



Шамшетдинов К.Л.

Глазов Н.П.

Резвяков М.А.

Делекторский А.А.

Насонов О.Н.

Протяженные анодные заземления из электропроводных эластомеров

За последние 20 лет создан большой ряд анодных заземлителей для электрохимической защиты подземных сооружений, в том числе магистральных трубопроводов. Усилия разработчиков направлены на решение комплекса проблем, которые связаны как с улучшением эксплуатационных характеристик заземлителей, так и с повышением уровня их строительной и монтажной готовности. В настоящее время на вооружении специалистов находятся по меньшей мере 5 типов анодных заземлителей. Это железокремниевые малорастворимые заземлители АЗМ, "Менделеевец" (М1, ММ и МГ), графитопластовые заземлители ЭГТ, магнетитовые МАЗ, изготовленные из электропроводных эластомеров ЭР и др. [1]. Как правило, различные типы заземлителей не конкурируют между собой, а дополняют друг друга, взаимно расширяя сферу применения. Особое место в этом ряду занимают протяженные анодные заземлители.

В России ПГА выпускаются на основе одних и тех же патентов тремя компаниями: ООО «Электрохимзащита» - электроды серии ЭР (электроды резиновые ТУ 484-005-24014768-99 и ТУ 4834-006-24014768-99) по технологии РТИ; ООО "МИНАДАГС" и ООО «СИКАМ» - электроды серии ПАР (провода аноднорастворимые резиновые ТУ 16.К71-299-2000, сертификат № SSAQ 025.1.3.0098) по кабельной технологии.

Как показано в работе [2], их эксплуатационные характеристики определяются входным сопротивлением, постоянной продольного распространения тока, максимально допустимой плотностью тока, скоростью анодного растворения (электрохимическим эквивалентом). Перечисленные характеристики находятся в сложной функциональной зависимости не только от конструкции заземлителя (состава оболочки, металла, выбранного в качестве центрального проводника и геометрических размеров), но и от электропроводности грунта, а также от взаиморасположения элементов анодного заземления и защищаемого трубопровода. Поэтому задача создания надежного, эффективно-анодного заземления длительного действия сводится к научно-обоснованному выбору конструкции, технологии изготовления и назначения сферы его применения в практике противокоррозионной защиты, учитывающей не только электропроводность, но и коррозионную агрессивность грунта.

Новая серия анодов для электрохимической защиты, разработанная в последнее время, имеет следующую конструкцию:

- в качестве центрального металлического проводника служит токопроводящая многопроволочная жила из меди марки ММ, которая характеризуется низким удельным электросопротивлением ($\rho = 0,01752 \cdot 10^{-6}$ Ом·м), высокой гибкостью, полимерная композиция к которой обладает высокой адгезией. Гибкость жилы обеспечивает технологичность, удовлетворяющую традиционной технологии изготовления кабельной продукции;

- полимерной оболочке приданы свойства, обеспечивающие требования строительства, монтажа и длительной эксплуатации: высокая гибкость и эластичность, сохранность электрических и физико-механических характеристик после значительных деформаций.

Основные технические характеристики новой серии анодов следующие:

- диапазон рабочих температур не зависит от конструкции анода и определяется исключительно температурой грун-

- та, в котором эксплуатируется защищаемый трубопровод;
- предельные температуры хранения от -50 до $+50$ °С;
 - диапазон водородных показателей (рН) среды (грунта): от 3 (кислая) до 9 (щелочная).

В процессе разработки анодов новой серии были созданы высоконадежная конструкция контактных узлов и технология их изготовления как в заводских, так и в полевых условиях строительства заземления.

Теоретические и экспериментальные основы анодов новой серии

Создание полимерной оболочки ПГА является сложной материаловедческой и технологической задачей. В процессе ее решения должен быть обоснован выбор электропроводящего наполнителя и полимерного связующего и разработан способ промышленного изготовления анодов такого типа на традиционном отечественном оборудовании.

