

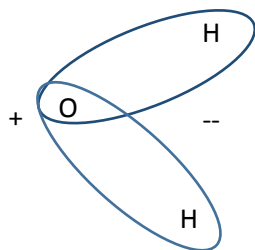
Идея изложить на бумаге свои мысли возникла после долгого общения с коллегами, в результате которого оказалось, что целостного понимания и знания всех глубин изучаемого нами предмета нет ни у кого. Каждый понимает лучшие или хуже какие-то отдельные аспекты и судит обо всем остальном на основании собственного опыта. Прекрасно помню, как сам начинал постигать основы ЭХЗ – теория воспринимается с трудом и почти не стыкуется с практикой (кстати, с тех пор мало что изменилось). К тому же, как и все дисциплины, возникающие на стыке разных наук, ЭХЗ требует для своего понимания достаточно разносторонних знаний. Вот и захотелось создать коллективный ресурс, в который можно было бы объединить опыт и знания многих, чтобы каждый смог принести свою ложку меда в общую бочку дегтя. Это тем более важно, что для начинающих специалистов надо с самого начала изложить материал просто и доступно, без сложных формул и диаграмм. Может быть, так нам удастся достичь идеала, объять необъятное и впихнуть невпихуемое. Понятно, что это невозможно, но стремиться к этому надо. Автор этих строк не гарантирует абсолютной научной достоверности изложенного материала, многое является результатом собственных размышлений. Прошу строго не судить. Жду ваших замечаний и дополнений +7 (925) 4488339 Борис Савельев boris_savelev@list.ru

Немного о химии

Механизм разрушения металла в водной среде подробно изложен в учебнике Ткаченко и других авторов, поэтому пересказывать их нет смысла. Проблема в понимании возникает в основном оттого, что для подавляющего большинства химия со школьных лет осталась темным лесом, куда лучше не соваться. Понять механизм взаимодействия разных веществ нам поможет академик Л. Д. Ландау, который на просьбу: «Объясните в двух словах, что такое химия?» ответил двумя словами: «Обмен электронами!». Гениально просто и гениально кратко. Все атомы состоят, как орех, из ядра и скорлупы. В ядре сосредоточены протоны, нейтроны и прочие частицы, а электроны образуют скорлупу. В силу своей природы электрон как бы размазан по сферической оболочке, он есть одновременно во всех точках. Таких оболочек в атоме несколько, каждая на своем расстоянии от ядра. Взаимодействовать с другими атомами могут только электроны, расположенные на самом верхнем уровне. Вариантов взаимодействия немного – атом может отдать электрон с внешнего уровня, может присоединить электрон на внешний уровень, и может сделать электрон общим с другим атомом. В этом случае электрон образует оболочку, охватывающую оба атома – образуется молекула.

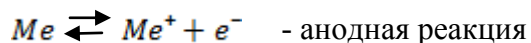
Свойства атомов и молекул зависят от их формы и числа атомов на внешнем уровне. Поскольку электрон обладает зарядом, его перемещение обусловлено электрическим полем. В большинстве случаев электронные оболочки расположены симметрично относительно ядра, положительный заряд ядра уравнивается отрицательным зарядом электронов, и атом остается электрически нейтральным. Если же число электронов изменяется, или форма атома становится несимметричной, у него появляется электрический заряд.

Именно несимметричность молекул позволяет некоторым молекулам иметь свое электрическое поле, имея полный набор электронов. Именно такова молекула воды H_2O . Поскольку основной положительный заряд сосредоточен в ядре кислорода, а электронные облака вытянуты в сторону водорода, возникает несимметрия электрических зарядов и появляется электрическое поле. Обладая таким мощным ресурсом, вода с легкостью притягивает к себе и разрывает многие молекулы. По-научному это называется «электролитическая диссоциация». Молекулы воды притягиваются и друг к другу, образуя подобие кристаллической структуры.



Вступая в контакт с твердым телом, молекулы воды начинают притягивать к себе атомы вещества, находящиеся на поверхности. В микромире не существует плоскостей, любая поверхность выглядит как горный рельеф. Внутри кристалла атомы расположены в узлах кристаллической решетки и связаны с соседними атомами при помощи общих электронов, которые работают как растяжки, придавая прочность всей системе. Но на поверхности часть таких растяжек у атома отсутствует, и они слабее связаны с соседями. Молекула воды начинает притягивать ядро атома, зачастую объединяясь с соседками, и общими усилиями они отрывают атом металла от решетки. Потеря части электронов приводит к тому, что положительный заряд ядра атома уже не компенсируется отрицательным зарядом электронов, и атом становится положительно заряженным ионом. Теперь он становится гораздо общительнее и доступнее для взаимодействия с другими заряженными частицами. Оставшиеся в металле электроны становятся свободными. В результате нарушения баланса зарядов металл приобретает

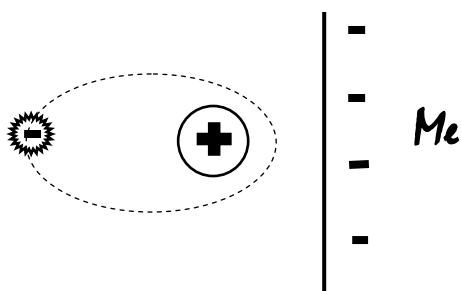
отрицательный заряд. Он пытается притянуть оторвавшийся атом и вернуть его обратно. В противном случае атом уйдет в раствор. Со временем заряды металла и раствора возрастают, атому металла становится труднее оторваться, и устанавливается равновесие – число вышедших из металла атомов становится равным числу вернувшихся.



