерения сопротивления заземления в случае растекания токов низкой частоты использовалась 3-х электродная схема с расположением вспомогательных электродов, представленном на рис.2.

Первые измерения сопротивления были произведены непосредственно после монтажа электродов. Таблица 1 показывает, как менялось сопротивление заземления в течение первых 5-ти часов. Измерения проходили в ясную погоду, поэтому наблюдавшееся в течение первых 5-ти часов снижение сопротивления заземления было обусловлено только уплотнением засыпанного обратно грунта.

Таблица 1
Результаты измерения сопротивлений заземления
непосредственно после монтажа электродов 05.06.2015.

Дата	Время измерений	Электрод №1, Ом	Электрод №2, Ом	Электрод №3, Ом	Р, мм рт ст	Т, С	Вл-ть, %
05.06.2015	после монтажа	67,0	173,0	62,5	756	20	39
	через 2 часа	63,0	166,0	60,3			
	через 3 часа	62,3	165,0	60,0			
	через 4 часа	61,2	165,0	59,4			
	через 5 часа	60,7	163,0	59,1			

Обращают на себя внимание следующие особенности динамики изменения сопротивления заземления испытуемых образцов в день проведения монтажа:

1. Сопротивление заземления образца №2 не имеющего химических компонентов в первые часы после установки изменилось менее чем на 6%.

2. Сопротивление заземления образцов №1 и №3, уже первоначально было более чем в 2,5 раза ниже сопротивления заземления образца №2, что обусловлено технологией монтажа, а именно искусственным увлажнением приэлектродной засыпки перед монтажом.

3. Сопротивление заземления образца №1 снизилось почти на 10% в течение первых 5-ти часов, сопротивление заземления образца №3 также снизилось, но только на 5%. Такое различие возможно вызвано разной степенью увлажнения приэлектродной засыпки для каждого из образцов.

4. Наличие солевого состава во внутреннем объеме образца №1 в течении первые 5 часов никак не повлияло на значение сопротивления заземления, так как по технологии производителя после монтажа электродов не требовалось проливать водой солевой состав в их внутреннем объеме. Солевой состав должен начать растворяться с помощью естественной влаги, содержащейся в грунте и увлажненной приэлектродной засыпке.

Последующие измерения проводились один раз в 1-2 недели для каждого исследуемого электрода. Результаты измерения сопротивления заземления образца №2 представлены на рис. 3. Образец №2, свободный от химических присадок может рассматриваться как эталонный, поскольку его сопротивление изменяется только от погодных условий. На рис. 3 явно выделяются временные интервалы до конца июля с дождливой погодой, где сопротивление заземления монотонно снижалось, достаточно протяженный участок без дождей с конца июля до конца августа с заметным увеличением сопротивлением заземления, и участок начала повторного снижения в начале сентября. В конце декабря и до марта значение сопротивления заземления уже зависит от температуры окружающего воздуха, что говорит о влиянии на сопротивление заземления промерзания грунта. Значимость промерзания грунта сложна для обобщенной оценки, так как зима 2016 года была достаточно теплая.

