УДК 620.197.5

ИЗМЕНЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СТАЛИ В НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ CHANGES OF THE NATURAL ELECTRICAL POTENTIAL OF STEEL IN THE STRESS-STRAIN STATE

С. В. Лопарев, Р. А. Трясцин, А. А. Волжаков, В. В. Гостев

S. V. Loparev, R. A. Tryastin, A. A. Volzhakov, V. V. Gostev

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

*Ключевые слова: трубопровод; коррозия; напряженно-деформированное состояние;
противокоррозионная защита*

Key word: pipeline; corrosion; stress-strain state; anticorrosive protection

Известно, что основными источниками возникновения повреждений в металлических конструкциях являются зоны концентрации напряжений, в которых процессы коррозии, усталости и ползучести развиваются наиболее интенсивно. Следовательно, определение зон концентраций напряжений является одной из важнейших задач диагностики оборудования и конструкций.

В настоящее время надежность систем магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа является одним из важнейших факторов стабильности и роста экономического потенциала России. Системы трубопроводного транспорта позволяют государству регулировать поставки нефти на внутренний и внешний рынки. Российские трубопроводные системы наиболее активно развивались в 70–80-е годы прошлого столетия. Таким образом, свыше 70 % трубопроводов эксплуатируется более 20–30 лет, что требует пристального внимания к их эксплуатационной надежности и технической безопасности.

Значимость задачи оценки реального технического состояния и контроля напряженно-деформированного состояния трубопроводов привела к внедрению многочисленных методов и средств неразрушающего контроля: ультразвуковых; магнитных (в том числе внутритрубных); рентгеновских; капиллярных; акустико-эмиссионных и др. Необходимо отметить, что вышеперечисленные технологии достаточно эффективно используются в настоящее время. Однако, эти методы диагностики трубопроводов не позволяют прогнозировать внезапное проявление усталостных повреждений, а сориентированы на поиск уже развитых дефектов и требуют существенных затрат материальных и трудовых ресурсов. Таким образом, разработка новых методов комплексной оценки технического состояния подземных магистральных трубопроводов является актуальной задачей.

В соответствии с [1, 2] комплексное обследование магистральных трубопроводов с целью определения их коррозионного состояния и состояния противокоррозионной защиты должно проводиться на участках высокой коррозионной опасности не реже одного раза в 5 лет, а на остальных участках — не реже одного раза в 10 лет. В рамках таких обследований [2] проводятся разнообразные электрометрические измерения, в том числе определяется электрический потенциал металла трубопровода по его длине [3]. Многочисленные диагностические обследования магистральных нефтепроводов, проведенные сотрудниками кафедры МОП ТюмГНГУ и специалистами Лаборатории ДиНКНО Фонда развития ТюмГНГУ по договорам с ОАО «АК «Транснефть», позволили выдвинуть гипотезу о качественно-количественной связи между такими величинами как электрический потенциал стали трубопровода и механические напряжения в его теле.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы была проведена серия экспериментов. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Установка состоит из

емкости 6, засыпанной грунтом 7. Под уровень грунта 7 помещается испытуемая металлическая пластина 8, уложенная на опоры 4, 5. Для измерения естественного потенциала стали пластины она включена в электрическую цепь, состоящую из вольтметра 1, медно-сульфатного электрода сравнения 2, соединительных проводов 3 и грунта 7. Данная цепь электрически изолирована от емкости 6, опор 4, 5 и точки приложения силы F . Это было предусмотрено для исключения влияния металлических элементов экспериментальной установки на показания вольтметра.

Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — вольтметр; 2 — медно-сульфатный электрод сравнения; 3 — соединительные провода; 4, 5 — опоры; 6 — емкость; 7 — грунт; 8 — испытуемая металлическая пластина

Эксперимент проводился в следующем порядке. На опоры под уровень грунта помещалась металлическая пластина длиной 275 мм, шириной 25 мм, толщиной 6 мм, изготовленная из стали марки Ст3. Для полной поляризации пластины она выдерживалась в таком положении в течение 24 часов до начала эксперимента. Далее вольтметром измерялся естественный потенциал стали пластины. Нагружение проводилось сосредоточенной силой через винтовую передачу — винт опускался на 1 мм за 0,5 оборота. Потенциал стали измерялся многократно после каждого изгиба. При этом перед измерением пластина выдерживалась в изогнутом состоянии в течение 1 часа для учета влияния на значения естественного потенциала процессов поляризации — деполяризации. В процессе эксперимента нагружению подвергалось пять одинаковых металлических образцов. В результате были получены значения изгиба и соответствующие им значения естественного потенциала стали (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость естественного потенциала испытуемых образцов от величины изгиба

