

*Сагадеев И.Г.*

*студент*

*2 курс, факультет «Институт Нефтегазового Инжиниринга и*

*Цифровых Технологий»*

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

*Россия, г. Уфа*

## **ЭЛЕКТРОДРЕНАЖАЯ ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

**Аннотация:** *Статья посвящена исследованию и анализу электродренажной защиты как одного из ключевых методов борьбы с коррозией подземных металлических конструкций, вызванной воздействием блуждающих токов. Блуждающие токи, возникающие в результате работы электрифицированного транспорта, промышленных установок и других источников постоянного тока, представляют серьезную угрозу для целостности трубопроводов, кабелей и других металлических объектов.*

**Ключевые слова:** *защита, защита от коррозии, блуждающие токи, дренажная защита, катодная, протекторная защита.*

**Annotation:** *The article is devoted to the study and analysis of drainage protection as one of the key methods of combating corrosion of underground metal structures caused by stray currents. Stray currents resulting from the operation of electrified transport, industrial installations and other direct current sources pose a serious threat to the integrity of pipelines, cables and other metal objects.*

**Key words:** *corrosion protection, stray earth currents, drainage system, cathodic protection, sacrificial protection.*

В настоящее время в нефтегазовой отрасли одной из актуальных проблем является электрохимическая коррозия, вызванная воздействием постоянных блуждающих токов. Эти токи возникают из-за утечек электричества с электроустановок, линий электропередачи или рельсового транспорта, где рельсы используются как обратный провод. Величина и распределение блуждающих токов на объектах непостоянны и зависят от множества факторов, таких как состояние железнодорожных путей, сопротивление изоляции трубопроводов, интенсивность движения поездов и их загрузка.

Отсутствие точной информации о местах стекания токов с трубопроводов приводит к авариям, связанным с разгерметизацией газо- и нефтепроводов. В некоторых случаях токи дренажа достигают значительных величин (до 200–300 А), что при наличии даже небольших дефектов в изоляционном покрытии вызывает быстрое образование сквозных коррозионных повреждений.

Точки дренажа, как правило, определяются на этапе проектирования трубопроводов и в дальнейшем не корректируются, хотя в процессе эксплуатации возникают новые дефекты изоляции, которые становятся потенциальными местами стекания токов. Катодная защита зачастую не справляется с возникающими перепадами потенциалов, что усугубляет проблему.

Основная сложность заключается в отсутствии эффективных методов локализации точек стекания токов, их измерения и мониторинга, что необходимо для прогнозирования коррозионного состояния трубопроводов. Выявление дефектов изоляции, определение их размеров и величины стекающих токов позволили бы оценить степень коррозии, глубину повреждений и их влияние на напряженно-деформированное состояние трубопровода, особенно на участках, где не проводится внутритрубная диагностика.

Блуждающие токи возникают из-за утечек электричества в землю и могут распространяться на значительные расстояния (до десятков километров) в зависимости от электропроводности грунта. Наибольшую опасность представляют постоянные токи, особенно в системах рельсового транспорта (электрифицированные железные дороги, трамваи, метрополитен), где до 10–30% тока может утекать в землю.

Участки, где токи переходят из земли в металлические конструкции, называются катодными зонами и считаются безопасными. В то же время участки, где токи стекают с сооружений в землю (анодные зоны), подвержены интенсивной электрокоррозии. В таких зонах металл разрушается, что может привести к выходу трубопроводов из строя всего за несколько лет. Например, при утечке тока с поверхности стальной трубы ежегодно может растворяться до 9,12 кг металла.

Для борьбы с этим явлением специалисты проводят электроразведку с использованием специализированного оборудования. Коррозионные измерения для оценки воздействия блуждающих токов рекомендуется выполнять каждые 6 месяцев, а также после значительных изменений в работе систем электроснабжения. Это позволяет своевременно выявлять и устранять опасные участки, предотвращая аварии и продлевая срок службы подземных сооружений.