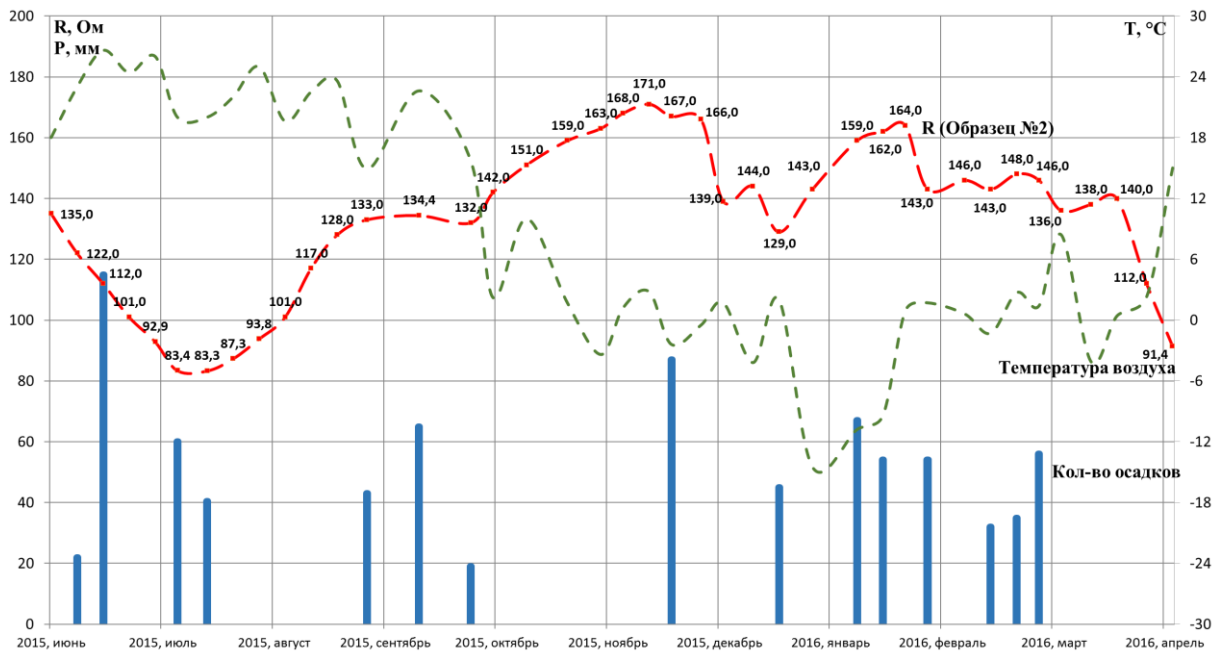


Рис. 3
Динамика изменения сопротивлений заземления эталонного образца №2 (пунктирная линия – температура; гистограмма – количество осадков).

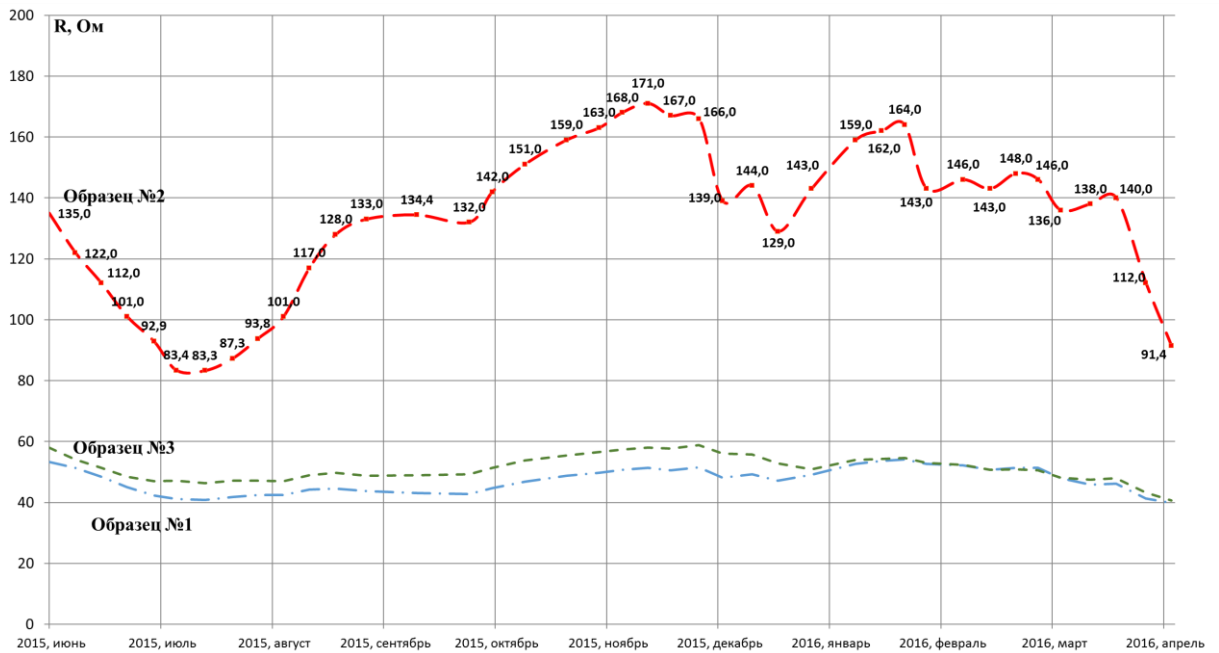


Рис. 4
Динамика изменения сопротивлений заземления испытуемых образцов электродов

