

## ОСОБЕННОСТИ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ И СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ

**Рашидов Карим Юсуфович**

<sup>1</sup>с.н.с., Физико-технический институт Академии наук  
Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан  
rashidovkarim78@gmail.com, +99890 984-65-99

**Амиркулов Нуриддин Сайфуллаевич**

<sup>2</sup>доц., к.т.н. Ташкентский государственный технический университет,  
AmirqulovNuriddin@gmail.com +99890 904-12-00

**Облабердиев Сарвар Бахромович**

<sup>2</sup>Ташкентский государственный технический университет,  
sarvaroblaberdiyev3@gmail.com +99890 979-36-46

**Эргашев Жавохир Юлдашович**

<sup>2</sup>Ташкентский государственный технический университет,  
Javohirergashev211002@gmail.com +99890 831-30-07

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены особенности установки катодной защиты трубопроводов от коррозии, технологическая схема электрохимической защиты с протяженными или распределенными анодами, коррозия подземных трубопроводов и защита от неё, особенности установки гальванической защиты подземных металлических сооружений, особенности установки дренажной защиты трубопроводов от коррозии.

### ANNOTATSIYA

Maqolada quvurlarni korroziyadan katodli himoyasini o'rnatishning o'ziga hosliklari, kengaytirilgan yoki taqsimlangan anodlar bilan elektrokimyoviy himoya qilishning texnologik sxemasi, yer osti quvurlarining korroziyasi va undan himoya qilish, yer osti metall inshootlarining galvanik himoyasini o'rnatishning o'ziga hosliklari, quvurlarni korroziyadan drenaj himoyasini o'rnatishning o'ziga hosliklari ko'rib chiqildi qilinadi.

### ABSTRACT

The article considers the features of the installation of cathodic protection of pipelines against corrosion, the technological scheme of electrochemical protection with extended or distributed anodes, corrosion of underground pipelines and protection against it, the features of the installation of galvanic protection of underground metal structures, the features of the installation of drainage protection of pipelines against corrosion.

**Ключевые слова:** катодная защита; анодная защита; гальванический; коррозия; заземление; блуждающие токи.

**Kalit so'zlari:** katodli himoyalash; anodli himoyalash; galvanik; korroziya; yerga ulanish; daydi to'klar.

**Keywords:** cathodic protection; anode protection; galvanic; corrosion; grounding; stray currents.

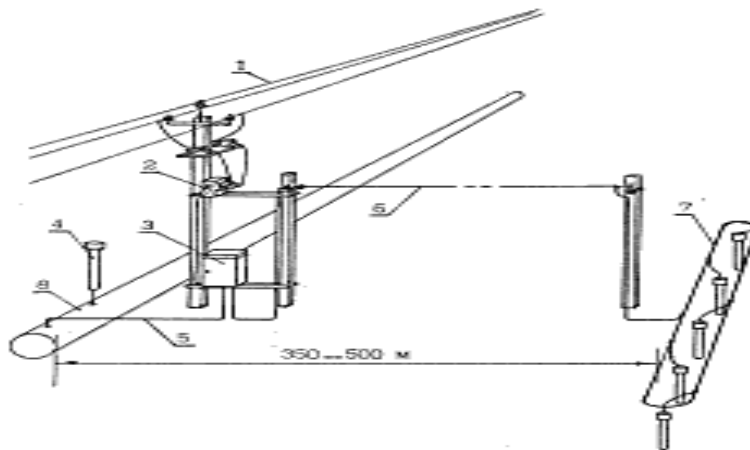
Особенности установки катодной защиты трубопроводов от коррозии

При проектировании трубопроводов особо важным является учитывать противокоррозионную защиту трубопроводов и всей системы в целом от коррозии [11]. Для защиты подземных трубопроводов от коррозии по трассе их залегания сооружаются станции катодной защиты (СКЗ). В состав СКЗ входят источник постоянного тока (защитная установка), анодное заземление, контрольно-измерительный пункт, соединительные провода и кабели [1, 2]. В зависимости от условий защитные установки могут питаться от сети переменного тока 0,4; 6 или 10 кВ или от автономных источников (рис. 1).

