



АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ТЕПЛОПРОВОДОВ В ППУ-ИЗОЛЯЦИИ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подземный теплопровод, пенополиуретановая (ППУ) изоляция, оперативный дистанционный контроль (ОДК), выявление мест нарушения герметичности

Ю. Т. Ильин, канд. геол.-минерал. наук; **Н. Н. Шаповалов**, канд. техн. наук, почетный работник ЖКХ РФ, ООО АП «ДИСКО» (Санкт-Петербург)

В настоящее время трубопроводы в пенополиуретановой (ППУ) изоляции находят широкое применение в сетях централизованного теплоснабжения. Трубы в ППУ-изоляции характеризуются такими показателями, как повышенная долговечность, минимальные (по сравнению с другими типами изоляции) тепловые потери, пониженные затраты на прокладку тепловой сети из-за отсутствия необходимости строительства каналов. Предлагаем ознакомиться с опытом использования неразрушающих методов контроля для выявления дефектов в полиуретановой оболочке и оценки качества изоляции стыковых соединений труб при бесканальной прокладке тепловых сетей в ППУ-изоляции.

Использование конструкции теплопровода «труба в трубе» при бесканальной прокладке создает дополнительные требования к контролю состояния оболочки изоляции, теплоизоляционного слоя и стыковых соединений. Любое локальное нарушение герметичности полиуретанового защитного слоя или некачественно выполненное стыковое соединение при монтаже теплопровода приводит к последующему увлажнению теплоизоляции и интенсивному процессу коррозии металлической поверхности трубы в процессе эксплуатации. В местах дефектов полиуретановой изоляции (рис. 1) в результате сквозного увлажнения теплозащитного слоя возникает электрический контакт металла трубы с электролитом грунта. Так как основная поверхность трубы хорошо изолирована, фактически весь наведенный внешними электрическими полями ток «прикалывается» к месту электрического контакта. В таких местах электрические токи, стекая с металлической поверхности трубопровода, образуют очаги электрокоррозии, в пределах которых и происходит наиболее энергичный вынос металла. Плотность тока в таких местах может достигать значительных величин. Помимо этого, появляется возможность образования микро- и макрогальванических коррозионных элементов. В зависимости от наличия и сочетания факторов коррозионной опасности повреждение металлической поверхности трубопровода может проходить очень быстро.

Системы оперативного дистанционного контроля

Обеспечить постоянный контроль за состоянием теплопроводов в ППУ-изоляции призваны сигнальные системы оперативного дистанционного контроля (ОДК). Однако опыт эксплуатации сигнальных систем контроля свидетельствует об их несовершенстве. Наиболее характерными недостатками в системах ОДК, применяемых в настоящее время, являются следующие:

- нарушение контакта сигнальных проводов на стыках труб, в местах соединения обжимными втулками;

- очень быстрое (в течение первого года эксплуатации) коррозионное разрушение заземляющих соединений на трубах;

- низкая защита от повреждений (вандализма) выводов сигнальных проводов в контрольных точках;

- дополнительная (не учитываемая) погрешность показаний контрольных приборов из-за несоответствия фактической длины труб их проектным значениям;

- наличие нестандартных врезок – отводов, не предусмотренных проектами.

Из-за вышеуказанных причин применяемые в настоящее время системы ОДК не позволяют обеспечить требуемый контроль состояния подземных теплопроводов бесканальной прокладки, построенных с использованием труб в ППУ-изоляции.

В ряде случаев предприятия, эксплуатирующие тепловые сети, осознанно не используют системы ОДК, нарушая технологию заводов-производителей. В таких случаях не представляется возможным проверить сплошность гидроизоляционного слоя теплопровода, качество монтажа стыковых соединений, а также своевременно обнаружить и устранить появившееся намокание изоляции. Для повышения надежности эксплуатации теплопроводов в ППУ-изоляции, помимо систем ОДК, целесообразно использовать альтернативные методы контроля.