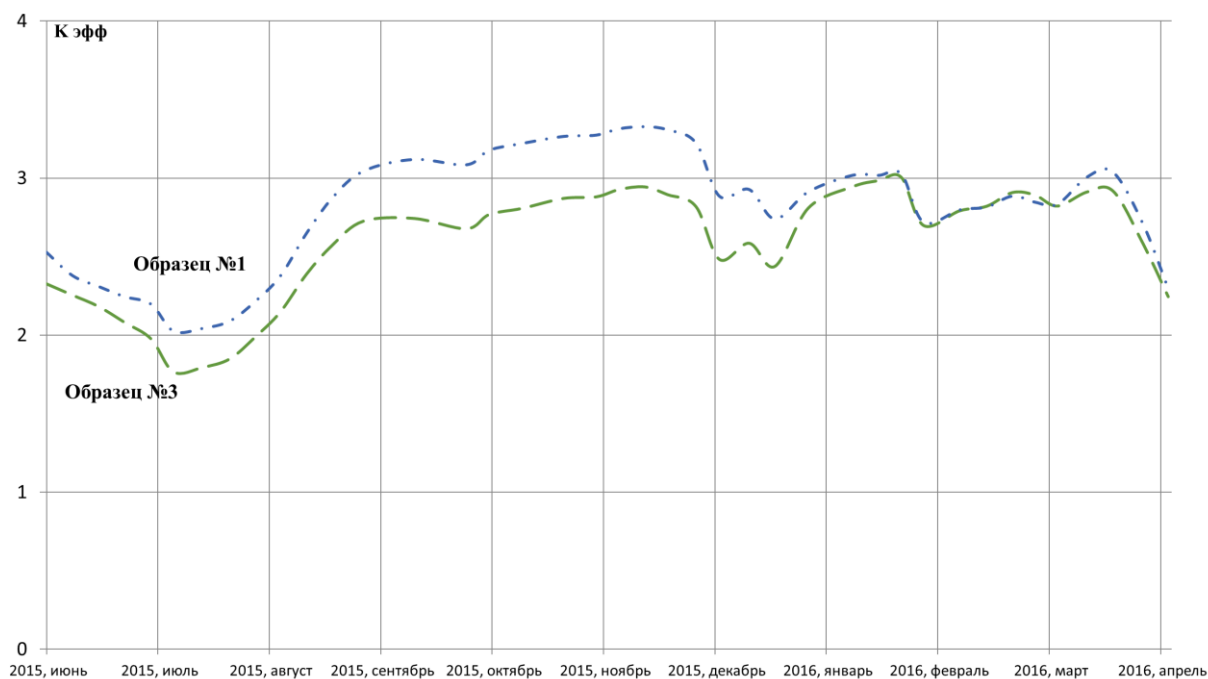


Рис. 5
Динамика изменения во времени
коэффициентов эффективности активных заземляющих электродов

В измерениях всех остальных образцов характер временной зависимости в целом повторяется, но в существенно сглаженной форме (рис. 4). Здесь надо отметить крайне незначительное изменение сопротивления заземления химически активных электродов как во время дождей в июне и июле, так и во время зимнего январского кратковременного промерзания грунта.

Очень стабильные показания сопротивления заземления оказались у образцов № 1 и 3, у которых из-за интенсивной пропитки водой приэлектродной засыпки при монтаже полностью отсутствует начальный участок быстрого снижения сопротивления заземлений, наблюдаемый в течение первых двух недель у образца эталонного № 2. Динамика изменения сопротивления заземления образцов № 1 и 3 (с солевым составом во внутреннем объеме и без него) отличалась крайне незначительно.

На рис. 5 для удобства сопоставления представлены значения коэффициентов эффективности химически активных электродов, равных отношению сопротивлений заземления образца № 2 (без использования химической обработки грунта) и каждого из испытуемых. Коэффициенты эффективности образцов №1 и №3 по отношению к эталонному образцу №2 очень близки по своему значению, максимальное различие коэффициентов по отношению к эталонному составляет 15-16%. Начиная с января 2016 года коэффициенты эффективности практически сравнялись.

2. Сравнение значений сопротивления заземления активных (химических) заземляющих электродов со значением сопротивления заземления активных (химических) электродов, смонтированных в 2013 году.

Начиная с 2013 года, в том же месте и по той же методике производится исследование аналогичного активного электрода другого производителя, а также простого горизонтального заземлителя в виде стальной оцинкованной полосы 40х4 мм (длина горизонтальной части 3 метра) с грунтозамещающей смесью. Каждый из этих заземлителей имеет контрольный аналог в виде точно такого же электрода, но без активных добавок в грунте.

На рис. 6 отражена динамика изменения сопротивления заземления активных электродов (2013 и 2015 годов установки) и горизонтального заземлителя в виде стальной полосы (2013 года установки), не имеющих активную часть.

