

Оценка опасности коррозии переменным током при проектировании и строительстве магистральных трубопроводов

К.Л. Шамшетдинов

Кандидат технических наук, заместитель заведующего лабораторией технологии и технических средств электрохимической защиты ООО «Институт ВНИИСТ», Москва



Н.П. Глазов

Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ООО «Институт ВНИИСТ», Москва



М.А. Башаев

Кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник ООО «Институт ВНИИСТ», Москва



А.В. Гончаров

Кандидат технических наук, научный сотрудник ООО «Институт ВНИИСТ», Москва



В.В. Радченко

Инженер, «Каспийский трубопроводный консорциум», Москва



С развитием трубопроводного транспорта и сетей электроснабжения растет количество участков, на которых магистральные трубопроводы (МТ) и высоковольтные линии электропередачи выше 110 кВ (ВЛ) расположены на близком расстоянии (параллельное следование, пересечения, сближения). При этом ВЛ может оказывать как индуктивное, так и кондуктивное влияние на МТ. В результате в цепи «МТ–окружающий грунт» протекает переменный ток. В зависимости от ряда параметров (например, взаиморасположение ВЛ и МТ, качество изоляции, параметры ВЛ, удельное электрическое сопротивление грунта и т. п.) величина тока может достигать значений, представляющих коррозионную опасность.

Если в заводской изоляции появился дефект, например, на стадии строительства, то под действием критического переменного тока коррозия в этом дефекте усиливается. Особая опасность этого вида коррозии заключается в образовании локальных дефектов (питтингов и язв) с высокой скоростью разрушения металла (до 10 мм/год при средней скорости 1–2 мм/год). Если параметры индуцированного тока превышают критические значения, коррозионные процессы протекают и при наличии катодной защиты.

Непосредственным критерием опасности является фактическая скорость коррозии трубопровода либо контрольных образцов, закопанных на опасном участке.

Однако для получения таких данных должно пройти продолжительное время. В отсутствии этой информации, например, на стадии строительства или в первые годы эксплуатации, следует пользоваться критериями, приведенными в **таблице 1**.

Критическое значение переменного напряжения «труба–земля» $U_{\text{кр}}$, В, определяется по формуле:

$$U_{\text{кр}} = \frac{\pi}{8} \rho \cdot i_{\text{с}} \cdot d, \quad (1)$$

где $i_{\text{с}}$ — плотность переменного тока, протекающего между трубой и землей через дефекты в изоляции трубопровода, А/м²; d — диаметр дефекта в изоляции, м; ρ — удельное электрическое сопротивление грунта, окружающего дефект в изоляции, Ом·м.

таблица 1

критерий	безопасные значения
Плотность переменного тока датчика потенциала	Не более 10 А/м ² [1]
Переменное напряжение «труба–земля»	Менее 0,1· ρ , где ρ — удельное электрическое сопротивление грунта в Ом·м
Смещение потенциала коррозии датчика потенциалов	Не более 10 мВ в отрицательную сторону [1]
Отношение плотности переменного тока к плотности тока катодной защиты	$\frac{i_{\text{с}}}{i_{\text{к}}} \leq 5$ [2]

таблица 1. Критерии коррозионной опасности наведенных переменных токов для существующего трубопровода

При $d = 0,025$ м (размер стандартного датчика потенциала) и $i_{\sim} = 10$ А/м² [1]
 $U_{\sim_{кр}} \approx 0,1$ р (2)

Переменный ток смещает электродный потенциал стали в отрицательном направлении. Если величина смещения превышает 10 мВ, то воздействие переменного тока согласно ГОСТ 9.602 опасно. Критерием опасности может служить также величина отношения плотностей переменного и постоянного токов. Если плотность переменного тока превышает плотность постоянного тока более чем в 5 раз, то ситуация считается опасной [2]. Эти критерии можно применять при анализе результатов электрометрических измерений на катодной защищенном трубопроводе. Важно, чтобы измерения проводились в часы максимума нагрузки ВЛ, в противном случае возможна недооценка коррозионной опасности.

В зависимости от взаимного расположения трубопровода и высоковольтной линии степень опасного воздействия переменного тока на трубопровод может значительно изменяться.

