



# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛА ТРУБ ГАЗОПРОВОДОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

В. А. КОБЗЕВ, Я. С. МАРЧУК, М. П. АНДРИИШИН, Е. А. ИГУМЕНЦЕВ

*Представлены результаты исследования структурного состояния металла труб с использованием акустической эмиссии, предложен обобщенный критерий оценки и прогнозирования изменений структурного состояния металла при длительной эксплуатации газопроводов.*

*The results of investigation of the structural state of pipe metal by the acoustic emission method are presented, and a generalized criterion for evaluation and prediction of the changes in the metal structural state in long-term operation of pipelines is proposed.*

В металле труб газопроводов при длительной эксплуатации под воздействием изменяющихся параметров внешней среды и транспортируемого продукта происходят медленные процессы изменения металлографической структуры, обусловленные различного вида воздействиями на металл труб. Воздействие на металл влажного грунта после повреждения изоляционного покрытия приводит к коррозионным повреждениям структуры металла [1]. При воздействии температуры могут происходить локальные деформационные процессы за счет линейного расширения [2]. Длительное воздействие повышенной температуры, даже не слишком высокой (30...40 °С), может привести к старению низколегированных низкоуглеродистых трубных сталей [3, 4].

Еще одним важным источником структурных изменений металла является длительное влияние взаимодействия со сталью труб транспортируемого углеводородного продукта, часто содержащего в своем составе некоторое количество водорода, сероводорода, воды. Диссоциированный водород имеет высокую проникающую способность, поэтому, проникая внутрь металла, повышает в нем внутренние напряжения [5, 6].

Приведенные воздействия на газопроводы, приводящие к структурным изменениям металла, в реальных условиях длительной эксплуатации выглядят намного сложнее, так как являются результатом совместного влияния сразу нескольких видов. Структурные изменения могут влиять на прочность труб неоднозначно: на начальных стадиях их воздействие, как правило, упрочняет металл, со временем происходит его разупрочнение с образованием повреждений, которые могут стать причиной разрушения металла труб. Неоднозначность результата структурных изменений и многообразие причин, их вызывающих, для ди-

агностирования состояния металла трубопроводов подземной укладки после длительной эксплуатации требуют использования интегральных структурочувствительных физических методов, способных распознать в металле наличие процессов, связанных с охрупчиванием и разупрочнением. Одним из таких методов является метод акустической эмиссии (АЭ) [7], используемый при исследовании металла в режиме прозвучивания [8]. В настоящей работе оценку качества металла проводили с помощью метода АЭ непосредственно на трубах действующих газопроводов ДК «Укртрансгаз».

Перед проведением АЭ-диагностирования в соответствии с ДСТУ 4227 необходимо проведение измерения скорости и затухания сигналов АЭ [9]. Эту операцию проводили с использованием имитатора АЭ, позволяющего подвергнуть поверхность металла упругому механическому воздействию с крутым передним фронтом (прямоугольный импульс). Два преобразователя АЭ устанавливали на расстоянии 3...4 м друг от друга на защищенных до уровня Rz 40 участках вдоль оси трубопровода. На одной линии с этими преобразователями с внешней стороны на расстоянии 0,3 м от одного из преобразователей располагался имитатор АЭ. Такая схема позволяет проводить измерение структурочувствительных параметров скорости и затухания сигналов АЭ. В работе использовали систему АЭ ALine DDM. По параметрам АЭ, зарегистрированным преобразователями-приемниками АЭ, проводили измерение затухания волн. По параметрам, характеризующим частотную характеристику АЭ волны и скорость нарастания переднего фронта импульса АЭ, оценивали степень пластичности металла труб. Результаты АЭ-контроля по всем обследованным участкам газопроводов сопоставляли с параметрами



**Параметры АЭ, измеренные на контролируемых участках газопроводов**

Номер участка	$n$ , дБ/м	$v_{с.г}$ , м/с	$v_1$ , м/с	$K_{спек}$	$Y_{АЭ}$
1	11,2	4900	1,92	0,957	1,56
2	8,40	5450	0,69	0,804	1,27
3	10,2	4300	0,60	0,870	1,19
4	0,30	1277	4,35	0,099	5,08
5	15,0	3870	1,60	0,017	3,21
6	5,40	3230	0,95	0,893	1,08
7	0,10	1330	8,16	0,095	5,81
8	2,10	2700	3,00	0,018	4,47
9	13,6	3050	0,80	0,668	1,46
10	0,80	1800	5,50	0,028	5,13
11	8,40	3420	1,17	0,829	1,69
12	2,70	1385	14,06	0,023	5,21
13	12,0	3095	1,67	0,007	3,81
14	1,10	1130	1,85	0,030	4,70
15	0,90	1518	3,30	0,021	5,06
16	6,00	3160	4,80	0,048	3,66
17	32,2	5760	0,26	1,000	0,08

контрольного образца трубопровода, имеющего более 30 % общего коррозионного повреждения, и параметрами контрольного образца трубы аварийного запаса, находящейся на хранении, защищенной от воздействия внешней среды защитным изоляционным покрытием, которое в процессе хранения труб поддерживается в удовлетворительном состоянии.