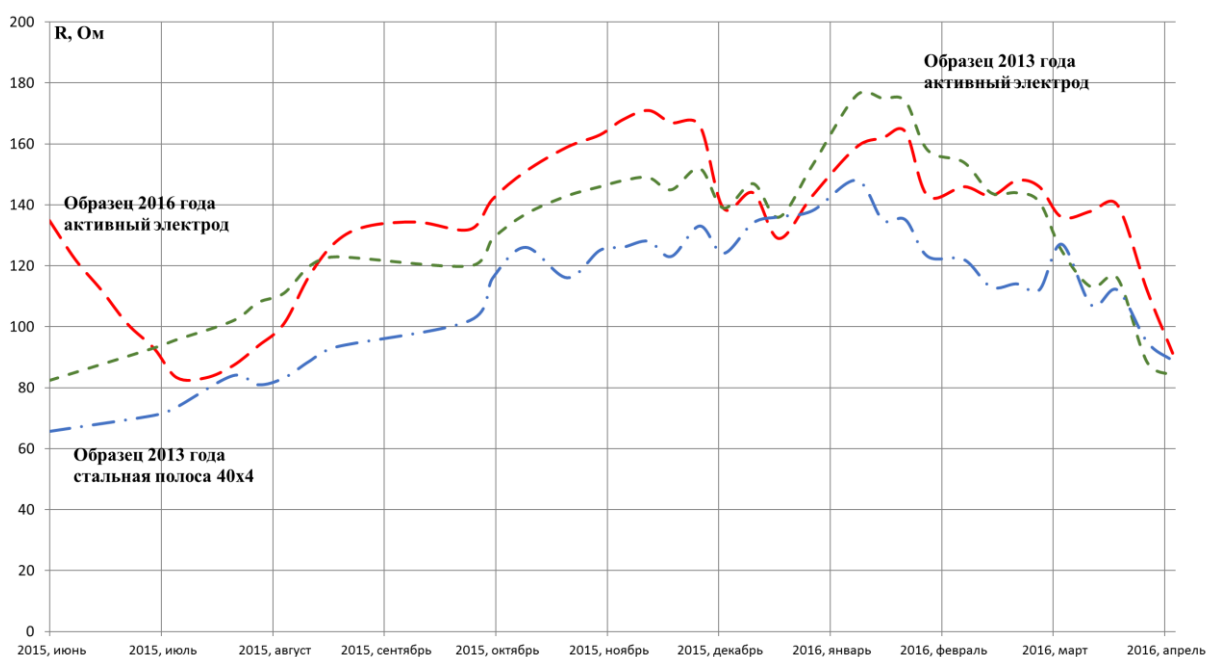


Рис. 6
Динамика изменения сопротивлений заземления активных электродов 2013 и 2015 годов установки без химического наполнителя в грунте

Динамика изменений сопротивления эталонных активных электродов различного исполнения достаточно синхронная. Некоторые различия в значениях могут быть объяснены расположением электродов в местах с несколько отличающимся удельным сопротивлением грунта, а также различием в габаритах активных заземляющих электродов заводского изготовления по отношению к стальной полосе. Заземляющие электроды, смонтированные в 2013 году, отличались по сопротивлению заземления в июне-июле 2015 года от электродов, устроенным в июне 2015 года, по причине их большего срока эксплуатации. Эффекты снижения сопротивления заземления, связанные с уплотнением и

увлажнением грунта после монтажных работ, у заземляющих электродов 2013 года устройства отсутствуют. Этим объясняется большое расхождение значений июне-июле 2015 года.