### Функциональное назначение

При защите многониточных трубопроводов, проложенных в одном коридоре, на станции катодной защиты (СКЗ) может быть смонтировано несколько установок и сооружено несколько анодных заземлений. В целях экономии защиту нескольких ниток трубопровода можно осуществлять и от одной установки. Однако, учитывая то, что при перерывах в работе системы защиты, из-за разности естественных потенциалов соединенных глухой перемычкой труб, образуются мощные гальванопары, приводящие к интенсивной коррозии, соединение труб с установкой должно осуществляться через специальные блоки совместной защиты. Эти блоки не только разъединяют трубы между собой, но и позволяют устанавливать оптимальный потенциал на каждой трубе. В качестве источников постоянного тока для катодной защиты на СКЗ в основном используются преобразователи, которые питаются от сети 220 В промышленной частоты. Регулировка выходного напряжения преобразователя осуществляется вручную, путем переключения отводов обмотки трансформатора, или автоматически, с помощью управляемых вентилях (тиристоров.). Выпрямление переменного тока осуществляется мостовыми схемами или схемами со средней точкой вторичной обмотки трансформатора. Эти схемы имеют, К.П.Д. от 60 до 75% и остаточную пульсацию выпрямленного тока до 48% при частоте 100 Гц. Преобразователи с ручным регулированием выходного напряжения используются в системах ЭХЗ, в которых сопротивление в цепи тока и требуемый защитный ток остаются неизменными продолжительное время. Если установки катодной защиты работают в условиях, изменяющихся во времени, которые могут обуславливаться воздействием блуждающих токов, изменением удельного сопротивления грунта или другими факторами, то целесообразно предусматривать преобразователи с автоматическим регулированием выходного напряжения. Автоматическое регулирование может осуществляться по потенциалу защищаемого сооружения (преобразователи потенциостаты) или по току защиты (преобразователи гальваностаты).

### Конструкционные особенности



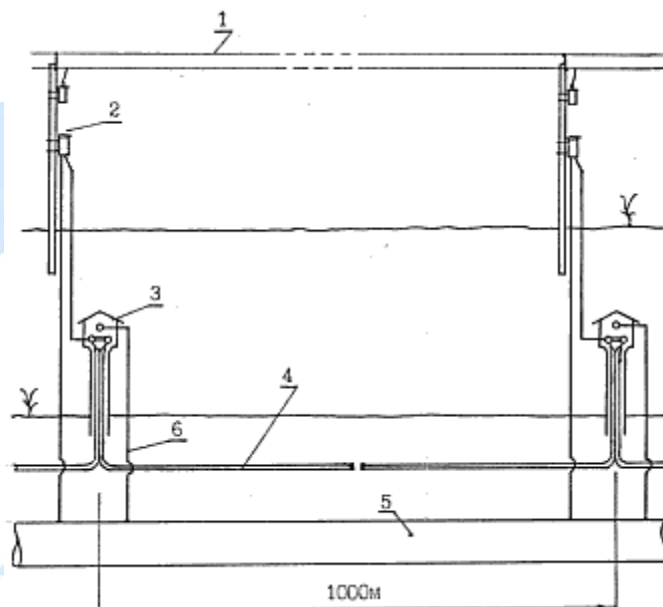
**Рис. 1. Типичное конструктивное исполнение станции катодной защиты [3, 4]**

- 1 – вдоль трассовая воздушная линия 10 кВ, 2 – понижающий трансформатор, 3 – преобразователь, 4 – контрольно-измерительный пункт, 5 – кабельная катодная линия, 6 – воздушная анодная линия, 7 – анодное заземление, 8 – трубопровод.

#### **Технологическая схема электрохимической защиты с протяженными или распределенными анодами**

При применении традиционной схемы катодной защиты распределение защитного потенциала вдоль трубопровода неравномерно. Неравномерность распределения защитного потенциала приводит как к избыточной защите вблизи точки дренажа, т.е. к непроизводительному расходу электроэнергии, так и к уменьшению защитной зоны установки.

Этого недостатка можно избежать используя схему с протяженными или распределенными анодами. В схеме с протяженными анодами (рис.2) используются специальные аноды кабельного типа, состоящие из металлического проводника (жила), покрытого специальной электропроводящей оболочкой из эластомера. Наиболее рациональным является использование протяженных анодов, уложенных по всей длине трубопровода [3, 4].

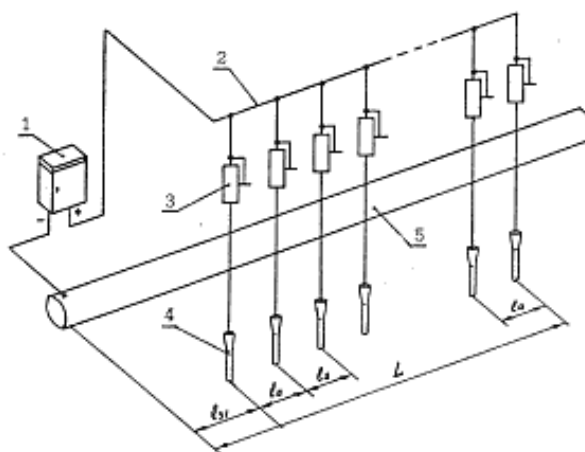


**Рис. 2. Технологическая схема системы ЭХЗ с использованием протяженных анодных заземлений [3, 4].**

1 – вдоль трассовая воздушная линия 10 кВ, 2 - мачтовая станция катодной защиты с преобразователем малой мощности, 3- контрольно-измерительная колонка, 4 - протяженное анодное заземление, 5 - трубопровод, 6 - контрольный вывод от трубы