Оболочка провода представляет собой органически связанные полимерную матрицу и углеродный наполнитель. В качестве полимерного связующего выбраны каучуки. Выбор произведен исходя из низкой удельной плотности каучуков при высокой молекулярной массе и их способности в сшитом состоянии при высокой степени наполнения (до 90 масс.%) к большим обратимым деформациям в широком диапазоне температур.

В зависимости от областей применения, каучуки можно разделить на каучуки общего назначения, применяемые в массовом производстве изделий (шины, резинотехнические изделия, обувь и т.д.) и каучуки специального назначения для изготовления изделий с некоторыми специфическими свойствами (стойкость к различным средам, газонепроницаемостью, морозо- и теплоустойчивостью и др.).

К первым относятся натуральный и синтетический полиизопрен, бутадиеновые каучуки, бутадиен-стирольные, полипентамеры и альтернативные сополимеры трансбутана и пропилена.

Вторая группа – каучуки специального назначения – имеют широкую полиструктуру и позволяет дифференцированно, в

зависимости от условий эксплуатации создавать аноды с широким комплексом технических свойств (например, высокой масло- и бензостойкостью, если аноды эксплуатируются в средах, где возможно контактирование с горюче-смазочными материалами, высокой морозоустойчивостью, если монтаж и эксплуатация анодов проходит при низкой температуре и т.д.).

Широкую возможность модификации полимерной матрицы – направленное изменение комплекса свойств анодов, представляет собой совмещение каучуков с пластикатами и смолами, что позволяет значительно увеличить степень взаимодействия на границе раздела фаз полимер –электропроводящий наполнитель тем самым расширить электрофизические свойства анодов.

В качестве наполнителя применены углеродные материалы, которые отличаются размером и формой частиц и их агрегатов, химическим составом поверхности, шероховатостью и рядом других показателей. В частности, были использованы различные комбинации электропроводящего технического углерода с графитом и другими марками технических углеродов.

Известно [4], что технический углерод, основу которого составляет вещество графитового типа, имеет "первичную" и "вторичную" структуру. Первичная частица-агрегат состоит из отдельных кристаллических фрагментов углерода (несколько параллельных слоев), ориентированных в различных направлениях. Эквивалентный диаметр таких агрегатов зависит от типа технического углерода и составляет от 10 до 300 нм.

Первичные агрегаты под действием сил Ван-Дер-Ваальса соединяются во вторичные структуры, которые не прочны и разрушаются в процессе переработки, обеспечивая равномерное распределение технического углерода в каучуке. Технический углерод активно взаимодействует с макромолекулами каучука, образуя в диэлектрической матрице полимера токопроводящие цепочечные структуры, причем, как показывает теория электронных контактов [5], прохождение тока возможно не только при непосредственном соприкосновении частиц электропроводящего наполнителя (контактная проводимость), но и за счет туннельного эффекта, когда между частицами технического уг-

лерода имеется тонкая полимерная пленка. Зависимость удельного объемного электросопротивления эластомеров от концентрации технического углерода имеет вид [6]:

$$\rho = K \cdot \exp(a/c)^p, \quad (1)$$

где K - коэффициент, зависящий от структуры каучуковой основы и влажности;

c - массовая доля технического углерода в композиции;

a, p - постоянные параметры, зависящие от типа наполнителя и технологии создания проводящего эластомера.

Для высоконаполненных эластомеров (более 50 массовых частей наполнителя) предложено эмпирическое соотношение:

$$\rho = k/c^3, \quad (2)$$

где c - содержание наполнителя в массовых частях,

k - параметр, зависящий от типа каучука и изменяющийся в диапазоне $(1,5 - 12) \cdot 10^4$.