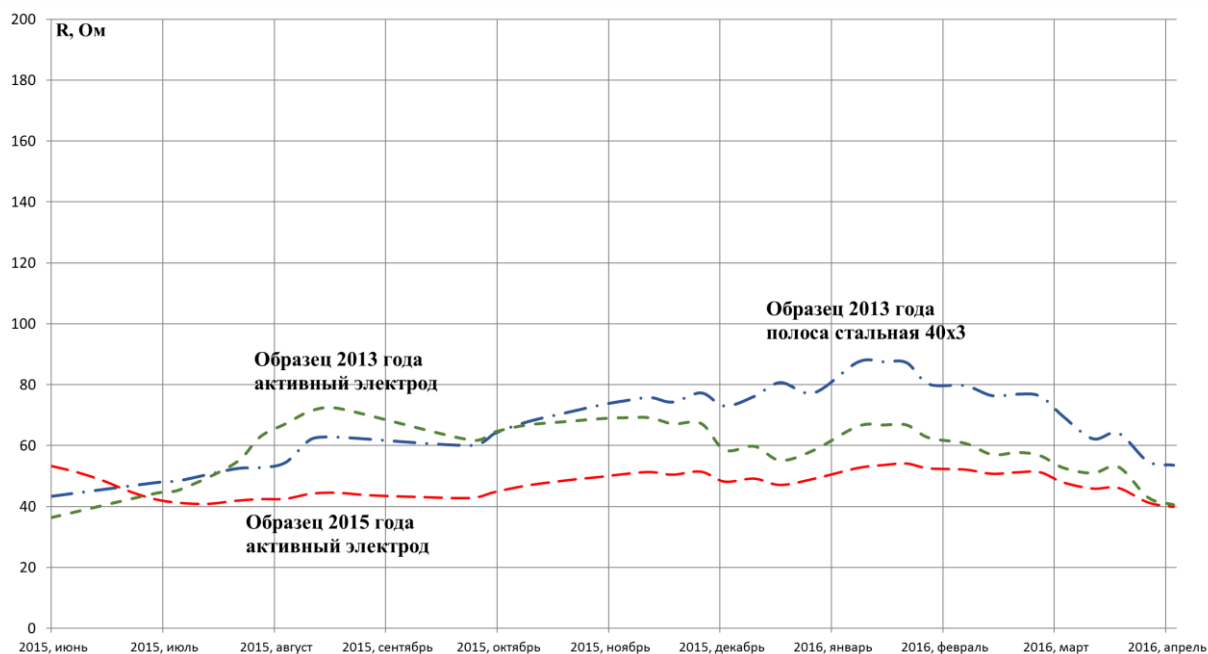


Рис. 7
Динамика изменения сопротивлений заземления активных электродов 2013 и 2015 годов установки с химической грунтозамещающей смесью

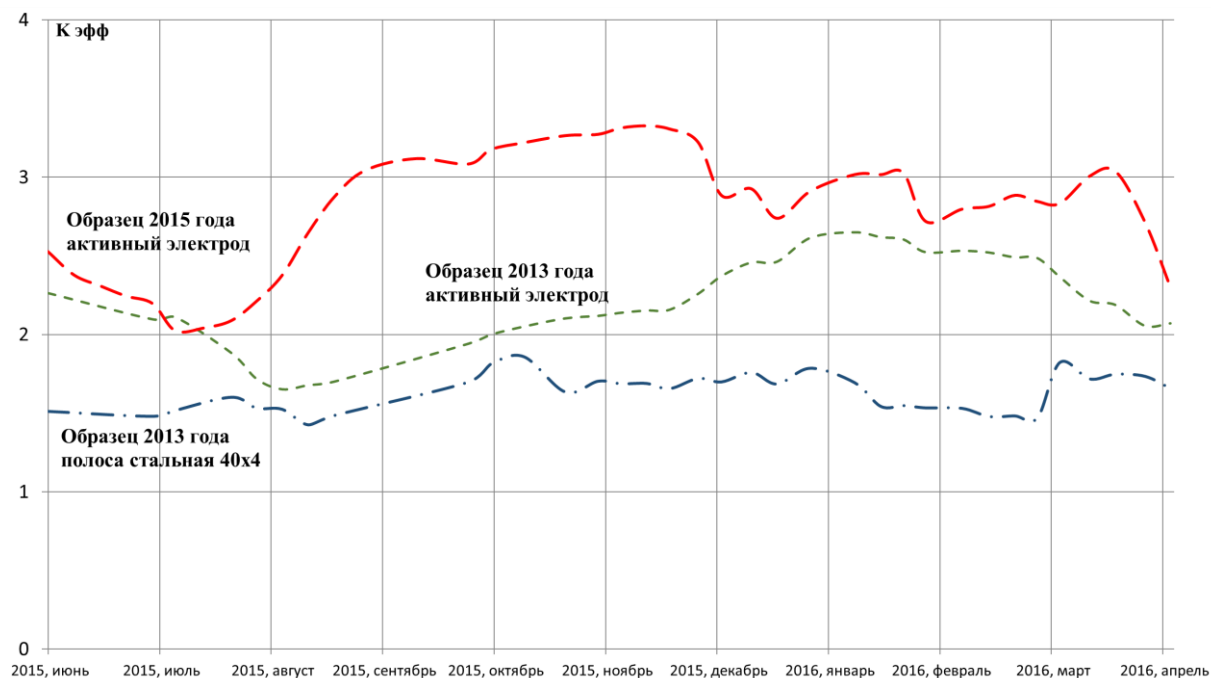


Рис. 8
Динамика изменения во времени коэффициентов эффективности активных электродов 2013 и 2015 годов установки

На рис.7 приведена динамика изменения сопротивления заземлений активных электродов 2013 и 2015 годов устройства с добавлением химической грунтозамещающей смеси. Значения сопротивления заземления электродов, смонтированных в 2013 году, достаточно стабильны, равно как и сопротивления заземления электродов 2015 года.