Технологическая схема ЭХЗ с распределенными анодами позволяет увеличить длину защитной зоны по сравнению со схемой катодной защиты с сосредоточенными анодами, а также обеспечивает более равномерное распределение защитного потенциала. При применении технологической схемы ЭХЗ с распределенными анодами могут использоваться различные схемы размещения анодных заземлений.

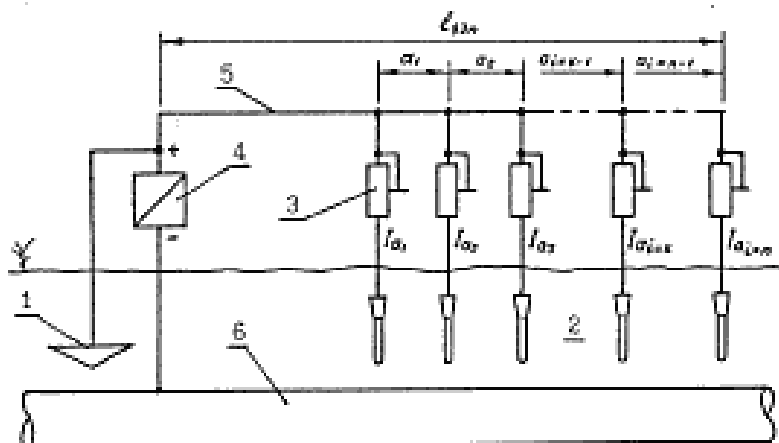
Наиболее простой является схема с анодными заземлениями, равномерно установленными вдоль газопровода (рис.3)



**Рис.3 Технологическая схема системы ЭХЗ с анодными заземлителями, равномерно распределенными вдоль трубопровода.**

1 - преобразователь УКЗ, 2 - воздушная линия постоянного тока, 3 - регулировочные резисторы, 4 - анодные заземлители, 5 - защищаемый трубопровод.

В ряде случаев целесообразно использование комбинированной схемы - сосредоточенные анодные см. рис.4.



**Рис.4. Технологическая схема системы ЭХЗ с комбинированным расположением анодных заземлений**

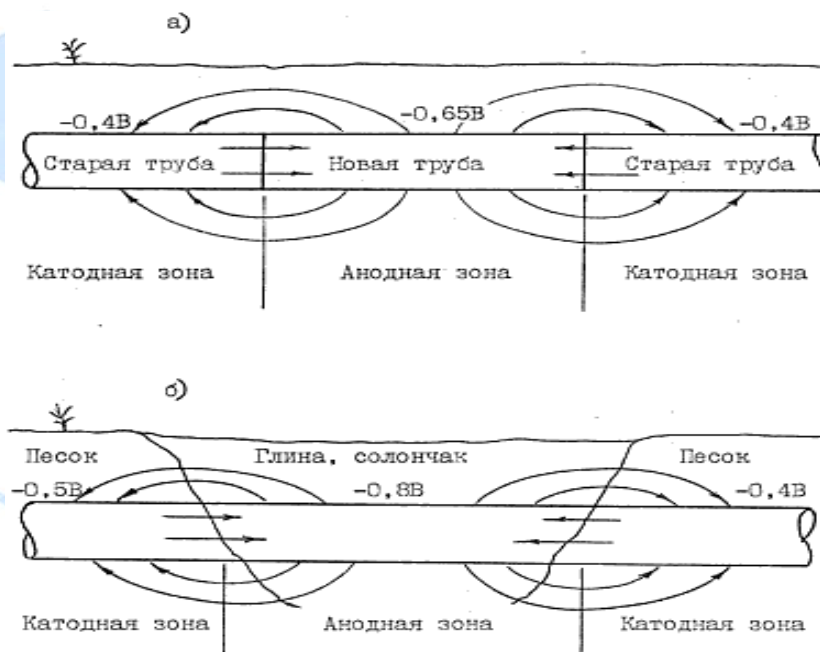
1- основное, сосредоточенное анодное заземление, 2- дополнительное распределенное анодное заземление в месте "провала" защитного потенциала, 3 - регулировочные резисторы, 4 - установка катодной защиты, 5 - воздушная линия постоянного тока, 6 - защищаемый трубопровод.