Высокая степень наполнения эластомерной оболочки электропроводящим углеродным наполнителем вследствие низкой анодной растворимости последнего $\leq 0,5$ кг/А.год [9] и правильный выбор плотности тока обеспечивают срок службы не менее 15 лет. При этом правильный выбор типа эластомера "полярный-неполярный" в совокупности с рядом рецептурно-технологических факторов обеспечивает оболочке устойчивую работу в грунтах различной агрессивности, включая и биологическую. Органическое сродство эластомера и наполнителя оболочки обеспечивает экологически чистую работу анодного заземления, поскольку, как показали экспериментальные исследования, выделяющаяся в процессе окислирования наполнителя и эластомера двуокись углерода связывается с фрагментами почвы в карбонаты.

В процессе экспериментальных исследований и опытно-промышленной эксплуатации новой серии анодных заземлителей были получены результаты, характеризующие интенсив-

ность генерации газов на разделе заземлитель-грунт [6]. На рис. 1 приведены графики изменения концентрации двуокиси углерода, кислорода и хлора в зависимости от плотности тока на поверхности заземлителя. При этом следует отметить, что хлор выделяется только в том случае, если в качестве электролита используются растворы хлоридов соответствующих металлов. Использование растворов других солей в качестве электролитов исключает выделение хлора.