Стрелки указывают на обратимость реакции. Если бы можно было достичь такого состояния на практике, труба лежала бы вечно, и нам пришлось бы искать другую работу. Но все меняется, когда приходит он – страшный и ужасный кислород! Он обладает способностью присоединять электроны, будучи электрически нейтральным. Добравшись до поверхности металла, он поглощает свободные электроны, оставшиеся от оторвавшихся атомов. Этот процесс называется «кислородной деполяризацией». Заряд металла уменьшается, и выход атомов из металла облегчается. Встретив в электролите ион металла, кислород вступает с ним в преступную связь, образуя окисел – ржавчину.

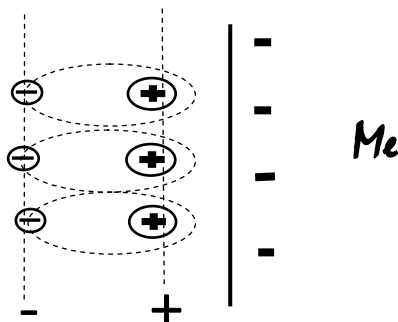
Итак, главные факторы, определяющие коррозию металла – это наличие воды и кислорода. И если от воды мы никуда не денемся, то от кислорода защищаться можно и нужно. Первый способ – максимально затруднить доступ молекул кислорода к металлу. Второй – связать кислород и перевести его в состояние, когда он не сможет вступать в связь с ионами металла. Обе эти задачи решаются при помощи системы электрохимической защиты.

Посмотрим на границу раздела трубы и воды с максимальным увеличением, чтобы видеть молекулы и атомы. Конечно, это зрелище не для слабонервных – это ведь не лабораторная пробирка с дистиллированной водой. В земле содержится вся таблица Менделеева, и почвенный электролит похож на наваристый борщ – чего там только нет. Помимо собственно воды, полно всяких молекул, атомов и их осколков – ионов, и все это живет, булькает, взаимодействует. Когда положительно заряженный ион приблизится к поверхности металла, имеющей отрицательный заряд, он начинает деформироваться – положительно заряженное ядро притягивается к металлу, а отрицательно заряженные электронные оболочки отталкиваются от него. В результате арбуз превращается в дыню. Происходит поляризация иона.



При достаточной концентрации ионов в растворе рядом с ним встают другие, и у поверхности металла образуется сплошной слой. Поверхность образовавшегося слоя, обращенная к металлу, имеет положительный заряд, а поверхность, обращенная от него – отрицательный. Получился двойной электрический слой. Потенциал, возникающий между поверхностями, называется поляризационный потенциал. Пробыться через этот слой к поверхности металла молекулам кислорода становится гораздо труднее. Чтобы дополнительно усилить защитные свойства, надо растянуть ионы еще сильнее. Для этого

прикладываем внешнее электрическое поле, подключив трубу к отрицательному выводу СКЗ, а на электролит через анод подаем положительный заряд.



Положительный заряд слоя препятствует выходу атомов из металла. Почти вся энергия, затрачиваемая системой ЭХЗ, сосредоточена в двойном электрическом слое.

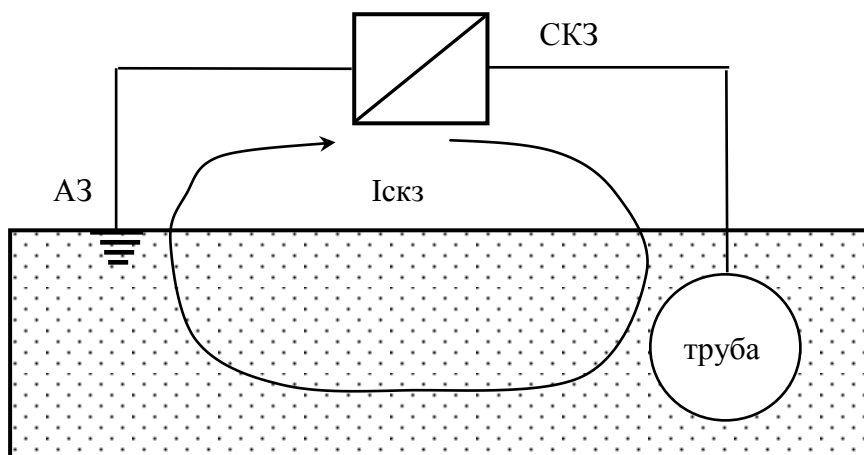
Если молекула кислорода проникнет через двойной электрический слой, она будет искать свою жертву. Самые доступные – это ионы металла и электроны. Чтобы защитить первых, надо создать избыток вторых. Катодная станция создает поток электронов, которые выходят из металла в электролит, где и встречаются с молекулами кислорода и воды. Результатом такой встречи будет связывание кислорода



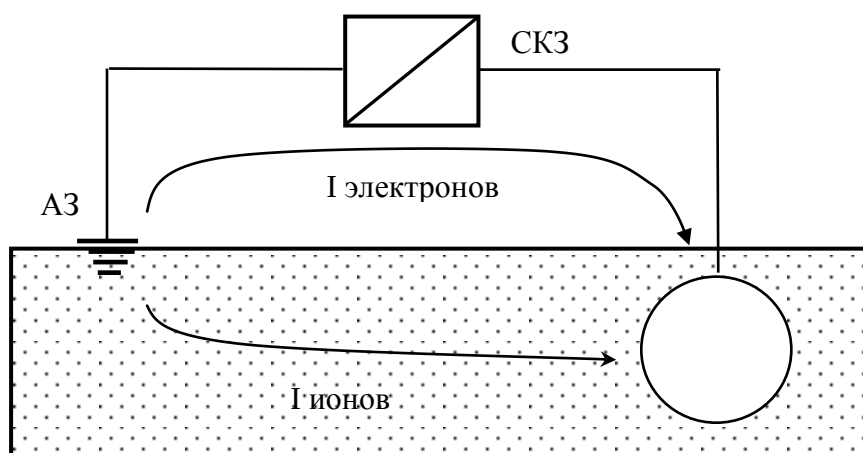
Образовавшиеся гидроксильные группы вступают в реакцию с подходящими ионами и образуют нерастворимые соединения, которые выпадают в осадок в виде катодного налета. Причем он не всегда бывает светло-серым – все зависит от состава почвенного электролита. При шурфовке на колхозных полях приходилось видеть трубу, покрытую крупными кристаллами белого или розовато-фиолетового цвета – в зависимости от того, какой селитры много было в колхозе.