Регулировка защитного потенциала осуществляется путем изменения тока анодного заземления при помощи регулировочного сопротивления или любого другого устройства, обеспечивающего изменение тока в необходимых пределах. В случае выполнения заземлений из нескольких заземлителей регулировка защитного тока может осуществляться за счет изменения числа включенных заземлителей. В общем случае заземлители, ближайšie к преобразователю, должны иметь более высокое переходное сопротивление.

**Коррозия подземных трубопроводов и защита от неё**

Методы защиты подземных металлических трубопроводов от коррозии подразделяются на пассивные и активные. Коррозия подземных трубопроводов является одной из основных причин их разгерметизации вследствие образования каверн, трещин и разрывов. Коррозия металлов, т.е. их окисление – это переход атомов металла из свободного состояния в химически связанное, ионное. При этом атомы металла теряют свои электроны, а окислители их принимают см. рис.5, [5, 6, 7].





**Рис. 5. Схема защиты подземных металлических трубопроводов**

На подземном трубопроводе за счет неоднородности металла трубы и гетерогенности грунта (как по физическим свойствам, так и по химическому составу) возникают участки с различным электродным потенциалом, что обуславливает образование гальванических коррозионных элементов (рис.5 и рис.6). Важнейшими видами коррозии являются: поверхностная (сплошная по всей поверхности), местная в виде раковин, язвенная (питтинговая), щелевая, межкристаллитная и усталостное коррозионное растрескивание. Два последних вида коррозии представляют наибольшую опасность для подземных трубопроводов. Поверхностная коррозия лишь в редких случаях приводит к повреждениям, тогда как по причине язвенной коррозии происходит наибольшее число повреждений. Коррозионная ситуация, в которой находится металлический трубопровод в грунте, зависит от большого количества факторов, связанных с грунтовыми и климатическими условиями, особенностями трассы, условиями эксплуатации. К таким факторам относятся:

- влажность грунта,
- химический состав грунта,
- кислотность грунтового электролита,
- структура грунта,
- температура транспортируемого газа.

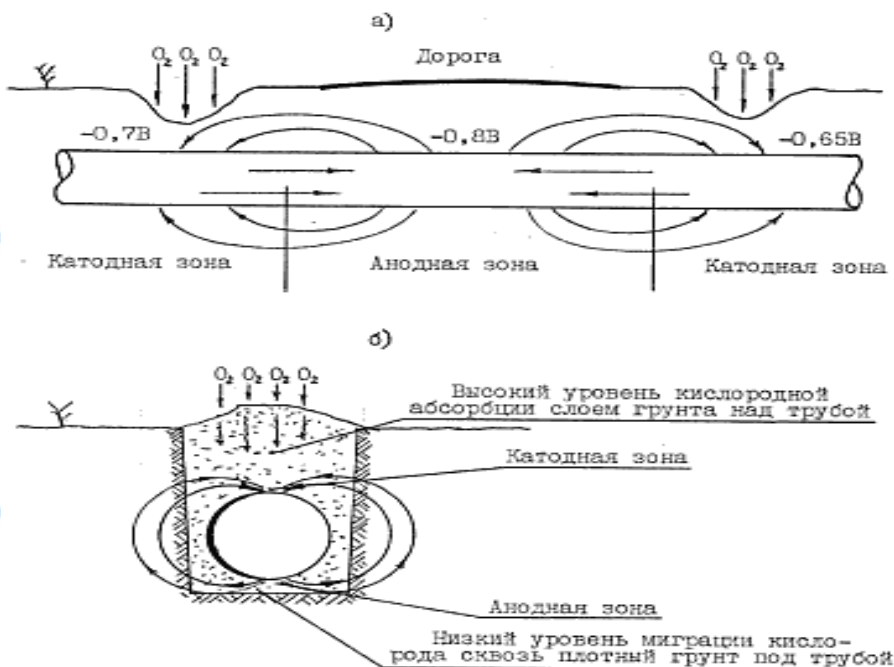


Рис. 6. Схема защиты подземных металлических трубопроводов.

Наиболее сильным отрицательным проявлением блуждающих токов в земле, вызываемое электрифицированным рельсовым транспортом постоянного тока, является электрокоррозионное разрушение трубопроводов. Иллюстрация возникновения блуждающих токов и влияния их на трубопровод приведена на рис.7.