Разработана и успешно опробована методика неразрушающего контроля состояния полиуретановой оболочки и стыковых соединений труб в ППУ-изоляции с целью выявления мест нарушения их герметичности и сквозного увлажнения теплозащитного слоя, к которым, как правило, приурочены зоны развития наружной коррозии труб.

Методические основы определения состояния изоляционного покрытия трубопроводов без вскрытия грунта

Как практическое руководство по инспектированию качества изоляционного покрытия подземных теплопроводов бесканальной прокладки в ППУ-изоляции без вскрытия грунта принята «Методика¹ оценки фактического положения



Рис. 1. Дефекты: 1) некачественная заделка стыка труб в ППУ-изоляции; 2) сдвиг и нарушение герметичности термоусадочного банджа в местах стыков трубы; 3) проникновение грунтовых вод в местах нарушения сплошности наружной гидроизоляции, приведшее к «сжеживанию» ППУ и его отслоению. Изменение структуры ППУ сопровождается отслоением его как от внутренней поверхности защитной полиэтиленовой трубы, так и от наружной (более значимо!) поверхности металлической трубы

¹ Разработана НТЦ «Ресурс газопроводов» ООО «ВНИИГАЗ».

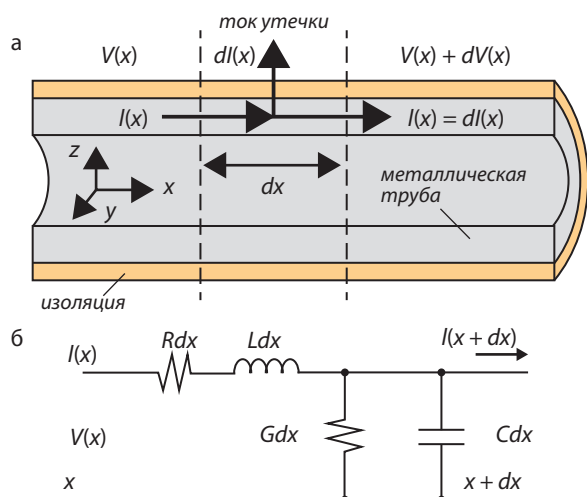


Рис. 2. Участок изолированного металлического трубопровода как элемент длинной линии

и состояния подземных трубопроводов» ВРД 39-1.10-026-2001 (далее – Методика). Методика предназначена как для предприятий газовой промышленности, так и для организаций, эксплуатирующих любые металлические трубопроводы.

Согласно Методике, металлический трубопровод с высокой электрической проводимостью и изоляцией конечного сопротивления представляется в виде модели с распределенными параметрами (длинной линией). Система катодной защиты или специальный генератор, присоединенный между трубопроводом и точкой заземления, могут использоваться как источники тока. В соответствии с тео-

Формулы

Обозначение формулы	Формула
(1)	$\alpha = 2000 \cdot \lg(i_1/i_2)/L_{1,2}$
(2)	$J_x = J_0 \cdot e^{-\alpha x}$
(3)	$\alpha = \ln \frac{J_{x1}}{J_{x2}} / (X_2 - X_1)$
(4)	$H = J_x / (2 \cdot \pi \cdot h)$
(5)	$\alpha = \ln \frac{H_1}{H_2} / (X_2 - X_1)$
Обозначения в формулах	

α – величина затухания токов, протекающих по трубопроводу между точками измерений, мБ/м

i_1 и i_2 – токи, измеренные соответственно в точке 1 и точке 2, мА

$L_{1,2}$ – расстояние между точкой 1 (X_1) и точкой 2 (X_2), м

J_0 – сила тока в точке подсоединения источника (генератора), А

J_x – сила тока в точке трубопровода на расстоянии X от точки присоединения генератора, А