### **Защита коммуникаций от воздействия блуждающих токов**

Меры по защите подземных сооружений от негативного влияния блуждающих токов можно разделить на пассивные и активные:

## **Пассивные методы защиты**

### 1. Снижение токов утечки:

- Уменьшение блуждающих токов достигается за счет повышения проводимости рельсовых путей и увеличения переходного сопротивления между рельсами и землей.

- Для улучшения проводимости используются рельсы тяжелых типов и бесстыковые пути.

- Для увеличения переходного сопротивления рельсы укладывают на щебеночный или гравийный балласт.

### 2. Применение антикоррозийных покрытий:

- На трубопроводы наносят дополнительные защитные покрытия, такие как экструдированный полиэтилен, резинобитумные материалы и другие.

### 3. Использование полиэтиленовых труб:

- Полиэтиленовые трубы обладают низкой электропроводностью, что значительно снижает риск коррозии, вызванной блуждающими токами.

## **Активные методы защиты**

Активные меры направлены на создание электрического режима, при котором коррозия сооружений прекращается. К ним относятся:

### 1. Катодная защита:

- Участок трубопровода (длиной 2–15 км) превращается в катод путем подключения к источнику тока (генератору или аккумулятору).

- Отрицательный полюс источника подключается к трубопроводу, а положительный — к заземлению (аноду), которое разрушается под действием тока.

- Не рекомендуется использовать катодную защиту в солончаковых грунтах или засоленных водоемах.

2. Анодная (протекторная) защита:

- Трубопровод соединяется с протектором (алюминиевой, цинковой или магниевой пластиной), образуя гальванический элемент.

- Разрушению подвергается протектор, а не трубопровод, так как его электродный потенциал ниже.

3. Электрическая дренажная защита:

- Блуждающие токи отводятся с трубопровода на объекты, создающие эти токи (рельсы, шины тяговых подстанций).

- Для этого используются дренажные устройства, включающие плавкие предохранители, реостаты и измерительные приборы.

### **Комплексная защита**

Для защиты трубопроводов в системах водоснабжения и водоотведения часто применяется комбинированный подход: использование изоляционных покрытий вместе с электрохимической защитой. Эффективность такой защиты зависит от правильного выбора и размещения средств, что требует проведения специальных расчетов и технико-экономического анализа.

### **Опасность блуждающих токов**

Блуждающие токи вызывают электрохимическую коррозию, которая значительно опаснее обычной коррозии. На участках, где токи стекают с трубопровода (анодные зоны), металл разрушается с высокой скоростью. При этом на катодных зонах, где токи натекают на трубопровод, может наблюдаться чрезмерная поляризация, что также негативно влияет на изоляцию.

## Источники блуждающих токов

Основными источниками блуждающих токов являются системы, работающие на постоянном токе:

- Электрифицированные железные дороги (магистральные и пригородные).
- Трамваи, промышленный и карьерный транспорт.
- Утечки тока происходят из-за неидеальной изоляции рельсов и оборудования, что приводит к натеканию тока на трубопроводы и другие металлические сооружения.

Для предотвращения коррозии и обеспечения долговечности подземных коммуникаций необходимо своевременно выявлять и устранять источники блуждающих токов, а также применять комплексные меры защиты.

Появление блуждающих токов связано с утечкой постоянного тока с оборудования и натекание его на трубопровод. В случае с электрифицированными ЖД, происходит стекание тока с рельсов в грунт при движении составов. Ток, попав в грунт возвращается на тяговую подстанцию по пути наименьшего сопротивления в том числе и металлическим сооружениям. При этом на трубопроводе возникают анодные и катодные зоны как показано на рисунке 1.