Образец № 1		Образец № 2		Образец № 3		Образец № 4		Образец № 5	
Изгиб, мм	$U_{ест}$, В	Изгиб, мм	$U_{ест}$, В	Изгиб, мм	$U_{ест}$, В	Изгиб, мм	$U_{ест}$, В	Изгиб, мм	$U_{ест}$, В
0	-0,402	0	-0,413	0	-0,408	0	-0,41	0	-0,411
1	-0,407	1	-0,412	1	-0,403	1	-0,405	1	-0,407
2	-0,411	2	-0,421	2	-0,422	2	-0,422	2	-0,419
3	-0,403	3	-0,429	3	-0,432	3	-0,422	3	-0,426
4	-0,419	4	-0,439	4	-0,434	4	-0,423	4	-0,438
5	-0,432	5	-0,448	5	-0,443	5	-0,434	5	-0,441
6	-0,454	6	-0,466	6	-0,463	6	-0,457	6	-0,459
7	-0,492	7	-0,488	7	-0,482	7	-0,491	7	-0,479
8	-0,523	8	-0,503	8	-0,506	8	-0,499	8	-0,514

Цель исследования — получение зависимости естественного потенциала от механических напряжений. Расчет напряжений и усилий производился решением задачи плоского прогиба по методологии [4, 5]. В результате были получены значения

механических напряжений σ в теле пластины, соответствующие значениям поперечного изгиба (табл. 2).

Таблица 2

Механические напряжения в теле пластины, соответствующие значениям поперечного изгиба

Образец № 1		Образец № 2		Образец № 3		Образец № 4		Образец № 5	
Изгиб, мм	σ , МПа	Изгиб, мм	σ , МПа	Изгиб, мм	σ , МПа	Изгиб, мм	σ , МПа	Изгиб, мм	σ , МПа
0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
1	37,7	1	37,7	1	37,7	1	37,7	1	37,7
2	74,0	2	74,0	2	74,0	2	74,0	2	74,0
3	108,0	3	108,0	3	108,0	3	108,0	3	108,0
4	147,9	4	147,9	4	147,9	4	147,9	4	147,9
5	186,5	5	186,5	5	186,5	5	186,5	5	186,5
6	221,9	6	221,9	6	221,9	6	221,9	6	221,9
7	256,0	7	256,0	7	256,0	7	256,0	7	256,0
8	295,9	8	295,9	8	295,9	8	295,9	8	295,9

Таким образом, в результате работы была получена зависимость естественного потенциала стали марки Ст3 от механических напряжений в ее теле. Данная зависимость представлена графически на рис. 2.

Рис. 2. Зависимость естественного потенциала стали марки Ст3 от механических напряжений в ее теле

Представленная на рис. 2 зависимость может быть также выражена аналитически в виде полинома 3 степени:

$$U_{ест} = 3 \cdot 10^{-9} \sigma^3 - 2 \cdot 10^{-7} \sigma^2 + 7 \cdot 10^{-5} \sigma - 0,4078.$$

Высокое значение коэффициента корреляции $R = 0,957$ свидетельствует о тесной связи естественного потенциала и механических напряжений стали.

Как следует из приведенного графика (см. рис. 2), повышение механических напряжений в стали приводит к смещению ее естественного потенциала в сторону более отрицательных значений. При этом известно [1, 2, 3], что чем отрицательнее значения электрического потенциала стали, тем выше ее защищенность от коррозии. Таким образом, на первый взгляд, результаты проведенных экспериментов противоречат общеизвестному факту, что сталь корродирует более интенсивно в напряженно-деформированном состоянии. Однако, механизм коррозии металлов под напряжением достаточно сложен, и значения электрического потенциала не должны оказывать здесь определяющее влияние.

Поэтому для уточнения полученных результатов планируется проведение новой серии экспериментов с расширенной вариацией факторов.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии. Госстандарт России. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 52 с.
2. РД-29.200.00-КТН-047-14. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Обследование коррозионного состояния магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов с изменением № 1 от 11.12.2014. – Взамен РД-29.200.00-КТН-206-12; введен 2014 – 04 – 21. – М.: ООО «Научно-исследовательский институт транспорта нефти и нефтепродуктов», 2014. – 153 с.
3. Ткаченко В. Н. Электрохимическая защита трубопроводных сетей. Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 2004. – 320 с.
4. Стёпин П. А. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 1988. – 320 с.
5. Волжаков А. А., Пирогов С. Л. Расчет усилий в изогнутых трубопроводах некругового сечения // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1997. – № 6. – С. 141.

Сведения об авторах

Лопарев Сергей Владимирович, аспирант, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, e-mail: loparevsvndt@yandex.ru

Трясцин Роман Александрович, к. т. н. доцент, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, e-mail: experttsogu@yandex.ru

Волжаков Алексей Александрович, ассистент, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, e-mail: lexa@tsogu.ru

Гостев Владимир Владимирович, начальник отдела инженерно-технического обеспечения, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, e-mail: bobanstmn@gmail.com

Information about the authors

Loparev S. V., postgraduate, Tyumen State Oil and Gas University, e-mail: loparevsvndt@yandex.ru

Tryastsin R. A., Candidate of Science in Engineering, associate professor, Tyumen State Oil and Gas University, e-mail: experttsogu@yandex.ru

Volzhakov A. A., assistant, Tyumen State Oil and Gas University, e-mail: lexa@tsogu.ru

Gostev V. V., head of the department for engineering-technical supply, Tyumen State Oil and Gas University, e-mail: bobanstmn@gmail.com