*Затухание АЭ* ( $n$ , дБ/м) характеризует уменьшение амплитуды при распространении АЭ-излучения на контрольном участке. В основе изменения параметра затухания АЭ лежат процессы коррозии. Как следует из таблицы, металл всех обследованных участков трубопроводов по сравнению с контрольными параметрами 16 и 17 находится в удовлетворительном состоянии. Наибольшие параметры затухания зарегистрированы на участке 5. Визуальное обследование этого участка обнаруживает слабую адгезию изоляционного покрытия и наличие наибольшего из всех обследованных участков поверхностного коррозионного повреждения металла. Наиболее близкие значения параметра затухания АЭ к значению участка 5 обнаружены на участках 1, 2, 3, 9, 11 и 13.

*Скорость распространения излучения АЭ* ( $v$ , м/с), является также структурочувствительным параметром, характеризующим состояние металла трубопровода. При испытании контрольного образца, имеющего более 30 % коррозионного повреждения, зафиксирована самая большая скорость распространения АЭ, составляющая 5760 м/с (таблица). Наибольшие значения групповой скорости

распространения АЭ излучения были зафиксированы при обследовании участков 1 (4900), 2 (5450), 3 (4300), 5 (3870 м/с), что свидетельствует об относительно низких соотношениях значений предела прочности и предела текучести, а поэтому несколько повышенной склонности к хрупкому разрушению.

*Скорость нарастания переднего фронта импульсов АЭ* ( $v_1$ , дБ/с) характеризует функцию перехода акустической волны из металла в пьезоэлектрический материал, в котором происходит преобразование акустических колебаний в колебания электрического сигнала. Скорость нарастания АЭ-сигнала пропорциональна жесткости системы металл-пьезоэлемент [10].

*Коэффициенты корреляции спектра АЭ* ( $K_{спек}$ ) обследованных участков газопроводов определяли на основе корреляционного анализа усредненных спектральных характеристик импульсов АЭ обследованных участков. Для усреднения использовали 60...80 спектральных характеристик, полученных при испытании одного объекта. Корреляционный анализ проводили по отношению к усредненной спектральной характеристике контрольного образца (№ 17), имеющего более 30 % общего коррозионного повреждения. На формирование спектральных характеристик АЭ-сигналов оказывают влияние совокупность факторов системы, состоящей из металла труб и преобразователя АЭ. Наибольшая корреляция с контрольным образцом № 17 обнаружена для участков 1, 2, 3, 6, 9 и 11 (таблица).

Каждый из приведенных параметров АЭ характеризует различные наборы свойств металла, отражающие изменения структуры в ходе эксплуатации. Для осуществления учета большинства аспектов взаимодействия АЭ-излучения с изменяющимися во времени структурными элементами металла и особенностями его восприятия приемным преобразователем, может быть использована обобщенная АЭ-характеристика структурных свойств металла труб по отношению к металлу со значительными коррозионными повреждениями (в нашем случае образец № 17 с коррозионным повреждением, превышающим 30 %). Эта характеристика может быть представлена обобщенным безразмерным структурным АЭ-критерием

$$Y_{АЭ} = \log(kv_1/nv_{с.г}K_{спек}),$$

где  $k$  — нормировочный безразмерный коэффициент;  $v_{с.г}$  — средняя групповая скорость распространения АЭ-излучения в металле, м/с.

Диаграмма параметров  $Y_{АЭ}$  для обследованных участков представлена на рисунке.

Обобщенный структурный критерий  $Y_{АЭ}$  позволяет учесть влияние на структурные изменения металла каждого измеряемого параметра АЭ и устраняет некоторое различие, получаемое при ис-