Немного об электричестве

Теперь пришла пора подойти с другой стороны и взглянуть на систему ЭХЗ глазами электрика.



Именно так изображается принцип работы катодной защиты в большинстве учебных пособий и даже в Методических указаниях по эксплуатации средств ПКЗ. Казалось бы, все логично: ток из СКЗ течет в трубу, от нее через грунт к аноду и возвращается к СКЗ. Все как в школьном учебнике. Смущает только одно – этого не может быть. Ведь цепь хоть и выглядит замкнутой, но состоит из разных проводников. Участок «анод – СКЗ - труба» – это металл, проводник первого рода, в котором заряд переносится электронами. Участок «труба – анод» - грунтовый электролит, проводник второго рода, в котором заряд переносится ионами. А они образуются, как было сказано выше, при электролитической диссоциации и имеют разные знаки. Соответственно при появлении электрического поля они начинают двигаться в разные стороны – отрицательно заряженные к аноду, положительно заряженные – к трубе. Нас в первую очередь волнуют положительно заряженные ионы, участвующие в образовании двойного электрического слоя. О роли отрицательно заряженных ионов в защищенности трубопровода ничего сказать не могу. Поскольку нас интересует труба, будем рассматривать только ток от анода к трубе.



Электроны движутся из анода, где они образуются в результате разрушения металла (анодная реакция), под действием электродвижущей силы СКЗ по металлу трубы и выходят в электролит для участия в катодной реакции. Положительно заряженные ионы перемещаются к трубопроводу и образуют вокруг него защитный слой. С точки зрения носителей заряда, цепь является разомкнутой – электроны и ионы никогда не возвращаются в начальную точку своего движения.

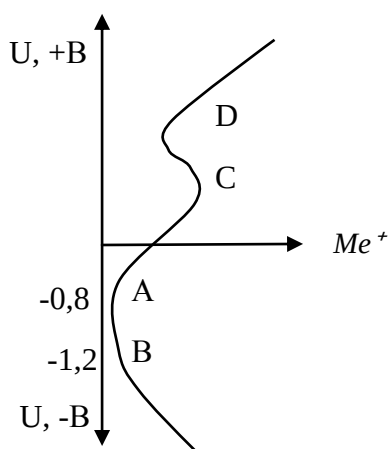
Электрический ток относится к той категории явлений, о которых каждый может рассуждать как знаток. С самого детства он нас обслуживает на каждом шагу, светит, греет, звучит... И при этом мы знаем о нем удивительно мало. Школьная программа учит нас рассчитывать параметры цепи – токи, напряжения, мощность. А нам для лучшего понимания процессов в системе ЭХЗ придется более внимательно изучить природу тока.

Казалось бы, чего проще – соединил провода в цепь, включил катодку, и она выдает ток. И все параметры типа «запас по току катодной станции» автоматически привязывают в нашем сознании ток к преобразователю. А ведь он не способен отдавать ток в принципе! Почему? Давайте углубимся внутрь металла, в его структуру. Изнутри он выглядит как строительная арматура – в узлах кристаллической решетки на большом расстоянии расположились атомы, связанные между собой электронными облаками. Вся остальная пустота предоставлена в полное распоряжение электронов, не связанных с каким-то конкретным атомом и потому зовущихся свободными. Они свободно перемещаются в любых направлениях и достигают скорости $\sim 10^5$ м/сек. Их поведение подобно газу, хорошо описывается некоторыми газовыми законами, поэтому используется определение «электронный газ». Для нас самым интересным и важным является закон Авогадро, который гласит: «В одинаковых объемах различных газов содержится одинаковое количество молекул». Это в полной мере относится и к электронам. Их число в металле равно числу атомов и составляет примерно 10^{29} в одном моле. Если бы этот закон не действовал, мы могли бы получать ток, просто соединяя в цепь провода из разных металлов, а вместо аккумуляторов использовать болванки. Невозможно закачать в металл дополнительные электроны, изъять их оттуда или согнать в один угол. Единственное, на что способны электроны – это дружно двигаться в одну сторону под действием электрического поля. Именно поэтому преобразователь не может отдавать ток – ведь в нем тоже содержится строго определенное количество электронов. Из курса электротехники мы помним (кто-то хорошо, а большинство – смутно), что есть два вида источников: источники тока и источники электродвижущей силы. Источники тока – это батарейки, аккумуляторы, протекторы. Они способны отдавать ток, поскольку в них протекают химические реакции, в ходе которых освобождаются электроны. В нашем случае источником тока является анод. Источники электродвижущей силы – это преобразователи, которые создают электрическое поле, заставляющее двигаться носители зарядов в замкнутой цепи. Чем большую мощность мы хотим получить в нагрузке, тем сильнее должно быть поле и выше скорость электронов. Кстати, а какова скорость электрического тока? Большинство не задумываясь ответит «Она равна скорости света». Действительно, ведь лампочка загорается сразу после щелчка выключателя. Страшно подумать, что было бы, окажись это правдой. Мгновенно распространяется не ток, а электрическое поле. Чтобы разогнать электрон до скорости света, нужна огромная энергия. Да и возможно это только в полном вакууме. При столкновении с любым атомом происходят ядерные реакции с образованием жесткого излучения. Именно так работают ускорители, коллайдеры и рентгеновские аппараты. В металле же слишком много препятствий, да и поле не самое сильное, поэтому электроны особо не спешат. При силе

постоянного тока 10 ампер в проводнике сечением 1 кв.мм электроны «мчатся» со скоростью 1мм в секунду. Соответственно, за год в трубе Ду1200мм электрон сдвинется на 1 метр!