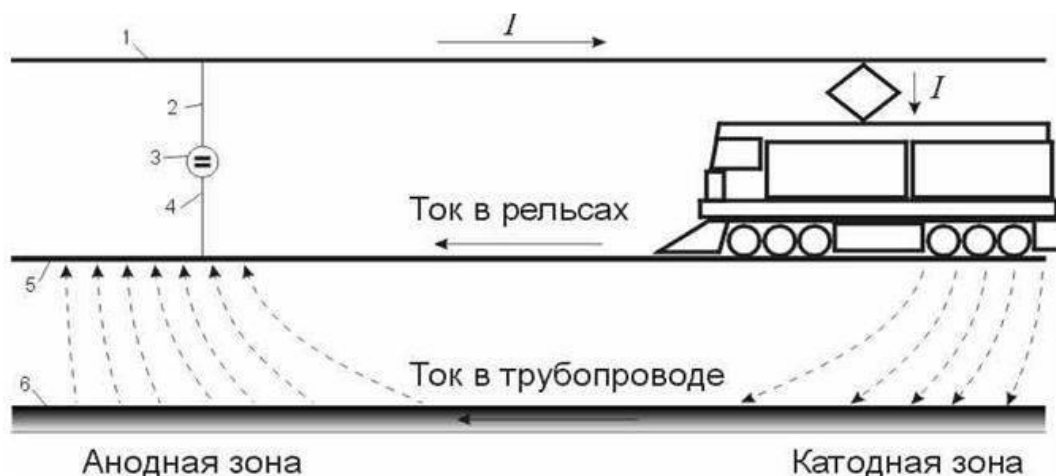


Рисунок 1. Схема движения тягового тока по защищаемому сооружению

## Методы диагностирования

Одним из методов диагностики подземных трубопроводов, регламентированных государственными стандартами, является долговременное измерение защитных потенциалов на трубопроводе. Этот метод включает в себя обследование технического состояния станций дренажной защиты, а также параллельное измерение потенциалов на рельсах и трубопроводе. В ходе детальных обследований определяют направление движения тока по трубопроводу и локализуют источники блуждающих токов.

Долговременные измерения выполняются в контрольно-измерительных пунктах, колодцах и шурфах. Для этого измерительный прибор подключают положительной клеммой к трубопроводу, а отрицательной — к электроду сравнения. В качестве электрода сравнения обычно используется неполяризующийся медно-сульфатный электрод. Однако в зонах с интенсивным воздействием блуждающих токов, где амплитуда колебаний потенциала превышает 0,5 В, допускается применение стальных электродов вместо медно-сульфатных.

Этот метод позволяет получить точные данные о состоянии трубопровода, выявить участки с повышенной коррозионной активностью и определить источники блуждающих токов, что необходимо для разработки эффективных мер защиты.

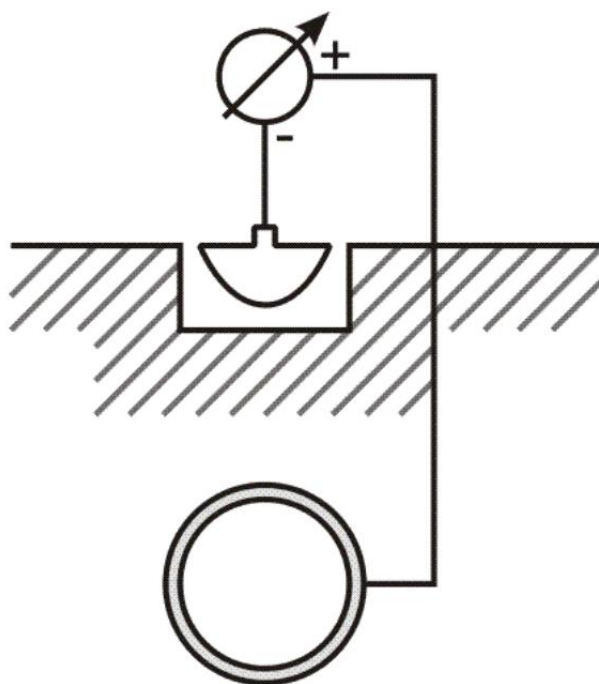


Рисунок 2. Схема измерения блуждающих токов в трубопроводе

Перед началом диагностических работ необходимо определить стационарный потенциал подземного сооружения. Для этого проводят непрерывные измерения и регистрацию разности потенциалов между сооружением и медно-сульфатным электродом сравнения при отключенных средствах электрохимической защиты. Измерения продолжаются до тех пор, пока не будет выявлено значение потенциала, которое практически не изменяется во времени (колебания не превышают 0,04 В).