H – напряженность магнитного поля линейного проводника с током, А/м

h – расстояние от оси трубопровода до измерительной рамки (антенны), м

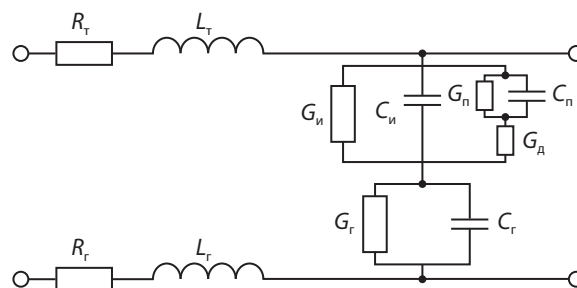


Рис. 3. Эквивалентная электрическая схема изолированного металлического трубопровода, заглубленного в грунт, при намокании изоляции. Обозначения: R_T, L_T – сопротивление и индуктивность трубопровода; R_r, L_r – те же параметры грунта; $G_{и}, C_{и}$ – проводимость и емкость изоляции; G_r, C_r – те же параметры грунта; $G_{д}, C_{д}$ – поляризационные проводимость и емкость двойного электрического слоя в месте дефекта; $G_{д}$ – проводимость дефекта.

рией, ток в трубе с изоляцией конечного электрического сопротивления равномерно уменьшается по мере удаления от точки присоединения. При наличии дефектов в изоляции в каждом месте дефекта часть тока «стекает» из трубы во вмещающий грунт в большей степени, то есть происходит ступенчатое уменьшение (затухание) тока. Методика постулирует, что по коэффициенту затухания тока в трубопроводе можно определить наличие и местоположение дефектов в изоляции.

На рис. 2 приводится иллюстрация изменения потенциала и тока в продольном сечении трубопровода (а) и эквивалентная электрическая схема участка трубопровода длиной dx как элемента длинной линии (б).

Для изолированного трубопровода, заглубленного в грунт (вариант бесканальной подземной прокладки), при наличии сквозного дефекта в изоляционном покрытии и намокании изоляции эквивалентная электрическая схема имеет вид, изображенный на рис. 3.

В условиях измерений на частотах до 1 кГц, вследствие значительной емкостной проводимости двойного электрического слоя в месте дефекта, поляризационное сопротивление не имеет решающего влияния на общую поперечную проводимость, и результирующая проводимость участка изоляции будет определяться суммой активных проводимостей изоляции и дефекта.

Измерение силы тока в обследуемом трубопроводе выполняется бесконтактными методами с применением бесконтактных приемных устройств с преобразователями электромагнитного поля на фиксированных и стабильных частотах, сигналы которых преобразуются в постоянный ток.

Величина затухания токов α , протекающих по трубопроводу между точками измерений, вычисляется по формуле (1) (см. Формулы). По значению α , используя таблицы и номограммы для определенной частоты сигнала, находят интегральную величину сопротивления изоляции $R_{и}$ для участка обследуемого трубопровода определенного диаметра, с учетом типа и характеристик его изоляционного покрытия.

Величину $R_{\text{и}}$ используют для интегральной характеристики изоляционного покрытия подземных трубопроводов, находящихся в эксплуатации. В ВРД 39-1.10-026-2001 для подземных трубопроводов, находящихся в эксплуатации, приняты следующие критерии интегральной оценки состояния изоляционного покрытия:

- **отличное**, если значение $R_{\text{и}}$ находится в интервале от 10 000 Ом•м² и более;
- **хорошее**, если значение $R_{\text{и}}$ находится в интервале от 2 500 до 10 000 Ом•м²;
- **удовлетворительное**, если значение $R_{\text{и}}$ находится в интервале от 500 до 2 500 Ом•м²;
- **плохое**, если значение $R_{\text{и}}$ находится в интервале от 50 до 500 Ом•м²;
- **очень плохое**, если значение $R_{\text{и}}$ находится в интервале от 5 до 50 Ом•м²;
- **совершенно разрушено**, если значение $R_{\text{и}}$ менее 5 Ом•м².

Методология работ на подземных теплопроводах в ППУ-изоляции при выявлении мест нарушения герметичности и сквозного увлажнения теплозащитного слоя

Методический подход, изложенный выше, был адаптирован для решения такой конкретной задачи, как выявление дефектов в изоляционном покрытии подземных трубопроводов тепловых сетей в ППУ-изоляции, приведших к сквозному увлажнению теплозащитного слоя. Как правило, в таких местах интенсивно развивается наружная коррозия труб.