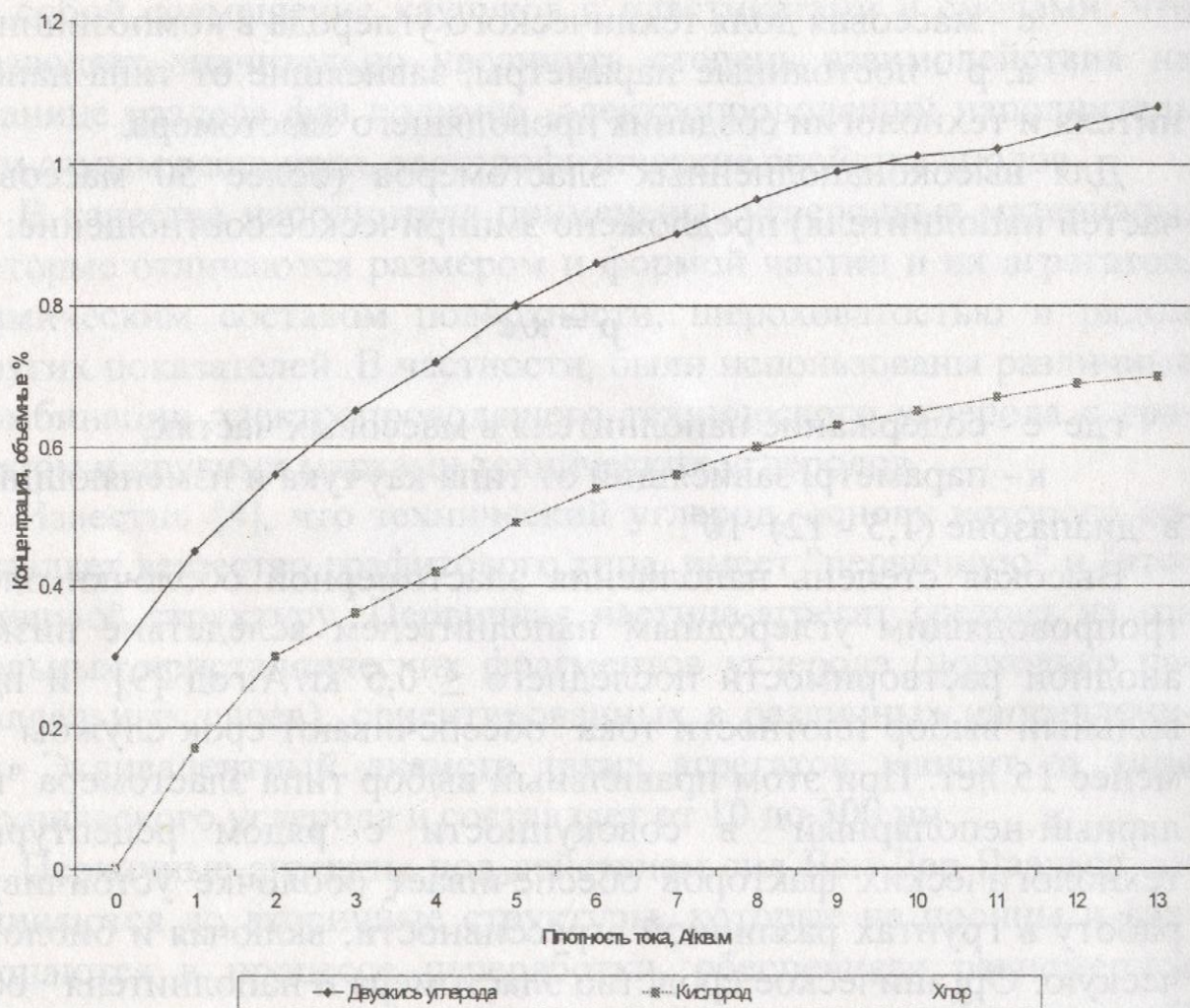


Рис. 1. Концентрация газов на границе раздела электрод-грунт при различных плотностях тока

Анализ графиков показывает, что наиболее интенсивно при работе заземлителя выделяется двуокись углерода, с меньшей скоростью - кислород. Выделение хлора несколько запаздывает по току и начинается лишь с плотности тока, приблизительно равной $0,2 \text{ А/м}^2$, а затем при очень больших плотностях достига-

ет скорости генерации кислорода. Однако плотность тока $0,2 \text{ А/м}^2$ является именно той предельной плотностью тока, повышение которой может привести к преждевременному выходу заземлителя из строя.

Основы проектирования и расчета параметров электрохимической защиты с протяженными анодами

Проектирование и расчет параметров электрохимической защиты с протяженными гибкими анодами производится в соответствии с поставленной задачей и с учетом конкретных условий. Исходными данными для расчета являются материалы инженерных изысканий коррозионной агрессивности грунта по трассе трубопровода, распределение удельного сопротивления грунта по длине и по глубине трассы (результаты вертикального электрического зондирования), а также особенности трассы и собственно прокладки трубопровода (пересечения с водными преградами, автомобильными и железными дорогами и т.п.). В результате расчета определяются число установок катодной защиты на трубопроводе, поляризационные и энергетические параметры каждой из них. При расчете определяются следующие характеристики и величины:

- электрические характеристики защищаемого объекта;
- длина защитной зоны;
- сила тока поляризации, обеспечивающая длину защитной зоны;
- тип протяженного гибкого анода;
- параметры установки катодной защиты с соответствующим типом анода;
- срок службы протяженного гибкого анода;
- энергетические параметры катодного преобразователя.

Основой расчета являются фундаментальные методы, разработанные АО ВНИИСТ [7, 8]. Характеристики защищаемого трубопровода и протяженного анода как длинных электрических линий рассчитываются обособленно, а затем результаты расчета используют для определения распределения плотности тока по длине анода с учетом локального значения сопротивления грун-

та. Распределение плотности тока оценивают с позиций невышшения предельной плотности тока анода.

Особенности строительства и монтажа

Поставка протяженных гибких анодов осуществляется на кабельных барабанах. Анодный дренажный вывод может быть заранее изготовлен совместно с активной частью протяженного анода, и тогда анод представляет собой готовое к строительству и монтажу изделие.

Этот метод изготовления дренажного вывода является предпочтительным. По другому варианту, анодный дренажный вывод к активной части приваривают по специальной технологии в процессе монтажа. Эта же технология используется при необходимости подземного сращивания анодных заземлителей для увеличения строительной длины.

Строительство и монтаж протяженных гибких анодов может осуществляться как традиционными технологиями, так и специфическими (например, при помощи кабелеукладчиков). При использовании последней технологии следует учитывать, что разрывное напряжение медной жилы не превышает 390 МПа, предел упругости 216 МПа, а тяговое усилие не должно превышать безопасного для жилы напряжения 150 МПа.