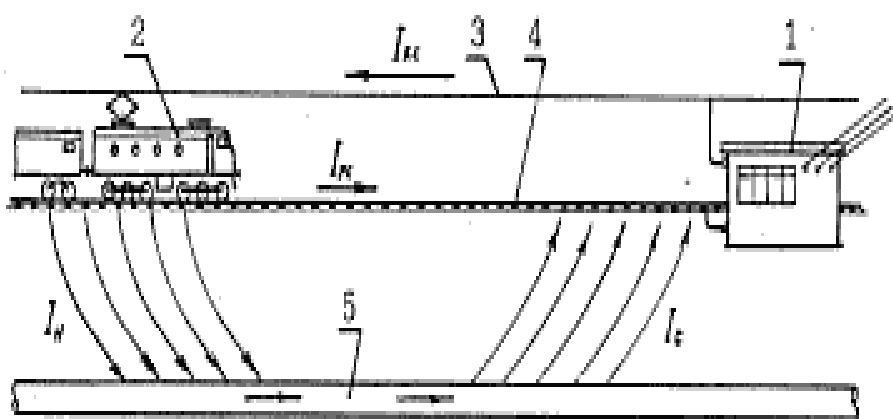


Рис. 5. Схема возникновения блуждающих токов на железной дороге с электрической тягой на постоянном токе

1 - тяговая подстанция, 2 - нагрузка, 3 - контактная сеть, 4 - ходовая рельсовая сеть, 5 – трубопровод  $I_{кc}$  - ток в контактной сети,  $I_{рс}$  - ток в ходовой рельсовой сети,  $I_{н}$  - натекающий ток на трубопровод,  $I_{с}$  - стекающий ток с трубопровода.

Интенсивность блуждающих токов и их влияние на подземные трубопроводы зависит от таких факторов, как:

- переходное сопротивление рельс-земля;
- продольное сопротивление ходовых рельсов;
- количество поездов на перегоне;
- расстояние между тяговыми подстанциями;
- потребление тока электропоездами;
- число и сечение отсасывающих линий;
- удельное электрическое сопротивление грунта;
- расстояние и расположение трубопровода относительно пути;
- переходное и продольное сопротивление трубопровода.

### **Методы защиты подземных металлических трубопроводов от коррозии подразделяются на пассивные и активные.**

Пассивный метод защиты от коррозии предполагает создание непроницаемого барьера между металлом трубопровода и окружающим его грунтом. Это достигается нанесением на трубу специальных защитных покрытий (битум, каменноугольный пек, полимерные ленты, эпоксидные смолы). На практике не удается добиться полной сплошности изоляционного покрытия. Различные виды покрытия имеют различную диффузионную проницаемость и поэтому обеспечивают различную изоляцию трубы от окружающей среды. В процессе строительства и эксплуатации в изоляционном покрытии возникают трещины, задиры, вмятины и другие дефекты. Наиболее опасными являются сквозные повреждения защитного покрытия, где, практически, и протекает грунтовая коррозия. Так как пассивным методом не удается осуществить полную защиту трубопровода от коррозии, одновременно применяется активная защита, связанная с управлением электрохимическими процессами, протекающими на границе металла трубы и грунтового электролита. Такая защита носит название комплексной защиты.

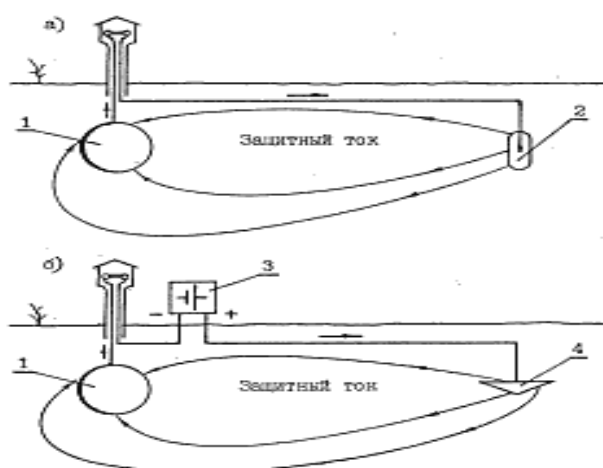
Активный метод защиты от коррозии осуществляется путем катодной поляризации и основан на снижении скорости растворения металла по мере смещения его потенциала коррозии в область более отрицательных значений, чем естественный потенциал. В 1928 году Роберт Кун опытным путем установил, что величина потенциала катодной защиты стали составляет минус 0,85 Вольт относительно медносульфатного электрода сравнения. Так как естественный потенциал стали в грунте примерно равен -0,55 - 0,6 Вольта, то для осуществления катодной защиты необходимо сместить потенциал коррозии на 0,25 - 0,30 Вольта в отрицательную сторону. Прилагая между поверхностью металла трубы и грунтом электрический ток, необходимо достигнуть снижения потенциала в дефектных местах изоляции трубы до значения ниже критерия защитного потенциала, равного 0,85 В. В результате этого скорость коррозии снимется до 10 мкм в год, утрачивая при этом практическое значение. [8, 9, 10].