Разработанный способ дистанционного неразрушающего контроля предизолированных подземных теплопроводов бесканальной прокладки базируется на выполнении бесконтактных измерений продольных и поперечных электрических (ΔE_x , ΔE_y) и магнитных (H_x и H_y) составляющих электромагнитного поля, искусственно созданного посредством подключения к трубопроводу источника переменного электрического тока с рабочей частотой $f = 625$ Гц. Один из полюсов источника тока подключается непосредственно к трубе, а второй — к электроду заземления, расположенному на таком расстоянии от трубы, чтобы влиянием поля этого заземления можно было пренебречь. Все измерения выполняются на дневной поверхности, строго по оси заложения трубопровода, без внедрения в систему транспортировки тепла.

Для измерений возможно использовать аппаратуру типа ЭРА-MAX (рис. 4), предназначенную для проведения инженерных изысканий под строительство и обследование технического состояния действующих трубопроводов, а также других видов электроразведочных работ. Данная аппаратура может работать на частотах: 1,22; 2,44; 4,88; 50; 100; 625; 1 250; 2 500 Гц и постоянном токе.

Сила тока в обследуемом трубопроводе при наличии утечек тока уменьшается с расстоянием по экспоненциальному закону и определяется по формуле (2), из которой следует формула (3).

Для расчета величины коэффициента затухания α используются измеренные значения магнитных составляющих электромагнитного поля (H_x и H_y), так как напряженность H магнитного поля линейного проводника с током прямо пропорциональна силе тока (см. формулу (4)). Поэтому искомый параметр α определяется по формуле (5) — простым отношением магнитных составляющих электромагнитного поля трубы, которые наблюдаются над трубопроводом.

Коэффициент затухания α является исходным параметром, характеризующим изоляционное покрытие обследуемого участка подземного трубопровода в ППУ-изоляции на отрезке $[X_1, X_2]$. По значению параметра α определяется интегральная величина сопротивления изоляции $R_{\text{и}}$ на обследуемом участке теплопровода. Оценка состояния изоляционного покрытия труб в ППУ-изоляции выполняется по шкале критериев, приведенных в ВРД 39-1.10-026-2001.

В качестве дефектных нами выделяются участки теплопроводов, где интегральная оценка изоляционного покрытия классифицируется как «очень плохое» и «совершенно разрушенное». Для труб в ППУ-изоляции эти критерии соответствуют случаям разгерметизации полиэтиленовой оболочки.

Для регистрации точного местоположения дефектов, приведших к сквозному увлажнению теплозащитного слоя, привлекаются дополнительные контролирующие признаки. В ходе выполнения опытно-методических работ установлено, что локальные места повышенной проводимости изоляции отмечаются максимумами составляющих E_y и H_x , а над краями зоны нарушения изоляции фиксируются локальные максимумы параметра E_x .

Для второй ступени контроля местоположения локальных дефектов в изоляции используются значения эффективных нормировочных критериев $\Delta E_y / H_y$ и H_x / H_y .

При анализе поведения составляющих ΔE_y , ΔE_x , H_x , H_y необходимо обязательно учитывать смену ориентировки приемных линий и антенн при поворотах трассы и в местах пересечений и отводов, чтобы избежать ложных выводов.



Рис. 4. Аппаратура ЭРА-MAX.

Таблица Результаты работ по выявлению мест нарушения герметичности изоляционного покрытия, приведших к сквозному увлажнению теплоизоляционного слоя ППУ-труб

Местоположение дефекта изоляционного покрытия		
Точка отсчета	Расстояние, м	Ближайший элемент конструкции, вынесенный на исполнительную схему
Подающий теплопровод		
Центр ТК-1, в сторону ТК-5А	−10	Стык 56
Центр ТК-1, в сторону ТК-5А	−8	Стык 53
Центр ТК-1, в сторону ТК-2 (ТК-5сущ)	36	УП-98, стык 47
Центр ТК-1, в сторону ТК-2 (ТК-5сущ)	37	УП-98, стык 46
Центр ТК-2 (ТК-5сущ), в сторону ТК-1	50	НО-2, стык 31
Центр ТК-2 (ТК-5сущ), в сторону ТК-1	25	Стык 27
Обратный теплопровод		
Центр ТК-1, в сторону ТК-2 (ТК-5сущ)	38	УП-98, стык 44
Центр ТК-2 (ТК-5сущ), в сторону ТК-1	25	Стык 27