С замкнутой цепью вроде все понятно, а как быть с разомкнутой? Ведь электрон не может бодро добежать от трубы до анода и замкнуть свой путь. Если преобразователь подобно насосу закачивает электроны в трубу, они просто обязаны выйти из нее в грунт – трубе вполне достаточно своих электронов, чужим здесь места нет. В этом труба подобна переполненному автобусу – если в заднюю дверь впихнуть пассажира, из передней двери кто-то вывалится. И если на выходе что-то вытекает, значит на входе это что-то должно втекать. Так наши рассуждения и привели нас туда, откуда все начинается – к аноду. Электроны, которые потекут к трубе, сначала должны родиться в аноде в результате анодной реакции. Помните, $Me \rightleftharpoons Me^{+} + e^{-}$ Подав на анод положительное смещение от преобразователя, мы облегчаем атомам металла отрыв от кристаллической решетки. Образовавшийся ион металла идет в раствор, где его быстренько кто-нибудь схомачит, а освободившиеся электроны плетутся через трубу в грунт, где их уже поджидает кислород. М-да, грустная сказочка получилась – свобода до добра не доведет. Иди хоть налево, хоть направо – все равно быть тебе съеденным. Правильно сказали в старом фильме: «Как бы ты высоко ни взлетел, не отрывайся от родного коллектива!» Так что самой главной и самой трагичной фигурой в этой житейской драме является анод – и сам разрушается, и детей своих посылает на погибель ради сохранности трубы. Вот пример высшего служения долгу! А вы говорите – катодка, изоляция... Что они могут, если анод страдает анодным бессилием?

Уже не помню, в какой книге увидел интереснейший график – зависимость количества ионов металла в электролите в зависимости от приложенного напряжения. Выглядела эта



загогулина примерно так. Участок АВ - это зона пассивации, в которой растворение металла минимально. Для железа это интервал значений от -0,8В до -1,2В. Вам эти цифры ничего не напоминают? Из графика сразу виден процесс нашей работы. Для хорошей токоотдачи делай анодное напряжение выше точки D, трубу загоняй в интервал АВ – и будет вам счастье. Этот график по форме и сути повторяет график поляризационной кривой для стали, но гораздо нагляднее в плане понимания.

Усвоив эту механику, я пришел к неожиданному выводу – теперь невозможно забыть формулы анодной и катодной реакций. Из трудно запоминаемых формул они превратились в зримые процессы, ради которых мы и работаем. Нужны нам электроны – запускаем анодную реакцию $Me \rightleftharpoons Me^{+} + e^{-}$. Хотим защитить трубу – регулируем приложенным напряжением плотность и ширину двойного электрического слоя, чтобы попасть в зону пассивации. Надо предотвратить встречу металла с кислородом – выгоняем электроны в электролит для хода катодной реакции $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightleftharpoons 4(OH)^{-}$. Очевидно, именно для контроля катодной реакции появилось требование измерять кислотность грунта при шурфовых работах. Вот только нигде не прописано, как и где это делать. Измерение в стенке шурфа даст нам только фоновое значение. Поскольку катодная реакция протекает в тончайшем зазоре между металлом и двойным электрическим слоем, второй замер надо делать непосредственно на теле трубы. Только так мы сможем увидеть, на сколько сместилась кислотность относительно фона.

Немного о Земле

Перейдем теперь от микромира к макромиру и рассмотрим некоторые моменты, связанные с работой системы ЭХЗ и проведением измерений.

Как связана защищенность трубы с коррозионной агрессивностью грунта, т.е. с его удельным сопротивлением? Здесь сразу срабатывает стереотип – агрессивный значит опасный, вредный. Но это относится скорее к случаю, когда металл ничем не защищается. А при катодной защите все видится с точностью до наоборот. Как мы определяем эту самую агрессивность? Забиваем в землю электроды, подаем на них напряжение. В почвенном электролите начинают двигаться ионы, возникает ток, силу которого мы измеряем. Поделив приложенное напряжение на измеренный ток, получим сопротивление. Величина тока определяется количеством носителей заряда, проходящих через проводник в единицу времени. Чем ниже удельное сопротивление грунта, тем выше ток. Величина тока прямо пропорциональна количеству поляризованных ионов в электролите. Чем их больше, тем легче создать двойной электрический слой с наименьшими затратами энергии. Защитная зона катодной станции при этом будет максимальной, а потенциал распределяется более равномерно. Еще один положительный момент – низкоомные грунты обычно плотные, плохо пропускают кислород, что также сдерживает коррозию.

