



ОЦЕНКА СТЕПЕНИ КОРРОЗИОННОЙ АГРЕССИВНОСТИ ГРУНТОВ НА УЧАСТКАХ ПРОХОЖДЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ПО КОМПЛЕКСНОМУ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

О. В. МЕДВЕДЫК, Б. В. СЛОБОДЯН, Л. В. СЫСА, Г. А. ЯВОРСКИЙ

Предложен новый способ (критерий) оценки коррозионной агрессивности грунтов по комплексу физико-механических параметров. Проведен анализ результатов экспериментального определения активной кислотности, естественного окислительно-восстановительного потенциала и удельного электрического сопротивления грунтов вдоль целого ряда участков действующих трубопроводов. Обоснованы оптимальные границы числовых значений предложенного прежде авторами комплексного физико-химического критерия коррозионной агрессивности грунтов, в соответствии с которым определена их степень агрессивности.

A new method (criterion) is proposed for assessment of corrosion aggressiveness of soils by a complex of physico-mechanical parameters. Analysis has been performed of the results of experimental determination of active acidity, natural oxidation-restoration potential and specific electric resistance of soils along sections of a number of operating pipelines. Optimal limits of numerical values of the earlier proposed by the authors integrated physico-chemical criterion of corrosion aggressiveness of soils are substantiated, by which the degree of soil aggressiveness is determined.

Совокупность физических, физико-химических и биологических свойств грунтов является одним из важнейших факторов в процессах, приводящих к коррозированию подземных стальных сооружений, в том числе трубопроводов. Если физические (удельное электрическое сопротивление ρ и др.) и биологические (например, содержание специфических бактерий) параметры грунта в плане коррозионной агрессивности регламентированы нормативной документацией [1, 2], то физико-химическим параметрам (активной кислотности pH и естественному окислительно-восстановительному потенциалу Eh) отведено значительно меньше внимания. В то же время на практике известно немало фактов, когда в полностью «благополучном» с точки зрения физических свойств грунте — с довольно высоким значением ρ — сталь трубы испытывает значительные коррозионные повреждения при наименьшем нарушении изоляции или наоборот — в грунте со сравнительно малым удельным сопротивлением сталь остается продолжительное время неповрежденной даже при значительных дефектах защитного покрытия. Очевидно, для корректной оценки коррозионной агрессивности грунтов учет лишь одного параметра грунта (ρ) недостаточен.

Относительно влияния кислотности на процесс коррозии металла трубы в методической и учебной литературе встречаются короткие замечания, однако они имеют преимущественно описательный характер и не подкреплены детальными расчетами. В этом плане полученные авторами данной статьи практические результаты не только подтверждают теоретические положения, но и существенно расширяют возможность их количественной, статистической интерпретации. Определение параметров pH и Eh околоповерхностных отложений широко используется в геохимии [3], агрономии и других областях. Поскольку эти два параметра взаимосвязаны, то для их представления часто используется так называемый редокс-водородный потенциал, рассчитанный через парциальное давление водорода в окислительно-восстановительных процессах [4, 5]:

© О. В. Медведык, Б. В. Слободян, Л. В. Сыса, Г. А. Яворский, 2002

$$r_{H_2} = Eh/30 + 2pH, \quad (1)$$

где Eh подается в милливольтгах;

$$r_H = \frac{Eh + 0,06pH}{k}, \quad (2)$$

где k — поправочный коэффициент, связанный с температурой; Eh измеряется в вольтах.

Эти формулы практически идентичны при сохранении соответствующей размерности Eh (В или мВ), поэтому если в любую из них ввести дополнительный параметр — удельное электрическое сопротивление грунта, то можно получить комплексный физико-химический критерий для оценки коррозионной агрессивности грунтов. Поскольку последняя обратно пропорциональна удельному электрическому сопротивлению, то, очевидно, его числовое значение должно находиться в знаменателе формулы-результата.

Цель данной работы — обобщение фактического материала по изучению физико-химических свойств грунтов вдоль трасс действующих трубопроводов, собранного сотрудниками ГП «Укроргтехдиагностика» как за предшествующие, так и в последние годы, и расчет реальных числовых значений комплексного физико-химического критерия оценки коррозионной агрессивности грунтов $K_{фх}$.