Контроль и диагностика

Контроль и диагностика от коррозии заключаются в проверке соответствия построенной системы электрохимической защиты требованиям государственных стандартов, технических условий и проекта. Основные величины, контролируемые в процессе строительства, монтажа и настройки системы, следующие:

- расстояния от протяженного анодного заземления до защищаемого трубопровода и других защищаемых и не защищаемых подземных сооружений;
- толщина уплотняемых слоев грунта, либо коксо-минеральной засыпки, размер его гранул;
- сплошность изоляции подземных контактных узлов;
- сопротивление растеканию тока протяженного анодного

заземлителя;

- качество диэлектрического покрытия изоляционных элементов (торцы протяженных анодов, переход на границе земля-воздух и т.п.) ;
- распределение защитного потенциала по длине трубопровода;
- непревышение плотности тока анодов;
- сила тока катодных преобразователей.

На рис. 2 показан один из примеров реализации электрохимической защиты при помощи протяженных анодных заземлений коридора трубопроводов с низким качеством изоляционного покрытия.

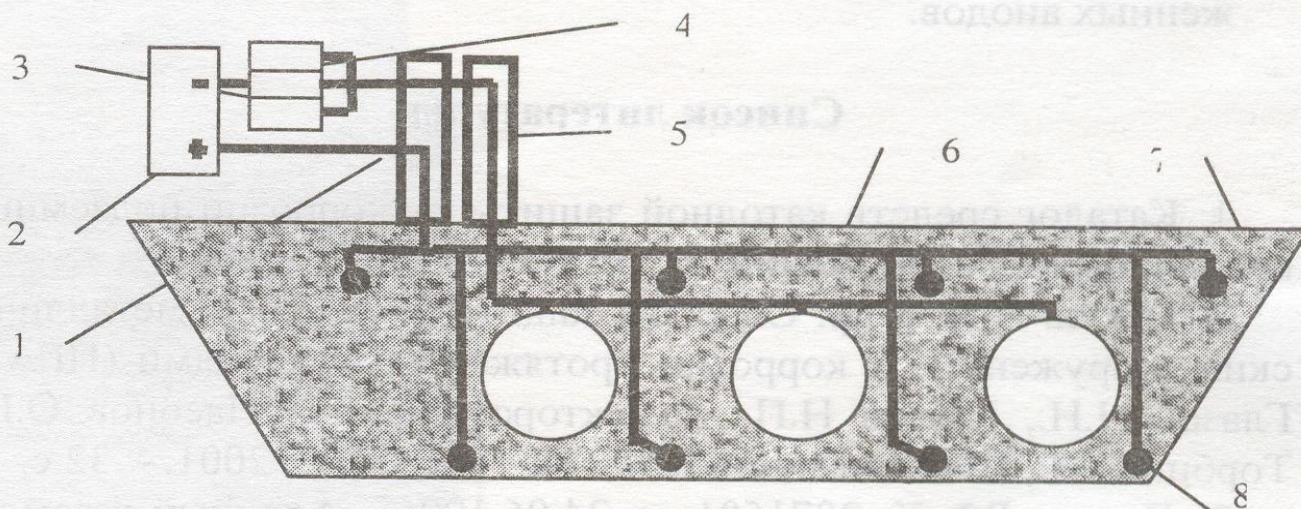


Рис. 2. Пример реализации электрохимической защиты с применением протяженных анодов.

- 1 – анодные дренажные провода, 2 – катодный преобразователь,
3 – катодные дренажные провода, 4 – блок совместной защиты,
5 – контрольно-измерительные пункты, 6 – трубопроводы,
7 – грунт, 8 – протяженный анод

Использование новой серии анодных заземлителей - проводов для электрохимической защиты трубопроводов позволяет осуществить:

1. Формирование электрического поля защиты требующейся конфигурации и дифференцированного подхода к созданию любого типа анодного заземления в зависимости от

условий среды, характеристик грунтов и защищаемых объектов.