Для повышения точности измерений рекомендуется проводить их в периоды, когда отсутствует движение электрифицированного транспорта, например, ночью, чтобы исключить влияние блуждающих токов. Стационарный потенциал сооружения определяется как среднее значение измеренных потенциалов при условии, что разница между ними не превышает 0,04 В. Этот этап является важным для получения достоверных данных о состоянии подземного сооружения перед проведением дальнейших работ.

## Критерии оценки опасности блуждающих токов

Критерий оценки опасности воздействия блуждающих токов в настоящее время ограничивается определением допустимых значений изменения потенциала на трубопроводе, что позволяет судить лишь об эффективности электрохимической защиты от коррозии. Современная методика основывается на долговременной регистрации потенциала сооружения и последующем анализе полученных данных. Опасным считается ситуация, когда потенциал смещается ниже допустимых значений в общей сложности на 4 минуты в сутки.

Л.И. Фрейман, рассматривая эту проблему, предлагает использовать другие критерии оценки опасности блуждающих токов, которые позволят напрямую оценить их воздействие через **\*\*скорость коррозии\*\***. Одним из таких методов, предложенных Фрейманом, является **\*\*кулонометрическое измерение\*\*** на электродах-имитаторах, которые моделируют сквозные дефекты в изоляционном покрытии трубопровода.

На основе расчетов смещения потенциала, соответствующего допустимой скорости коррозии, автор метода вывел зависимость, которая представлена на рисунке 3. Этот подход позволяет более точно оценить реальную угрозу, которую представляют блуждающие токи, и разработать более эффективные меры защиты.

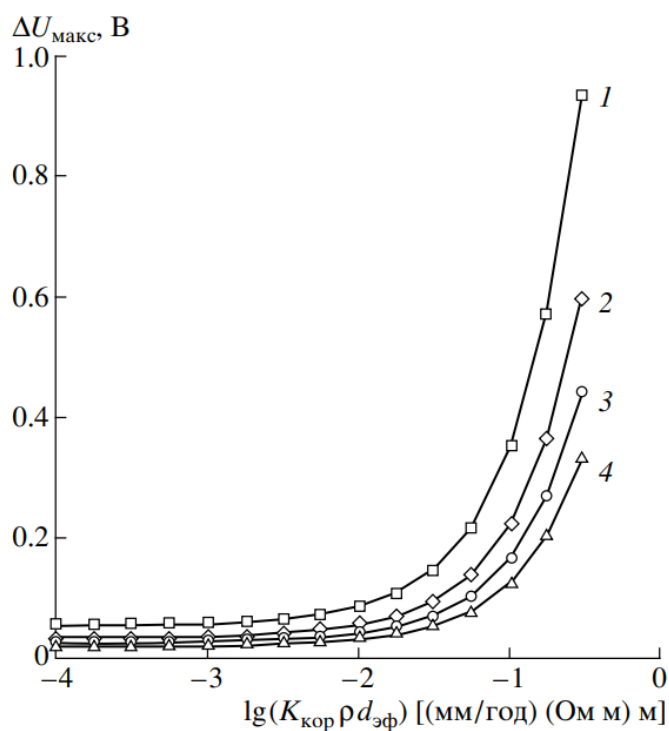


Рисунок 3 Зависимость максимально допустимого значения  $\Delta U$  от скорости свободной коррозии  $K_{корп}$  (мм/год), удельного сопротивления грунта  $\rho$  (Ом м) и эффективного размера дефекта  $d_{эф}$  (м).