➤ **Снижения опасности коррозии переменным током можно добиться выбором расположения трасс:**

- при пересечении — расположение трасс ВЛ и трубопровода проектировать под углом¹ от 60° до 90° [3];
- при параллельном следовании, сближении и удалении — увеличивать расстояние между трассами высоковольтной линии и трубопровода, либо сокращать длину участка сближения.

Однако при проектировании возможность увеличения расстояния между ВЛ и трубопроводом в большинстве случаев ограничена, поэтому важно знать, на каком расстоянии параллельного следования наведенное напряжение на нефтепроводе будет в коррозионном отношении безопасным, либо какова длина критического участка сближения. В **таблице 2** в качестве примера приведен ряд параметров, позволяющих оценить критическую протяженность параллельного следования ВЛ 330 кВ и трубопровода условным диаметром 1 м, превышение которой может привести к возникновению опасности переменнотокковой коррозии. «Расчет **таблицы 2** проведен с помощью специально разработанной авторами программы для трубопровода большой протяженности, не имеющего на участке сближения каких-либо заземлений, отводов, электрических перемычек с другими объектами [4], (наиболее неблагоприятный случай). При этом в качестве критерия

таблица 2				
Расстояние от ВЛ до МТ, м	$\rho_{гр}$, Ом·м	Критическая протяженность параллельного следования ВЛ и МТ, км при сопротивлении изоляции труб, $R_{из}$, Ом·м ²		
		300000	50000	10000
20	500	6,95	*	*
	10	0,22	0,22	0,23
	30	0,66	0,68	0,73
	100	2,27	2,55	3,85
50	500	15,9	*	*
	1000	*	*	*
60	500	22	*	*
	10	0,53	0,55	0,58
	30	1,61	1,74	2,23
	100	5,54	8,85	*
100	Более 100	*	*	*
	10	2,36	2,66	3,95
	30	7,00	18,00	*
	Более 30	*	*	*
300	10	7,40	19,00	*
	Более 10	*	*	*

таблица 2. Критическая протяженность участка параллельного следования ВЛ-330 кВ и МТ

* критическая протяженность параллельного следования более 40 км

¹ Чем ближе к 90° угол между трассами ВЛ и МТ, тем меньше опасность индуцированного тока.

опасности принято предельное переменное напряжение «труба–земля», рассчитанное по формуле (2).

Рассмотрим пример, поясняющий, как пользоваться этой таблицей при проектировании. Допустим, планируется проложить трубопровод вблизи высоковольтной линии 330 кВ. Номинальный рабочий ток в такой линии составляет около 575 А. Качество изоляции должно быть не менее $3 \cdot 10^5$ Ом·м². Удельное электрическое сопротивление грунта на участке составляет в среднем 30 Ом·м. Расстояние между трассами ВЛ и трубопровода около — 100 м. В этом случае критическая протяженность параллельного следования этих коммуникаций составит 1,61 км. То есть, если трасса выбрана таким образом, что длина параллельного следования менее критической длины (в данном примере менее 1,61 км), то в соответствии с выбранным критерием опасность отсутствует. Можно использовать эту таблицу и для определения критического расстояния между ВЛ и МТ, при котором при известных грунтовых условиях и протяженности параллельного следования возникнет опасность коррозии. Таблицу так же, можно использовать для предварительной оценки опасности на эксплуатируемом трубопроводе, т. е. определить потенциально опасные участки. Аналогичные таблицы могут быть рассчитаны с помощью нашей программы и для ВЛ других напряжений и различных диаметров трубопроводов.

При соответствующем наборе параметров критическая протяженность параллельного следования составляет более 40 км. Например, из **таблицы 2** следует, что для трубопровода с сопротивлением изоляции $3 \cdot 10^5$ Ом·м², находящегося на расстоянии 300 м и более от ВЛ 330 кВ, критическая протяженность параллель-

ного следования составляет более 40 км уже при удельном сопротивлении грунта более 30 Ом·м. То есть при расположении трассы трубопровода на расстоянии 300 м и далее от ВЛ в большинстве случаев опасность переменнотокковой коррозии мала либо отсутствует. На **рисунке 1** приведен график предельных длин участков сближения ВЛ 330 кВ и трубопровода диаметром 1 м с сопротивлением изоляции 300 кОм·м².