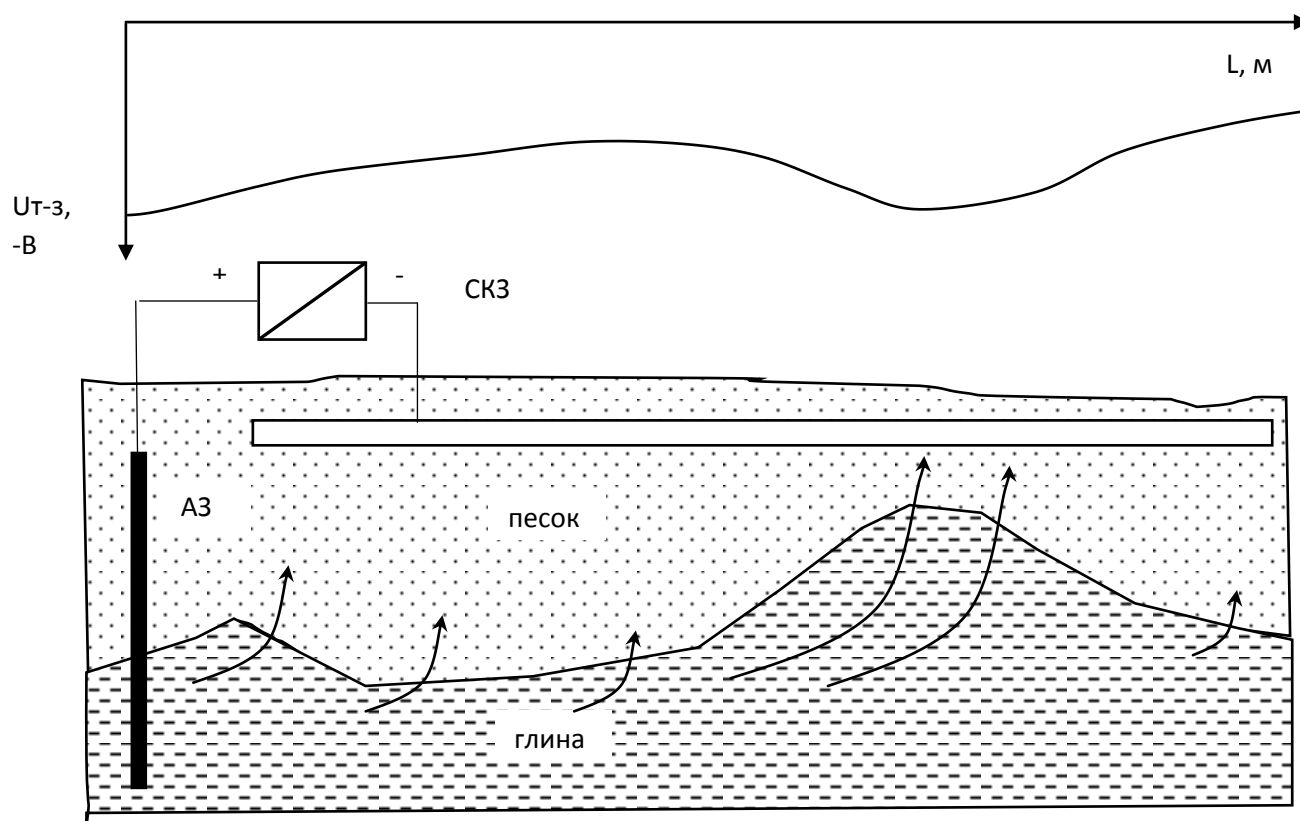
Все теории, описывающие поведение трубы в грунте, начинаются с построения эквивалентных схем, которые помогут понять протекающие процессы. И схемы эти не блещут разнообразием – вариант всегда примерно один: протяженный металлический объект помещен внутри однородной изотропной среды. И это не от хорошей жизни – просто наша Земля настолько сложна и разнообразна, что иначе пришлось бы изучать множество разных вариантов. При этом гораздо сложнее выявить общие закономерности, присущие всем вариантам. Поняв общее, можно уже переходить к частным случаям. Но беда наша в том, что мы нетерпеливы и редко читаем умные книги до конца. Пролистали первые страницы, нахватались верхушек – и вперед, считаем себя уже знатоками. Поэтому зачастую все наши знания умещаются в самую общую схему, с которой встретиться в реальной жизни просто нереально. Удивительно, но о далеком космосе мы знаем гораздо больше, чем о том, что творится у нас под ногами. Появление «черных дыр» и вспышки сверхновых прогнозируются точнее, чем погода на неделю вперед. Поверхность соседних планет изучена лучше, чем дно наших океанов. Так же и с трубой – считаем, что кладем ее в однородную субстанцию, не имеющую своего мнения и права голоса. А ведь в реальности мы влезает со своей железкой в сложнейшую систему, обладающую множеством свойств, вносим в нее диссонанс, и она начинает реагировать. Все это накладывается на картину, которую рисует нам обобщенная теория, и изменяет ее подчас до неузнаваемости. Поэтому изучение основ ЭХЗ логично начинать с изучения основ геофизики, объясняющей строение Земли, и из которой взяты методы измерений, которыми мы пользуемся при обследовании. Эти знания никогда не будут лишними.

Внутренне строение Земли настолько сложно и разнообразно, что точную информацию мы можем получить только при вскрытии, т.е. бурении. Оно дает наиболее достоверную картину, но есть одно «но» - картина будет очень локальной, как крохотный прокол в очень толстой.... Что творится в ста метрах и как все изменится в километре – совершенно неясно. Поэтому люди всегда стремились разработать методы, позволяющие узнать побольше и вглубь, и вширь. Пусть не так подробно, зато масштабнее. Нам наиболее близок и интересен