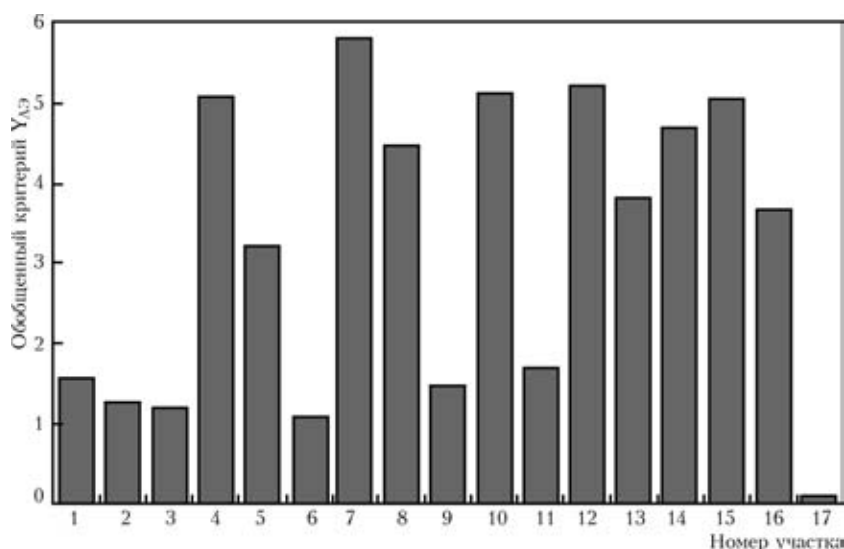


Диаграмма обобщенного структурного АЭ-критерия  $Y_{AЭ}$ , рассчитанного для обследуемых участков газопроводов по отношению к эталону (участок № 17) с общим коррозионным повреждением более 30 %

пользовании для оценок каждого параметра в отдельности.

Отметим, что в качестве эталона может быть выбран и неповрежденный материал, например, металл аварийного запаса, однако значения  $Y_{AЭ}$  в этом случае для исследуемых участков могут отличаться в лучшую сторону или за счет различия исходных структурных параметров, или за счет небольшого упрочнения металла на начальной стадии старения.

Применение для оценки структурного состояния металла структурного АЭ-критерия позволяет устанавливать допустимое значение [ $Y_{AЭ}$ ], характеризующее максимально возможное повреждение структуры металла при эксплуатации. Достижение этого значения означает, что дальнейшая эксплуатация невозможна. Если известна функция изменения критерия  $Y_{AЭ}$  во времени (в ходе эксплуатации газопровода измерения АЭ-параметров проводили несколько раз и по зависимости значений  $Y_{AЭ}$  от времени определяли функциональную зависимость), то она может стать основой прогнозирования ресурса до достижения значений [ $Y_{AЭ}$ ].

## Выводы

На основании анализа структурочувствительных АЭ-параметров затухания АЭ, средней групповой скорости распространения АЭ в металле, средней скорости нарастания переднего фронта АЭ-импульса и коэффициента корреляции частотной характеристики системы металл–преобразователь АЭ по отношению к выбранному эталону для про-

ведения оценки влияния структурных изменений металла при длительной эксплуатации газопроводов предложен обобщенный структурный АЭ критерий  $Y_{AЭ}$ .

В результате проведения АЭ-контроля металла труб участков газопроводов обнаружено, что металл всех обследованных участков находится в удовлетворительном состоянии. На участках 1–3, 6, 9 и 11 измеренные параметры АЭ и критерий  $Y_{AЭ}$  свидетельствуют о наличии в металле труб начальных процессов охрупчивания. При дальнейшей эксплуатации на этих участках должны периодически проводиться работы по диагностированию металла труб.

Предложенный обобщенный структурный АЭ-критерий  $Y_{AЭ}$  может быть использован для диагностирования предельного структурного состояния металла по отношению к установленному допустимому значению [ $Y_{AЭ}$ ].

1. *Технічна експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних газопроводів* / В. В. Разгонюк, Ю. П. Гужов, Ю. О. Кузьменко, В. А. Шишківський. — Київ: Росток, 2000. — 277 с.
2. *Фридман Я. Б. Механические свойства материалов. Ч. I. Деформация и разрушение.* — М.: Машиностроение, 1974. — 472 с.
3. *Бабич В. К., Гуль Ю. П., Долженков И. Е. Деформационное старение стали.* — М.: Металлургия, 1972. — 320 с.
4. *Деформационное старение металла труб из стали контролируемой прокатки* / С. Е. Семенов, А. А. Рыбаков, Л. В. Гончаренко и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2005. — № 4. — С. 39–43.
5. *Гиренко В. С., Рабкина М. Д., Гиренко С. В. Физико-механические изменения в сталях при эксплуатации в водородосодержащих средах* // Там же. — 2003. — № 4. — С. 18–23.
6. *Обоснование методов обследования и выбор мест шурфовки магистральных газопроводов* / Б. Е. Патон, А. Я. Недосека, С. К. Фомичев, М. А. Яременко // Там же. — 1999. № 1. — С. 3–12.
7. *Комаровский А. А. Диагностика разрушений* // Там же. — 2003. — № 1. — С. 14–16.
8. *Оценка поврежденности металла действующих газопроводов методом АЭ-сканирования* / А. А. Лебедев, А. Я. Недосека, Н. Г. Чаусов, С. А. Недосека // Там же. — 2001. — № 1. — С. 8–12.
9. *ДСТУ 4227–2003. Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки.*
10. *Грешников В. А., Дробот Ю. М. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий.* — М.: Из-во стандартов, 1976. — 272 с.