Графики предоставляют возможность определить либо минимально допустимое расстояние между ВЛ и трубопроводом (при заданной длине параллельного следования и удельном сопротивлении грунта), либо определить критическую протяженность параллельного следования (при заданном расстоянии между ВЛ и МТ и удельном сопротивлении грунта), превышение которой недопустимо для обеспечения безопасности от коррозии индуцированными переменными токами. Ниже линии соответствующих графиков располагаются безопасные длины при заданном расстоянии ВЛ–МТ, а правее — безопасные расстояния при заданной протяженности сближения.

Если предпроектные обследования трассы и расчеты показали, что результаты оценки опасности коррозии превышают критические значения, при проектировании защиты от коррозии необходимо применение ряда мер по снижению опасности. Оптимальные технические решения по снижению влияния ВЛ на МТ — это увеличение расстояния между трубопроводом и ВЛ и заземление трубопровода. Существуют и другие более сложные и дорогостоящие решения.

Основным техническим решением является подключение к трубопроводу заземлений, «дренирующих» с трубопровода только переменный ток, не пропускаемая при этом постоянный ток катодной

поляризации. В противном случае затрудняется поддержание защитного потенциала и снижается эффективность ЭХЗ.

Исследования по оценке опасности коррозии переменным током проводились на обособленном участке строящегося нефтепровода протяженностью 13 км, пролегающего параллельно двум ВЛ напряжением 500 кВ на расстоянии 50 м и 150 м по одну сторону от трубопровода. Максимальное напряжение, индуцированное на участке, составило 200 В. На **рисунке 2** приведены графики распределения переменного напряжения «труба-земля» этого участка для различных схем подключения технологического оборудования и средств ЭХЗ. Указанное оборудование и средства ЭХЗ являются естественными заземлителями для переменного тока.

Из **рисунка 2** видно, что в отсутствии заземлителей на всем участке переменное напряжение превышает критическое, за исключением участка 0–0,5 км. В этом месте трубопровод оказался случайно заземленным через металлоконструкции пригруза (дефект в изоляционном покрытии). После подключения дополнительных заземляющих устройств напряжение на участке уменьшилось примерно в десять раз, однако согласно критерию по напряжению, безопасных значений достигло только на отрезках 0–0,5 км и 7–13 км. На отрезке 0,5–7 км требуется дополнительное обустройство заземлений на контрольно-измерительных пунктах.

На **рисунке 3** приведены значения плотности переменного тока для того же участка. Показательно, что результаты применения критериев по току и напряжению в достаточной степени коррелированы, хотя критерий по напряжению более строгий. Судя по токовому критерию, опасность коррозии на незаземленном трубопроводе существует не на всей длине участка. Подключение заземлений привело к снижению плотности тока на участке. В данном случае также требуются дополнительные заземления.

Если необходимо оценить опасность на стадии проектирования, в соответствии с расчетом получим (для трубопровода, расположенного в 50 м от ВЛ 500 кВ, при среднем удельном электрическом сопротивлении грунта на участке около 100 Ом·м, сопротивление изоляции $3 \cdot 10^5$ Ом·м²) критическую длину параллельного следования, равную 1,6 км, после превышения которой при строительстве требуется принятия мер к снижению коррозии под воздействием переменного тока.

Практически, на основании этих критериев следует весь участок признать коррозионно-опасным в отношении переменного тока и требующим принятия защитных мер.