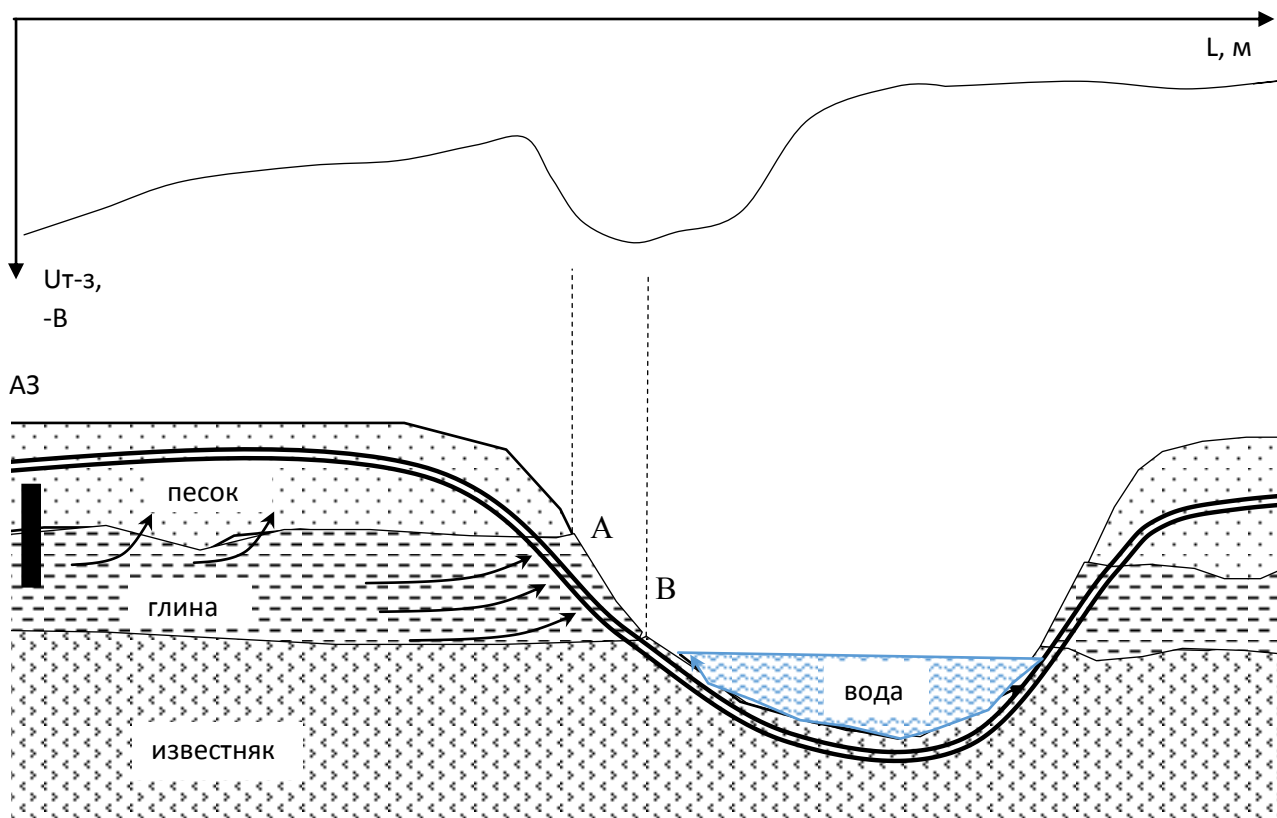
один из разделов геофизики – электроразведка. Используя измерения различных электрических величин, можно получить данные о внутреннем строении Земли. Из электроразведки пришли к нам методы измерения удельного сопротивления грунта, градиентов потенциала. Знание строения верхних слоев Земли позволит правильно интерпретировать результаты измерений.

В общем случае Земля имеет слоистое строение. Расположение слоев, их мощность и направление могут быть самыми разными. Различные породы имеют разное удельное сопротивление, что позволяет изучать их с поверхности земли. Измерение удельного сопротивления грунта – одно из самых нелюбимых занятий ЭХЗшника – забивать электроды и путаться в проводах через каждые 100 метров мало кому понравится. Понять всю прелесть этого действия можно лишь после работы по вертикальному электрическому зондированию (ВЭЗ). Принцип тот же, только масштаб другой. Современная аппаратура позволяет подключать одновременно до 96 электродов, установленных в ряд длиной до 1 км. Как говорится, почувствуйте разницу. Вот где проводов поразматываешь! Используя различные комбинации подключения электродов, можно получить карту расположения слоев на глубинах в сотни метров. Для эффективной работы системы ЭХЗ информация о распределении грунтов имеет первостепенное значение. Эффективность работы анода прямо зависит от сопротивления грунта, поэтому выбор места для анодного заземления – очень важный этап. При использовании глубинных анодных заземлителей (ГАЗ) методом ВЭЗ определяется расположение слоя с минимальным удельным сопротивлением. Ведь именно по нему будут течь ионы к трубе. При близком расположении скальных пород или в вечномёрзлых грунтах приходится бурить до 200 метров. Не раз бывало, что при замене АЗ строители устанавливают его на 10-15 метров выше, чем старый. В результате защитная зона СКЗ уменьшается в несколько раз. При малой толщине низкоомного слоя работает только та часть анода, которая в нем расположена. В результате через несколько лет нижняя часть анода отрывается, и ток СКЗ резко падает.

Взаимное расположение нижнего токопроводящего слоя, где установлен анод, и верхних слоев, где лежит труба, определяет распределение защитного потенциала. В местах минимального расстояния между трубой и проводящим слоем натекание защитного тока будет максимальным. В результате потенциал может неожиданно возрасти вдали от СКЗ.



При использовании поверхностных анодов сильное влияние на распределение защитного потенциала оказывает профиль местности. Если толщина верхнего слоя невелика, глубокий овраг может полностью его оборвать. В результате защитный потенциал сначала возрастает в начале оврага, где труба пересекает токоведущий слой, а сразу за оврагом резко падает.



Такое же влияние могут оказывать вертикальные выходы скальных пород или моренные гряды, оставшиеся от ледника, а также промерзание грунта в зимнее время.