Коэффициенты эффективности для заземляющих электродов, смонтированных в разное время, представлены на рис.8. Их максимальное значение не превышает 3,4, а усредненная величина близка к 2. С помощью грунтозамещающих смесей (без какой-либо внутренней засыпки химических реагентов) удалось снизить сопротивление заземления горизонтальной стальной полосы 40 x 4 мм в 1,5-1,7 раза. Этот показатель очень важен с точки зрения оценки экономической целесообразности применения активных электродов, стоимость которых несопоставимо выше стоимости 4-х метров стальной полосы 40x4 мм и трех мешков грунтозамещающей смеси.

3. Измерение импульсного сопротивления заземления активного (химического) электрода

Измерения проведены в полевых условиях 18 августа 2015 года при эффективном значении удельного сопротивления грунта $\rho = 285 \text{ Ом м}$. Стационарное сопротивление заземления испытуемого активного заземляющего устройства №1, измеренное по стандартной методике при помощи прибора MRU-101, в день проведения испытаний составило 42,5 Ом. Климатические условия за время проведения испытаний не менялись.

В качестве источника импульсного тока использован отечественный сертифицированный прибор ИК-1, который официально рекомендован для подобных испытаний [1]. Прибор формирует импульсы тока с временными параметрами 1,2/50 мкс и 8/20 мкс. Оба этих импульса использованы для измерений сопротивления заземления. Автономный источник питания ИК-1 позволяет отстроиться от паразитных связей через сеть 220 В и при необходимости располагать прибор под потенциалом, отличным от потенциала земли.

Все импульсные измерения проведены при помощи двухлучевого цифрового осциллографа с автономным питанием OWON MSO7102T, усилители которого обеспечивали рабочий диапазон частот вплоть до 100 МГц. Оцифрованные сигналы с осциллографа переписывались на современные носители информации и были доступны для последующей компьютерной обработки.

Типичные осциллограммы импульсов 1,2/50 и 8/20 мкс представлены на рис. 9.

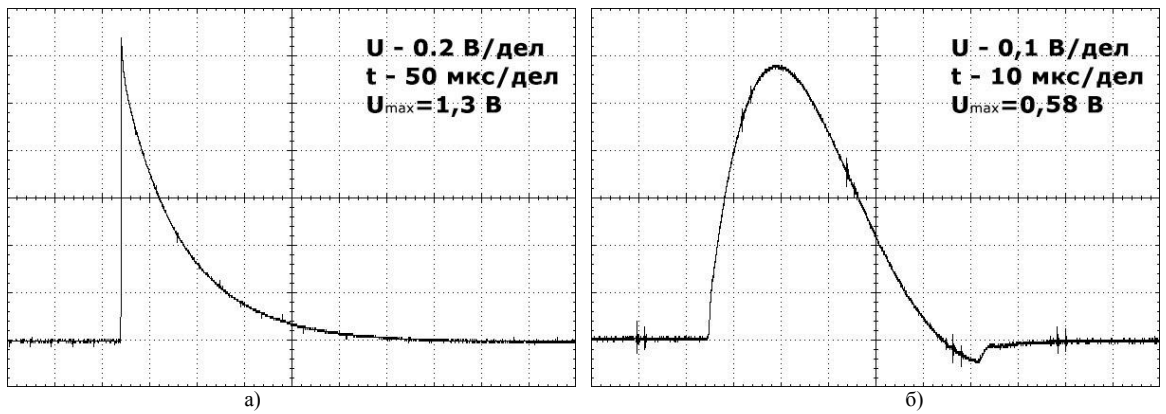


Рис. 9
 Типичные осциллограммы импульса тока с формой импульса 1,2/50 мкс (а) и 8/20 мкс (б) при работе ИК-1 на электролитический электрод заземления.

Принципиальная схема измерения представлена на рис. 10. Главной ее особенностью является взаимно перпендикулярное расположение проводов, связывающих токовый и потенциальный электроды с измерительной аппаратурой. Тем самым исключается индуктивное влияние цепи тока на измерительную цепь, обуславливающее погрешность измерения.