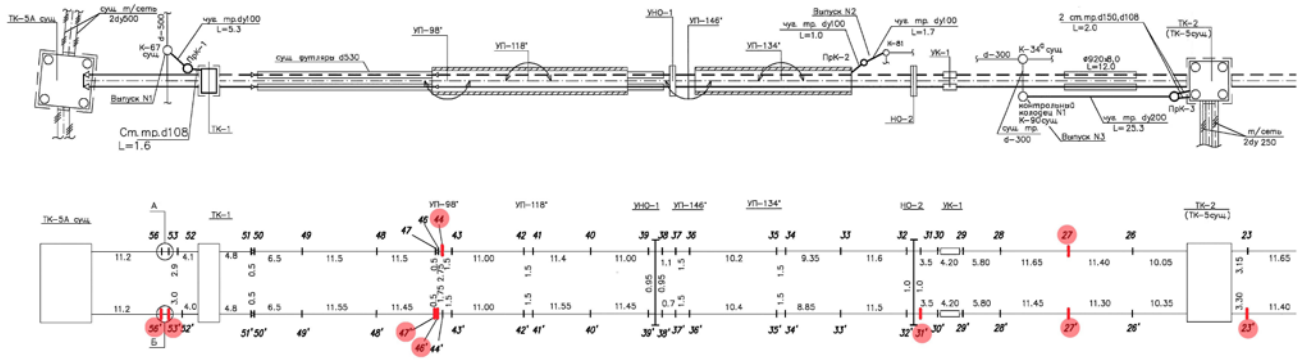


Рис. 5. Схема участка магистрального теплопровода с указанием местоположения выявленных дефектов изоляционного покрытия

Пример использования методики выявления дефектов на теплопроводах

Результаты работ по инспектированию качества изоляционного покрытия подземных теплопроводов в ППУ-изоляции представляются в табличном и графическом виде.

Для примера приведем результаты исследования участка магистральной тепловой сети в ППУ-изоляции, проложенной бесканально (табл., рис. 5). В таблице указаны сведения о выявленных дефектах в виде нарушения герметичности изоляционного покрытия труб в ППУ-изоляции, приведших к сквозному увлажнению теплоизоляционного слоя:

- в первом столбце дается точка отсчета; как правило, это центр тепловой камеры или стена здания, согласно исполнительной схеме, представленной заказчиком;
- во втором столбце приводятся сведения о местоположении выявленного дефекта с привязкой по расстоянию до ближайшей точки отсчета; местоположение выявленных дефектов также представляется в графическом виде (рис. 5): оно выделяется красным цветом на исполнительных чертежах, представленных заказчиком;
- в третьем столбце дается дополнительная информация о ближайшем к выявленному дефекту элементе кон-

струкции (углы поворота трассы, компенсаторы, неподвижные опоры, сварные стыки и т. п.), согласно исполнительной схеме, представленной заказчиком.

Перспективы использования

Разработанный способ дистанционного неразрушающего контроля предизолированных подземных теплопроводов бесканальной прокладки успешно опробован при оценке качества изоляции стыковых соединений ППУ-труб в крупнейшей теплоснабжающей организации Санкт-Петербурга, а также при диагностике сильфонных компенсирующих устройств на ПИ-трубах тепловых сетей Минска (Белоруссия). По оценке заказчиков, все поставленные задачи были успешно решены.

Успешный практический опыт выполнения диагностических работ на основе предложенной методики, а также наличие методической базы и серийно выпускаемой измерительной аппаратуры убеждают в целесообразности применения данного способа для выявления дефектов в полиуретановой оболочке и оценки качества изоляции стыковых соединений труб при бесканальной прокладке тепловых сетей в ППУ-изоляции. ■