Еще один важный момент, который необходимо учитывать – границы смены грунтов с разным удельным сопротивлением. Иногда эта смена бывает очень резкой. В Прибалтике, где много мест вертикального выхода на поверхность сланцевых пород, удельное сопротивление менялось на 30 метрах в 50 раз и на 50 метрах в 100 раз. В Европейской части смена глины и песка приводит к разнице в 10-20 раз. Близко расположенные участки трубы оказываются в резко отличающихся условиях. В результате образуется коррозионная макропара, в которой участки с высоким удельным сопротивлением грунта и хорошей аэрацией работают катодом, а плотный слой низкоомной глины – анодом (участок А-В на рисунке). Особенно наглядно это видно при капитальном ремонте, когда трубу откапывают и очищают от изоляции. На первой трети склона труба бывает сплошь усеяна небольшими блестящими язвочками. Поэтому при проведении обследований обязательно уделяйте таким участкам особое внимание и заказывайте там шурфы. Иногда удельное сопротивление резко меняется по глубине. В Калмыкии, лежащей ниже уровня моря, грунты подтоплены соленой водой Каспийского моря. На глубине 1м удельное сопротивление грунта равно 60-80 ом*м, а на 3

метрах- всего 6-8. В результате верх и низ трубы лежат в разных условиях, и возникает коррозионная макропара с анодом внизу и катодом сверху.

Коррозионные макропары присущи не только техническим устройствам, но и природным объектам. Если в толще породы лежит рудное тело, его верхняя и нижняя части тоже расположены в разных условиях. Протекающие окислительно – восстановительные реакции приводят к возникновению электрического поля и образованию токов. Силовые линии этого поля выходят на поверхность, в результате чего на поверхности Земли возникают зоны с разными потенциалами. Границы этих зон соответствуют контуру рудного тела. Измеряя с малым шагом разность потенциалов между двумя электродами, можно определить границы месторождения, лежащего в сотнях метров внизу. Этот метод называется метод естественного электрического поля (ЕЭП). Если через такую зону проложить трубопровод, градиент потенциала от тока катодной защиты наложится на естественный потенциал. При включенной катодной станции определяющим будет градиент от катодного тока. Зато при выключении будет виден естественный потенциал. При проведении интенсивных измерений смена положительного градиента включения на отрицательный градиент отключения считается признаком активных коррозионных процессов. Чтобы правильно оценивать ситуацию и не фиксировать ложные дефекты, перед проведением измерений полезно отойти в чисто поле, подальше от труб и анодов, и пройти метров 200, измеряя градиенты. Сразу станет видно, чего можно ждать от этой трассы.

Еще одним инструментом изучения земных недр и помехой при наших измерениях являются теллурические токи. Для большинства из нас они являются экзотикой, с которой никогда не встретишься. Их влияние бывает заметно на протяженных трубопроводах, идущих в меридиональном направлении, с севера на юг. Поэтому чаще всего их можно наблюдать на севере Западной Сибири. Теллурические токи текут в земле, но причина их возникновения находится в космосе. Потоки высокоэнергетических частиц, выбрасываемых Солнцем, взаимодействуют с ионосферой Земли. В результате над экватором и полюсами возникают зоны, имеющие разные заряды. Возникающее при этом электрическое поле замыкается через землю и возбуждает в ней постоянный или медленно меняющийся ток, текущий от экватора к полюсу. Поскольку поле сильное, а частота очень низкая, токи могут проникать на несколько километров вглубь земной коры. Измеряя на поверхности градиенты потенциала, можно узнать строение глубинных слоев.

Когда электрическое поле возникает там, где с севера на юг проложен протяженный трубопровод, силовые линии замыкаются на него, и весь поток ионов устремляется к трубе. На южном конце трубопровода возникает катодная зона, а на северном – анодная. В результате мы видим изменения величины тока в трубе при стабильном токе СКЗ. Защитный потенциал под его воздействием изменяется только в местах натекания или стекания с трубы, а также при обходе изолирующих соединений. Поэтому ток проходит транзитом сотни километров, оставаясь практически незамеченным. А величина этих токов может быть достаточно большой. В Западной Сибири при отключении питания СКЗ на участке 300 километров фиксировались токи в 8-10 ампер в каждой из 12 труб технологического коридора. Такие токи вполне могут разрушить трубопровод в месте выхода тока в грунт. Обычно таким местом является обсадная труба скважины. Особое внимание следует уделять изолирующим соединениям на промысловых трубах. Весь ток с магистрали в конечном счете пойдет к скважине через трубу малого диаметра, и в месте обхода изолирующего соединения возникнет анодная зона. Отследить ее появление непросто, ведь токи текут не постоянно. Полезным было бы ставить самописец на несколько суток – протекание тока через грунт

обязательно вызовет колебания потенциала. Практика показывает, что появление токов совпадает с графиком солнечной активности.