Таким образом опасная разность  $\Delta U$  изменяется в широких пределах от 20 мВ до 900 мВ.

Этот метод позволяет наиболее точно оценить критерий опасности блуждающих токов, установленный государственными стандартами. Однако для его применения требуется предварительная работа по сбору исходных данных, одной из ключевых задач которой является определение стационарного потенциала трубопровода.

Интенсивность блуждающих токов (БТ) зависит от множества факторов, среди которых основными являются:

Удельное сопротивление грунта.

Переходное сопротивление между сооружением и землей.

Сила тока, стекающего с источника БТ в грунт.

Расстояние до источника блуждающих токов.

В работе [3] автор проводит теоретический анализ влияния геомагнитно-индуцированных блуждающих токов на коррозию трубопроводов. Рассматривая анодную электрохимическую реакцию, в которой участвует количество электричества  $dQ$ , автор определяет массу растворенного металла  $dm$  в соответствии с законом Фарадея. Этот подход позволяет количественно оценить коррозионные процессы, вызванные блуждающими токами, и предложить меры для их минимизации.

$$dm = \frac{M_m}{Z_m F} dQ$$

где  $M_m$  — атомная масса металла;

$Z_m$  — валентность (заряд) участвовавших в реакции ионов металла;

$F$  — постоянная Фарадея.

Плотность тока анодной электрохимической реакции  $j_a$  определяется следующим образом:

$$j_a = \frac{dQ}{s dt}$$

где  $s$  — площадь поверхности, на которой протекает реакция;

$dt$  — продолжительность реакции.

Масса растворенного металла  $dm$  связывается с уменьшением толщины корродирующего образца  $dh$  следующим образом [18]:

$$dm = s \rho_m dh$$

где  $\rho_m$  — плотность металла.

## Использованные источники

1. Фрейман Л. И. О критериях опасности коррозии подземных стальных трубопроводов, вызываемой блуждающими токами / Л. И. Фрейман // Защита металлов. – 2003. – Т. 39. – № 2. – С. 194. – EDN ONKZWF.
2. Методы исследования коррозии оборудования нефтегазового комплекса: учеб. пособие / Черепашкин С.Е., Латыпов О.Р., Кравцов В.В. - Уфа: ООО «Монография», 2016. - 104 с.
3. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов/ Н.П. Жук - М.: Металлургия, 1976. - 475 с.
4. Большая энциклопедия транспорта Т.4. Железнодорожный транспорт. М., Большая Российская энциклопедия, 2003. – 1040 с.
5. Солнцев, Ю.П. Материаловедение и технология металлов: Учебное пособие /Солнцев Ю.П. –СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. - 784 с.
6. Методы коррозионных исследований: Учебное пособие / Черепашкин С.Е., Латыпов О.Р., Кравцов В.В. - Уфа: РИЦ УГНТУ, 2014. - 86 с.
7. Биргер И.А. Остаточные напряжения / Биргер И.А. -М.: Машгиз, 1963. - 232 с.
8. Соколов И.А. Остаточные напряжения и качество металлопродукции / Соколов И.А., Уральский В.И. – М.:Металлургия, 1981.- 96 с.
9. ГОСТ 9.908-85 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.
10. ГОСТ 12.3.004-75 ССБТ. Термическая обработка металлов. Общие требования безопасности.

11. Тетельмин В.В. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе: Учебное пособие /Тетельмин В.В., В.А Язев- Долгопрудный: Интеллект, 2009. - 352 с.

12. Исаев Н.И. Теория коррозионных процессов / Исаев Н.И. - М.: Металлургия, 1997. -360 с.

13. Логан Х.Д. Коррозия металлов под напряжением / Логан Х.Д. - М.: Металлургия, 1970. - 340 с.

14. Поздеев А.А. Остаточные напряжения: Теория и приложения / Поздеев А.А., Няшин Ю.И., Трусов П.В. - М.: Наука, 1982.- 232 с.