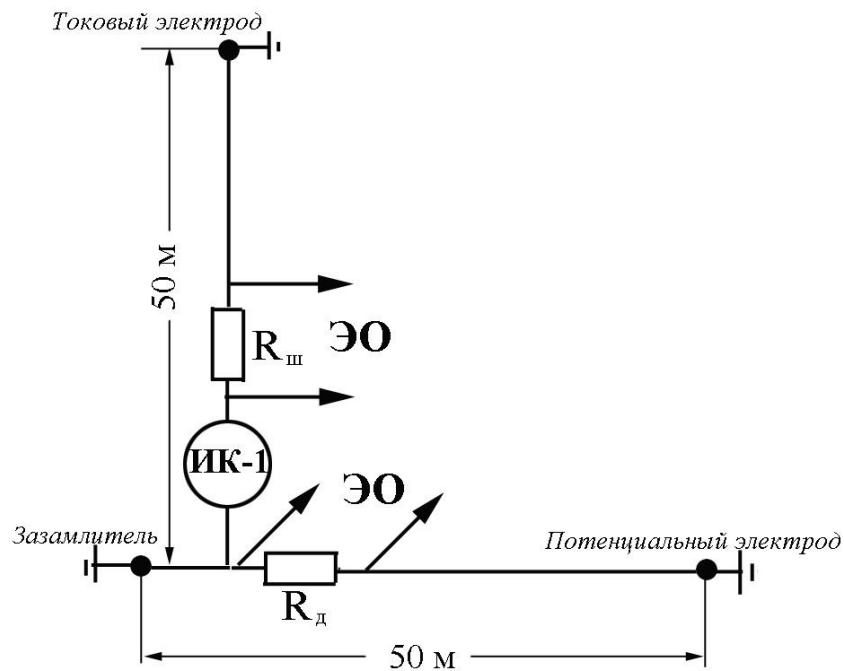


Рис. 10
 Принципиальная схема измерения.

Изолированные провода от вспомогательных электродов сечением $0,75 \text{ мм}^2$ прокладывались непосредственно по земле. Вспомогательные токовый и потенциальный электроды диаметром 16 мм и длиной 1 м заглублялись в грунт на 0,6 – 0,7 м. Вся аппаратура при измерениях располагалась непосредственно у исследуемого активного

заземляющего устройства и изолировалась от земли. В качестве токового шунта использовался объемный безиндуктивный резистор сопротивлением 1 Ом. В цепь потенциального электрода для подавления паразитных колебаний включался демпфирующий резистор сопротивлением $R_d = 10,1$ кОм. Падение напряжения с него подавалось на осциллограф для регистрации напряжения на заземляющем устройстве. Записанная осциллограмма нуждалась в последующей обработке, поскольку резистор R_d вместе с сопротивлением заземления потенциального электрода создавал делитель напряжения с коэффициентом деления $K_U \approx 1,175$ (усредненное значение по серии измерений). Соответствующая поправка вводилась в расчет импульсного сопротивления заземления.

Нормативные документы по молниезащита, а также ПУЭ при измерении импульсных сопротивлений заземления не требуют контроля изменения проводимости грунта за счет образования в нем ионизационных процессов. По указанной причине вся сертифицированная аппаратура для испытаний рассчитана на производство импульсных токов амплитудой порядка 1 А. Типичные осциллограммы тока и измеряемого напряжения при работе ИК-1 в режиме производства импульсов 1,2/50 мкс и 8/20 мкс представлены на рис. 11 и 12. Обращает на себя внимание почти точное совпадение времени максимума осциллограмм тока и напряжения, что указывает на отсутствие сколько-нибудь значимой индуктивной составляющей в напряжении на испытуемом активном заземлителе.