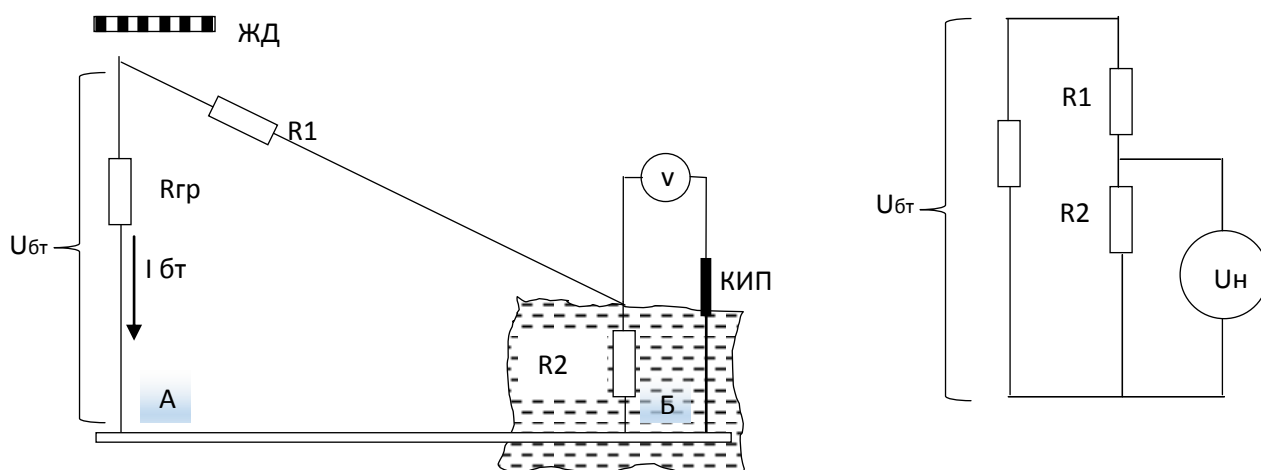
Блуждающие токи.

Эта тема – одна из самых неприятных для ЭХЗшника. Уж очень эти токи осложняют нашу работу. Они постоянно меняются по величине, поэтому правильно настроить работу системы ЭХЗ или провести обследование трубопровода совсем непросто. Причины их возникновения и различные ситуации подробно описаны в учебниках, поэтому пересказывать их нет смысла. Остановлюсь лишь на моментах, вызывающих наибольшее количество вопросов.

Определение зон натекания и стекания блуждающего тока - задача первостепенная, поскольку ее решение выявит и причину, и следствие возникновения этого тока. Зона натекания блуждающего тока обычно является протяженной, особенно когда утечка тока идет через подошву рельса и загрязненную балластную засыпку. Если появление тока вызвано отсутствием перемычки между рельсами, ток будет более выраженным и определить место его появления будет проще. А вот зона стекания тока чаще всего бывает локальной. Зачастую вся она уместится в одном пятнышке с дефектом изоляции площадью в несколько квадратных сантиметров. Плотность тока при этом образуется колоссальная, и металл буквально «высверливается». Такие язвы имеют характерный вид – четкий контур, повторяющий края изоляции, вертикальные стенки и зеркальная поверхность металла. Скорость ее роста может быть такой, что за несколько недель труба будет проедена насквозь. По сути, этот процесс ничем не отличается от травления металла в гальванической ванне. Именно из-за высокой скорости роста язв выявление зоны стекания тока – задача №1.

Существует только один достоверный способ определения мест натекания и стекания тока – определения вектора блуждающих токов путем измерения градиентов потенциалов в земле. Схема измерений и формулы расчета подробно описаны в «Методических указаниях по проведению коррозионных обследований» от 1986 года. Применение самописцев позволяет значительно облегчить работу – диаграмма сразу выводится на экран компьютера. Но все равно большинство из нас пытается обойтись без этой процедуры – установка электродов, измерение и сматывание проводов занимают примерно 1 час, за день удастся промерить всего 4-5 точек. Обычно этого достаточно для определения только одной зоны.

Многие ошибочно считают, что зоны натекания и стекания блуждающих токов можно определить путем измерения потенциала трубопровода или бокового градиента. Но это совершенно неправильно. Зоны натекания и стекания могут быть практически рядом, а потенциал трубопровода будет скакать и в 10 километрах от них. Понять причину этого поможет несложная схема.



Блуждающий ток $I_{бт}$, протекая через сопротивление грунта $R_{гр}$, создает падение напряжения $U_{бт}$. Подключим вольтметр к выводу КИП за пределами зоны действия блуждающего тока. Точка установки электрода на земле имеет одновременно омическую связь с трубопроводом через сопротивление грунта R_2 и с источником блуждающего тока через сопротивление грунта R_1 . Поскольку сопротивление трубы пренебрежимо мало, можно считать точку Б подключенной к точке А. В результате получаем эквивалентную схему, в которой сопротивления R_1 и R_2 образуют делитель напряжения. Величина R_2 примерно одинакова во всех точках, а R_1 будет возрастать по мере удаления от зоны действия блуждающего тока. Поэтому размах колебаний U_n от действия блуждающего тока будет уменьшаться по мере удаления от источника блуждающего тока.

$$U_n = U_{бт} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Величина напряжения U_n будет суммироваться с величиной защитного потенциала. Поскольку величина сопротивления R_1 увеличивается медленно, колебания потенциала будут видны на расстоянии 10-20 километров от зоны действия блуждающего тока. Конечно, можно заметить протекание блуждающего тока по боковому градиенту, но это скорее редкая удача, чем система. Ведь при расстоянии 5 метров между электродами величина градиента потенциала от блуждающего тока будет небольшой, к тому же протекание его – процесс случайный. Поэтому рассчитывать, что вы окажетесь в нужном месте в нужное время - не самое разумное занятие.

Помочь в работе могут измерения потенциала на КИП при помощи самописцев. Для этого надо установить несколько самописцев с шагом 2 - 4 км. При синхронном включении, желательно с точностью до секунды, мы получим записи потенциала с разным размахом колебаний. По изменениям размаха и формы кривой можно судить о том, как расположены самописцы относительно зон натекания и стекания тока.

И напоследок позволю себе дать совет: всегда раскладывайте токи на электронную и ионную составляющие. Тогда будете получать забавные картинки, которые помогут понять истинное положение вещей. Например, протекание блуждающего тока выглядит так (во всяком случае, я так думаю):