**Катодную защиту трубопроводов можно осуществить двумя методами:**

- применением магниевых жертвенных анодов-протекторов (гальванический метод);
- применением внешних источников постоянного тока, минус которых соединяется с трубой, а плюс - с анодным заземлением (электрический метод).

В основу гальванического метода положен тот факт, что различные металлы в электролите имеют различные электродные потенциалы. Если образовать гальванопару из двух металлов и поместить их в электролит, то металл с более отрицательным потенциалом станет анодом и будет разрушаться, защищая, тем самым, металл с менее отрицательным потенциалом (рис.8 а).



**Рис. 8. Принцип катодной защиты**

а) с помощью гальванических жертвенных анодов, б) с помощью поляризации от источника постоянного тока.

1 - заложённый в грунт трубопровод, 2 - гальванический жертвенный анод, 3 - источник постоянного тока, 4 - малорастворимый анод.

На практике в качестве жертвенных гальванических анодов используются протекторы из магниевых, алюминиевых и цинковых сплавов. Применение катодной защиты с помощью протекторов эффективно только в низкоомных грунтах (до 50 Ом-м). В высокоомных грунтах такой метод необходимой защищенности не обеспечивает. Катодная защита внешними источниками тока более сложная и трудоемкая, но она мало зависит от удельного сопротивления грунта и имеет неограниченный энергетический ресурс (рис.8. б). В качестве источников постоянного тока, как правило, используются преобразователи различной конструкции, питающиеся от сети переменного тока. Преобразователи позволяют регулировать защитный ток в широких пределах, обеспечивая защиту трубопровода в любых условиях. В качестве источников питания установок катодной защиты используются воздушные линии 0,4; 6; 10 кВ, а также автономные источники: дизельгенераторы, термогенераторы,

газогенераторы и другие. Защитный ток, накладываемый на трубопровод от преобразователя и создающий разность потенциалов "труба-земля", распределяется неравномерно по длине трубопровода. Поэтому максимальное по абсолютной величине значение этой разности находится в точке подключения источника тока (точке дренажа). По мере удаления от этой точки разность потенциалов "труба-земля" уменьшается. Чрезмерное завышение разности потенциалов отрицательно влияет на адгезию покрытия и может вызвать наводороживание металла трубы, что может стать причиной водородного растрескивания. Снижение разности потенциалов не обеспечивает защиту от коррозии и, в определенном диапазоне, может способствовать коррозионному растрескиванию под напряжением. Анодная защита является одним из методов борьбы с коррозией металлов в агрессивных химических средах. Она основана на переводе металла из активного состояния в пассивное и поддержании этого состояния при помощи внешнего анодного тока. Катодная защита высоколегированных сталей в сильных кислотах невозможна. В противоположность катодной защите при анодной защите имеются только узко ограниченные области защитных потенциалов, в которых возможна защита от коррозии. [8, 9, 10].

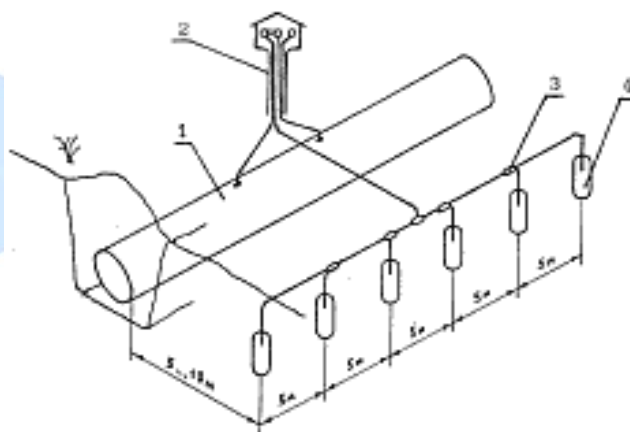
### **Особенности установки гальванической защиты подземных металлических сооружений**

Установки гальванической защиты (протекторные установки) применяются для катодной защиты подземных металлических сооружений в тех случаях, когда применение установок, питающихся от внешних источников тока, экономически не целесообразно: отсутствие линий электропитания, небольшая протяженность объекта и т.п. см. рис.9 и рис.10.