2. Предотвращение пассивации анода при эксплуатации его в кислых грунтах за счет применения принципиально отличающегося от металлов электропроводного материала, одновременное снижение закисленности грунта за счет образования карбонатов обеспечивают экологическую чистоту работы анода.

3. Значительное понижение трудозатрат при монтаже и транспортировке анодных заземлителей.

4. Исключение непроизводительного отвода земель на вновь строящихся трубопроводах за счет конструктивно-технологических параметров укладки и эксплуатации протяженных анодов.

Список литературы

1. Каталог средств катодной защиты от коррозии подземных металлических сооружений. М.: ОАО ГАЗПРОМ, 2000.

2. Глазов Н.Н. и др. Способы защиты подземных металлических сооружений от коррозии протяженными анодами (ПГА) / Глазов Н.Н., Глазов Н.П., Делекторский А.А., Насонов О.Н., Торбин О.И., Шамшетдинов К.Л. - М.: ВНИИСТ, 2001. - 32 с.

3. Патент РФ № 2071501 от 24.06.1996. Анодный заземлитель, Композиция анодного заземлителя и способ ее получения.

4. Гуль В.Е., Шенфиль Л.З. Электропроводящие полимерные композиции. - М.: Химия, 1984. - 239 с.

5. Френкель Я. Теория электрических контактов между металлами // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 1946. - Т.16. - Вып.4.

6. Испытания электродов анодного заземления из эластичной, токопроводящей композиции. Отчет о научно-исследовательской работе. - М.: ИП ТЕТРАН, 1998. - 31 с.

7. ВСН 2-106-78/Миннефтегазстрой. Инструкция по проектированию и расчету электрохимической защиты магистральных трубопроводов и промышленных объектов. - М.: ВНИИСТ, 1980. -

176 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

8. РД 153-39.4-039-99. Руководящий документ. Нормы проектирования электрохимической защиты магистральных нефтепроводов и площадок МН. - М.: АК Транснефть, 1999. - 80 с.

9. Ревин Р.У., Улиг Г.Г. Коррозия и борьба с ней / Под ред. А.М.Сухотина. - Л.: Химия, 1989. - 454 с.

Александр Давид Александрович

Аспирант Кусто-Уральского государственного университета

194600 г. Челябинск, пр. Шаляпа, 76

тел. (3512) 67-97-34, e-mail: alexandr@yandex.ru

Будуцкий Владимир Петрович

Будущий инженер службы эксплуатации, наладки и ремонта электрооборудования

Инженерный центр «ИЭЭ» «Иркутскэнерго»

603950 г. Иркутск, Невгород, ГСП-48, ул. Рождественская, 33

тел. (3512) 31-86-88, факс (3512) 33-23-03, 31-92-81

e-mail: rufov1@yandex.ru, khitata

Балашов Владимир Васильевич

К. т. н., д. т. н., профессор

113435 г. Москва, Раушская набережная, 8

Банинское Сергей Николаевич

М. н. с. ИГи УрО РАН

620219 г. Екатеринбург, ул. М. Сибиряка, 58

тел. факс 39-69-11, e-mail: sban@yandex.ru

Борисов Руслан Константинович

К. т. н., директор ООО «ИЭЭ» «Иркутскэнерго»

111250 г. Москва, ул. Комсомольская, 9

тел./факс (095) 362-76-23, 776-32-56, 362-74-36

e-mail: sban-00@yandex.ru, sban-00@yandex.ru

Гонимовский Александр Сергеевич

Сибирский научно-исследовательский институт электротехники

650126 г. Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1

тел./факс: +7 3832 654138, e-mail: alexgolovnik@yandex.ru

Григорьев Николай Петрович

Д. т. н., профессор, директор Центра прикладной коррозионной защиты и диагностики АО «ИЗНИСТ»

105053 г. Москва, Окружной проезд, 19

тел. (095) 366-61-39, факс (095) 366-62-01

e-mail: srka_gribov_sr@yandex.ru