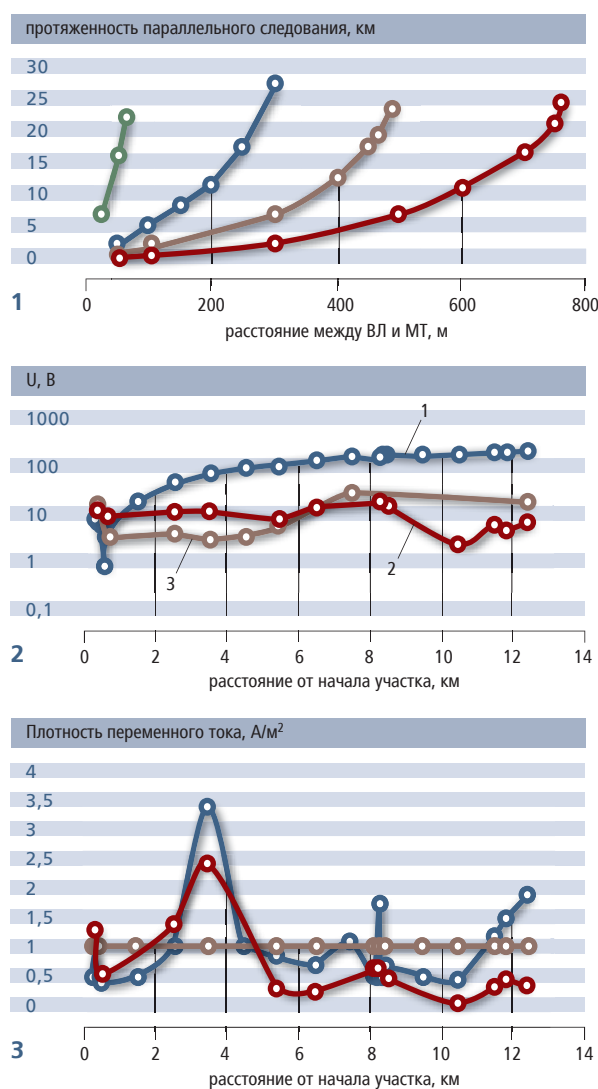


рисунок 1. Критическая длина участка сближения ВЛ 330 кВ и трубопровода условным диаметром 1 м, сопротивлением изоляции 300 кОм·м² в грунтах с удельным электрическим сопротивлением от 10 до 500 Ом·м

рисунок 2. Переменное напряжение «труба-земля» на участке трубопровода длиной 13 км при включении и отключении заземлителей

— без заземлений; — с заземлениями; — $U_{кр}$

Кривая 1 соответствует случаю, когда рассматриваемый участок изолирован от остального трубопровода и заземлен на расстоянии 0,5 км от начала трубы. Кривая 2 отражает изменение напряжения «труба-земля» при подключении временной ЭХЗ (протекторные группы) на 5,3; 10,4 и 11,8 км и замыкании участка по концам на готовые участки трассы («врезка»). Протекторные группы подключены через разделительные конденсаторы емкостью 2000 мкФ. Линией 3 показано распределение критического значения напряжения «труба-земля», рассчитанного в зависимости от удельного электрического сопротивления грунта по формуле (2)

рисунок 3. Плотность переменного тока датчика на участке трубопровода условным диаметром 1 м длиной 13 км при включении и отключении заземления

— без заземлений; — с заземлениями; — критическая плотность тока

Заключение

- Проектирование защиты от коррозии подземных трубопроводов, трасса которых проходит рядом с высоковольтными линиями электропередачи напряжением 110 кВ и выше, должно осуществляться на основе оценки коррозионной опасности индуцированных токов и напряжений
- Основные требования к проектированию защиты от коррозии переменным током заключаются в оптимальном выборе расстояния от трубопровода до ВЛ, в ограничении протяженности сближения (параллельного следования) трубопровода и ВЛ, в выборе способа заземления трубопровода и мест расположения заземляющих устройств. Наиболее предпочтительным техническим решением по экономическим показателям и простоте реализации и эксплуатации является заземление трубопровода.
- Заземления для защиты от коррозии переменным током должны содержать устройства, не допускающие снижение защитного потенциала. К таким устройствам относятся блоки, содержащие разделительные конденсаторы, твердотельные поляризованные устройства, полупроводниковые биполярные выпрямители в цепи заземляющих проводников.
- На эксплуатируемых вблизи высоковольтных линий трубопроводах необходимо периодически проводить оценку опасности коррозии переменным током в часы максимума нагрузки ВЛ. Применение нескольких критериев одновременно позволяет с большей надежностью оценить указанную опасность. При выявлении опасности следует разработать мероприятия по снижению опасности от воздействия переменного тока.

[1] Межгосударственный стандарт ГОСТ 9.602-2005 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии».

[2] prCEN/TS 15280 Европейский стандарт. «Определение вероятности коррозии переменным током на подземных трубопроводах. Применительно к катодно защищенным трубопроводам».

[3] Правила устройства электроустановок. — 6-е изд. — М., 1998 и 7-е изд. — М., 2002.

[4] Михайлов М.И. Электромагнитное влияние линий высокого напряжения на магистральные трубопроводы и меры защиты: ВНИИСТ. Труды / М.И. Михайлов, Л.Д. Разумов, 1962. — Вып. 1.