Обычно протекторные установки применяются для катодной защиты следующих подземных сооружений:

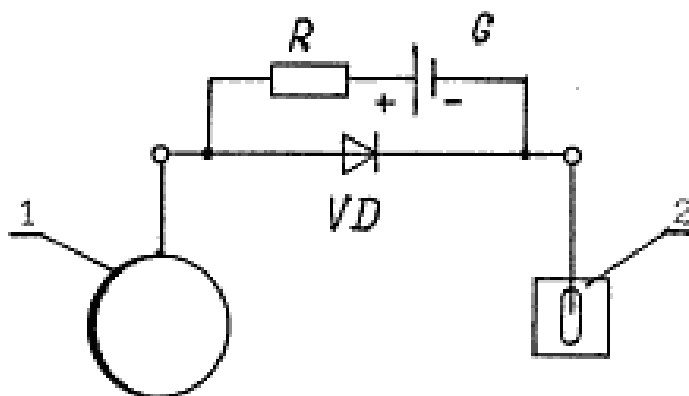
- резервуаров и трубопроводов, не имеющих электрических контактов со смежными протяженными коммуникациями; отдельных участков трубопроводов, которые не обеспечиваются достаточным уровнем защиты от преобразователей; участков трубопроводов, электрически отсеченных от магистрали изолирующими соединениями; стальных защитных кожухов (патронов), подземных резервуаров и емкостей, стальных опор и свай и других сосредоточенных объектов; линейной части строящихся магистральных трубопроводов до введения в строй установок постоянной катодной защиты.

Достаточно эффективную защиту протекторными установками можно осуществить в грунтах с удельным электросопротивлением не более 50 Ом.



**Рис. 9. Схема протекторной установки.**

1 - трубопровод, 2 - контрольно-измерительная колонка,  
3 - соединительные муфты, 4 – протектор.

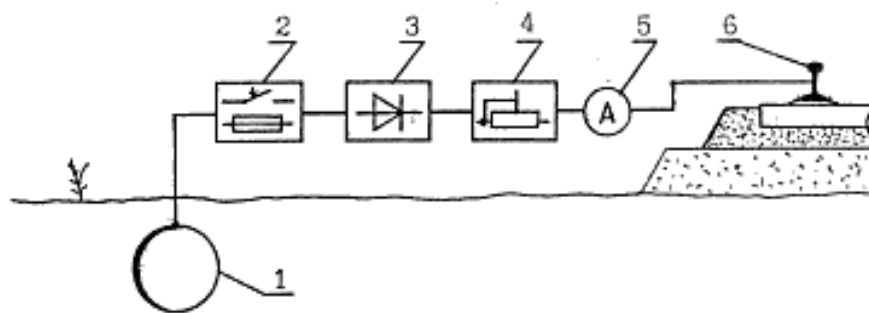


**Рис.10. Принципиальная схема протекторной установки со смещенным порогом открывания диода 0,3 В.**

1 - защищаемый трубопровод, 2 - протекторная установка, R - резистор МЛТ-0,25 ЗОК, G - сухой элемент 373 1,5В, VD- кремниевый.

### **Особенности установки дренажной защиты трубопроводов от коррозии**

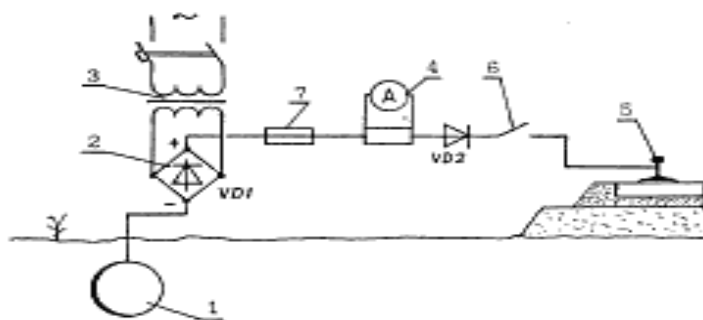
Электрический дренаж является наиболее простым, не требующим источника тока видом активной защиты, так как трубопровод электрически соединяется с тяговыми рельсами источника блуждающих токов см. рис.11.



**Рис. 11. Конструктивное исполнение схемы дренажной защиты.**

1 - трубопровод, 2 - устройство защиты от максимальных токов, 3 - поляризованный элемент, 4 - устройство для регулирования тока, 5 - амперметр с шунтом, 6 - рельсовая сеть электрифицированной железной дороги

Как правило, в качестве защитного устройства используется плавкие предохранители, однако находят применение и автоматические выключатели максимальной нагрузки с возвратом, то есть восстанавливающие цепь дренажа после спада опасного для элементов установки тока. В качестве поляризованного элемента используются вентиляные блоки, собранные из нескольких, соединенных параллельно лавинных кремниевых диодов. Выбор класса диодов (по обратному напряжению) осуществляется, исходя из величины импульса обратного напряжения на железных дорогах, который может достигать 1000 В. Регулирование тока в цепи дренажа осуществляется изменением сопротивления в этой цепи путем переключения активных резисторов. Дренажи выпускаются в исполнении от десятков до нескольких сотен ампер. Если применение поляризованных электродренажей неэффективно, то используется усиленные (форсированные) электродренажи, представляющие собой установку катодной защиты, в качестве анодного заземлителя которой используются рельсы электрифицированной железной дороги (см.рис. 12.) [5 -10].