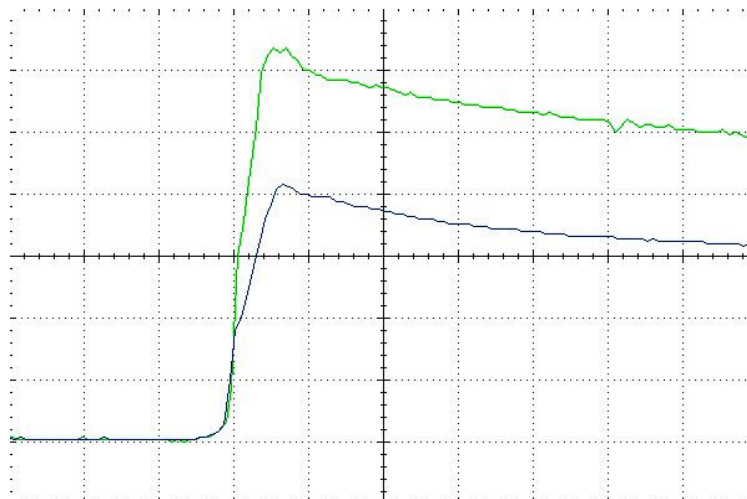


Рис. 11

Типичные осциллограммы импульсов тока и напряжения при работе в режиме 1,2/50 мкс (ток – верхний луч, 200 мВ/дел, напряжение – нижний луч 10 В/дел), развертка во времени – 1 мкс/дел

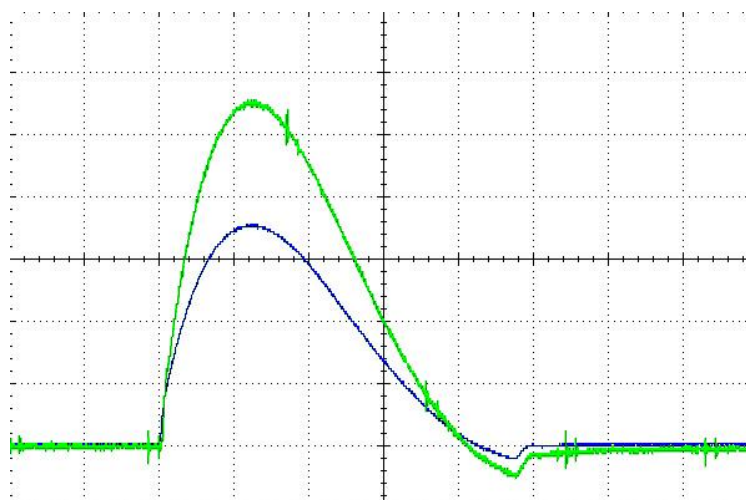


Рис. 12
 Типичные осциллограммы импульсов тока и напряжения при работе в режиме 8/20 мкс (ток – верхний луч, 100 мВ/дел, напряжение – нижний луч 5 В/дел), развертка во времени – 10 мкс/дел

Согласно общепринятому определению в технике высоких напряжений под импульсным сопротивлением заземления подразумевается частное от деления амплитуды напряжения на заземлителе на амплитуду протекающего по нему тока независимо от того, совпадают ли эти амплитудные значения во времени или имеют временной сдвиг.

В итоге были получены следующие значения импульсного сопротивления заземления химически активного заземлителя:

Импульс 1,2/50 мкс - 38,5 Ом

Импульс 8/20 мкс - 37,5 Ом

Хорошее совпадение измеренных значений при длительностях фронта, различающихся в пределах порядка величины, еще раз указывает на полное отсутствие индуктивной составляющей в напряжении на заземлителе.

При сопоставлении стационарного и импульсного значений сопротивления заземления, следует иметь в виду, что типовая методика измерений первого из параметров строилась в расчете на погрешность в пределах 10%. С учетом этого обстоятельства стационарное и импульсное значения сопротивления заземления можно считать совпадающими.

Выводы:

Измерения сопротивления заземления активных заземляющих электродов показали, что их сопротивления заземления слабо реагируют на изменение погодных условий, что является положительным качеством заземляющих устройств.

Наличие солевого раствора во внутреннем объеме активного заземляющего электрода не оказывает существенного влияния на снижение значения сопротивления

заземления. По измеренным значениям видно, что к концу года испытаний, значения сопротивления заземления активных электродов с внутренней солевой засыпкой и без неё стали практически равными.

Испытуемое активное заземляющее устройство не увеличивает своего сопротивления заземления при растекании импульсных токов с нормированными временными параметрами.

Сравнение значений сопротивлений активных заземляющих электродов 2013 и 2015 года устройства показало, что коэффициент эффективности находится практически на одном уровне и не превышает значение равное 3,3.

Исследование заземляющего электрода в виде стальной полосы 40х4 мм с грунтозамещающей смесью подтверждает, что изготавливать дорогостоящий конструктив электрода в виде трубы из нержавеющей стали с перфорацией и внутренним химическим заполнением экономически нецелесообразно.

Литература:

1. РД 153-34.0-20.525-00/ Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. / РАО ЭЭС России. -М.: ОРГРЭС. -2000