**Рис. 12. Конструктивное исполнение схемы усиленного дренажа.**

1 - трубопровод, 2 - выпрямитель, 3 – трансформатор, 4 - амперметр с шунтом, 5 - рельсовая сеть электрифицированной железной дороги, 6 - рубильник, 7 - предохранитель.



В качестве источника постоянного тока может использоваться серийно выпускаемые преобразователи или специальные установки. Необходимо учитывать то обстоятельство, что цепь постоянного тока преобразователя обтекается, кроме выпрямленного тока, еще и блуждающими токами - дренажной составляющей тока защиты, поэтому элементы этой цепи должны быть рассчитаны на ток, больший, чем ток выпрямителя. Поскольку диоды выпрямителя, одновременно выполняющие функции поляризованного-элемента схемы дренажа, не всегда соответствуют приведенным выше требованиям по обратному напряжению, в схему установки включаются дополнительные вентили (см. рис. 12), предупреждающие повреждение схемы преобразователя напряжением рельс-труба. Ток форсированного дренажа, работающего в режиме катодной защиты, не должен превышать 100А, и применение его не должно приводить к появлению положительных потенциалов рельсов относительно земли, чтобы исключить коррозию рельсов и рельсовых скреплений, а также присоединенных к ним конструкций. Электродренажную защиту допускается подключать к рельсовой сети непосредственно лишь к средним точкам путевых дроссель-трансформаторов через два на третий дроссельный пункт. Более частое подключение допускается, если в цепи дренажа включено специальное защитное устройство. В качестве такого устройства может быть использован дроссель, полное входное сопротивление которого сигнальному току системы СЦБ магистральных железных дорог частотой 50 Гц составляет не менее 5 Ом.

### **ВЫВОДЫ**

1. Приведены и рассмотрены особенности установки катодной защиты трубопроводов от коррозии;
2. Приведены и рассмотрены особенности технологической схемы электрохимической защиты с протяженными и распределенными анодами;
3. Приведена и защита от коррозии подземных трубопроводов;
4. Приведены и рассмотрены особенности установки гальванической защиты подземных металлических сооружений;
5. Рассмотрены особенности установки дренажной защиты трубопроводов от коррозии.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Зарубина, Л.П. Защита зданий, сооружений, конструкций и оборудования от коррозии. Биологическая защита. Материалы, технологии, инструменты и оборудование. / Л.П. Зарубина. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. - 224 с.
2. Зарубина, Л.П. Защита зданий, сооружений, конструкций и оборудования от коррозии. Биологическая защита. Материалы, технологии, инструменты и оборудование / Л.П. Зарубина. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. - 224 с.
3. Мустафин, Ф.М. Защита трубопроводов от коррозии. В 2-х книгах. Том 2 / Ф.М. Мустафин, Л.И. Быков и др. - М.: Недра, 2007. - 708 с.
4. Мустафин, Ф.М. Защита трубопроводов от коррозии. В 2-х книгах. Т 1 / Ф.М. Мустафин, М.В. Кузнецов и др. - М.: Недра, 2005. - 620 с.
5. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии: Учебное пособие / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 416 с.



6. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии 2010: Учебное пособие / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. - М.: Физматлит, 2010. - 416 с.
7. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. - М.: Физматлит, 2010. - 416 с.
8. Скороходов, В.Д. Защита неметаллических строительных материалов от биокоррозии. / В.Д. Скороходов. - М.: Высшая школа, 2004. - 204 с.
9. Хайдерсбах, Р. Защита от коррозии и металловедение оборудования для добычи нефти и газа / Р. Хайдерсбах. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2014. - 416 с.
10. Шевченко, А.А. Химическое сопротивление неметаллических материалов и защита от коррозии / А.А. Шевченко. - М.: КолосС, 2006. - 248 с.
11. У.Х.Турсунова, К.Ю.Рашидов. «Проектирование и строительство газонефтепроводов». Учебное пособие. Ташкентский архитектурно-строительный институт (ТАСИ). Ташкент -2007 г.