Этот критерий, предложенный авторами ранее [6], учитывает естественный окислительно-восстановительный потенциал грунта, его активную кислотность и удельное электрическое сопротивление. Он дает возможность детальнее описать естественные (грунтовые) условия, в которых эксплуатируется стальной трубопровод, и рассчитывается по формуле

$$K_{фх} = \frac{Eh + 0,06pH}{k\rho}. \quad (3)$$

Кроме этих основных физико-химических параметров грунтов, для оценки степени их коррозионной агрессивности в качестве дополнительных параметров можно использовать удельную электрическую проводимость водных вытяжек X и от-



ношение концентраций восстановленной и окисленной форм железа Fe^{2+}/Fe^{3+} . Однако для определения двух последних параметров необходимы лабораторные условия и соответствующая аппаратура, поэтому для экспресс-оценки коррозионной агрессивности грунта достаточно пользоваться тремя первыми показателями, которые можно определять в полевых условиях.

Приведенная в [6] формула для расчета $K_{фх}$ получена в основном из теоретических соображений [4–6], поскольку фактическая база данных по результатам упомянутых выше анализов на данный момент довольно разнородна и неупорядочена. Каждое практическое исследование в этом направлении наполняет массив реальных числовых значений критерия $K_{фх}$, что при сопоставлении с фактами наличия или отсутствия коррозионных процессов в конкретных местах отбора проб позволит установить четкие требования, на основании которых грунт можно считать мало-, средне- или сильноагрессивным по физико-химическим параметрам.

Методика выполнения работы. Конкретными объектами изучения являлись пробы грунтов, взятые на участках газопроводов «Прогресс», «Уренгой – Ужгород», «Елец – Кременчуг – Кривой Рог», «Торжок – Долина» (участок г. Долина – р. Днестр), а также отдельные пробы на других участках. Шурфование проводили в точках возможных повреждений изоляции, которые были определены по методике ГП «Укроргтехдиагностика». Отбирали также пробы грунтов из поверхностных горизонтов трассы, а также на воздушных и водных переходах. В целом обработаны результаты анализов более 60 проб грунта и грунтовых вод.

Образцы грунта отбирали согласно требованиям ГОСТ 26423–85 [7] непосредственно после шурфования или из естественных углублений (водная эрозия, сдвиг грунта и т. п.) из центральной части любого грунтового интервала (горизонта, типа грунта) на уровне трубы, над и под нею, до дна шурфа. Для проб, взятых непосредственно возле стенок трубы, отбирали дополнительные пробы из той же глубины и горизонта, но боковой стенки шурфа (материнские породы).

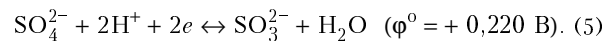
Водная вытяжка была подготовлена согласно требованиям ГОСТ 26423–85 [7]. Подготовку приборов (рН-метра, мультиметра) к проведению анализов осуществляли в соответствии с их техническим паспортом и инструкцией по эксплуатации.

Определение кислотности водных вытяжек из грунтов проводили с помощью портативного мультиметра модели рН-5123 с комбинированным электродом SAgP209W. Измерение окислительно-восстановительного потенциала вытяжки выполняли тем же мультиметром с индикаторным (платиновым) электродом модели ЭТПЛ-01М, при этом электродом сравнения служил насыщенный хлор-серебряный электрод ЭВЛ-1М. Удельное электрическое сопротивление грунта на данном участке определяли электрофизическими методами по соответствующим нормативным документам [1].

За результаты анализа принимали значение каждого единичного измерения кислотности и окислительно-восстановительного потенциала водной

вытяжки из грунта, а также удельного электрического сопротивления грунта на конкретном участке. После проведения контрольных измерений в лаборатории геохимии и экологии Львовского отделения Украинского государственного геолого-разведывательного института эти результаты сравнивали с полевыми для определения абсолютного и относительного отклонений — во всех случаях они соответствовали диапазонам, определенным нормативной документацией.

Результаты и их обсуждение. По значениям удельного электрического сопротивления грунты на исследованных участках имеют низкую (более 50 Ом·м) и среднюю (от 20 до 50 Ом·м) степень коррозионной агрессивности (согласно ГОСТ 9.602–89 [1]), а по значениям кислотности (согласно классификации А. Н. Павлова и В. Н. Шемякина [8]) они слабокислые ($4,1 < pH < 7$), слабощелочные ($7 < pH < 8,3$) и щелочные ($8,3 < pH < 10,3$). Значения Eh-потенциала в нормативной документации не лимитированы, однако за основу классификации можно взять стандартные потенциалы наиболее распространенных естественных процессов в грунтах — равновесного окисления-восстановления воды и сульфат-ионов:



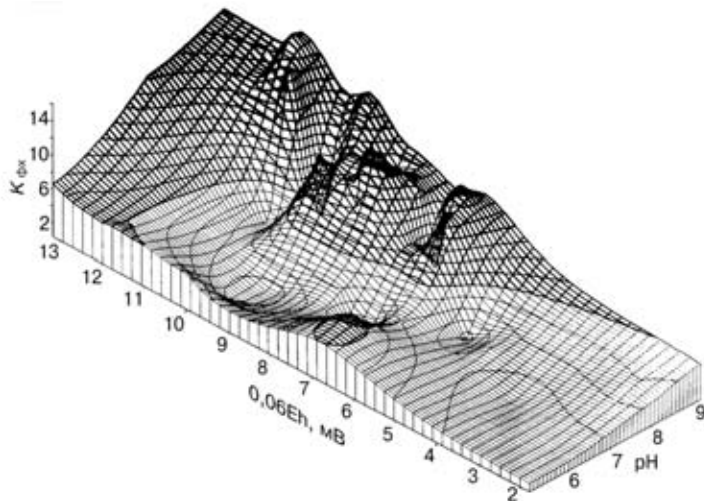
Грунты, окислительно-восстановительный потенциал которых выше 0,41 В, авторы предлагают считать сильноокислительными, от 0,41 до 0,22 В — среднеокислительными, ниже 0,22 В — слабоокислительными. В таком случае среду практически всех исследованных проб можно отнести к слабоокислительной.

Полученные значения рН, Eh и ρ можно непосредственно вводить в формулу (3) для расчета обобщенного физико-химического критерия $K_{фх}$, однако после несложных математических преобразований эта формула значительно упрощается.

В частности, в реальных температурных условиях исследований (полевой сезон весна — осень) для расчетов используется числовое значение $k = 0,03$ [5]. Поскольку физико-химический критерий является относительным (обобщенным) показателем коррозионной агрессивности, то значения Eh (в мВ) можно умножить на 0,06 для удобства сопоставления со значениями рН. Тогда числовые коэффициенты перед переменными величинами можно свести к одному, что значительно упрощает формулу (3):

$$K_{фх} = \frac{0,06Eh + 0,06pH}{0,03\rho} = 2 \frac{Eh + pH}{\rho}. \quad (6)$$

Расчеты значений $K_{фх}$ проводили по формулам (3) и (6). В первом случае значения получены в диапазоне 0,03... 1,14 условных единиц (значения Eh-потенциала заданы в В, сопротивления — в Ом·м); во втором — 0,35... 18,83 (значения Eh-потенциала — в мВ, сопротивления — в Ом·м).



Распределение числовых значений комплексного физико-химического критерия коррозионной агрессивности $K_{фх}$ грунтов в зависимости от их pH и Eh

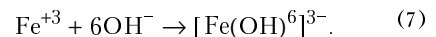
В формуле (3) числитель почти всегда значительно меньше знаменателя (при сохранении соответствующей размерности единиц), поэтому формула такого вида для $K_{фх}$ практически дублирует зависимость этого критерия от удельного электрического сопротивления, нивелируя влияние кислотности и окислительно-восстановительного потенциала. Именно поэтому авторы предлагают использовать для расчетов формулу (6), которая более наглядно учитывает влияние pH и Eh грунта на значение этого критерия и разрешает получать более удобные для пользования числовые значения. Кроме того, довольно высокие значения $K_{фх}$ получены для проб грунтов с $\rho < 50$ Ом·м (средняя степень агрессивности по ГОСТ 9.602–89 [1]). Это служит подтверждением того, что удельное электрическое сопротивление грунта не следует считать достаточным показателем для определения его коррозионной агрессивности (ГОСТ 9.602–89).

По полученным результатам построена диаграмма зависимости значений $K_{фх}$ от кислотности pH и окислительно-восстановительного потенциала Eh (рисунок). Построение выполнено с помощью программы SURFER (версия 6.0), которая часто используется для расчета и построения разнообразных карт (геологических, геохимических, топографических и т. п.), а также поверхностей распределения определенных показателей в геологии и сопредельных областях.

Как видно из рисунка, общая тенденция роста значений $K_{фх}$, т. е. коррозионной агрессивности грунта, совпадает с направлением увеличения параметров pH и Eh, что соответствует теоретическим выкладкам работ [4, 6]. Минимальные значения критерия получены при нейтральной реакции грунта и низких значениях окислительно-восстановительного потенциала. При $-7 > \text{pH} > 7$ значения $K_{фх}$ возрастают, причем это возрастание сильнее проявляется для щелочной среды. Вероятно, это объясняется химической стойкостью гидроксокомплексов железа ($[\text{Fe}(\text{OH})_6]^{3-}$ и других) именно в таких условиях.

Особенно заметно возрастание значений $K_{фх}$ при больших значениях Eh — даже при нейтраль-

ной относительно pH среде критерий агрессивности имеет большое числовое значение. Это можно объяснить тем, что процесс равновесного окисления-восстановления воды (уравнение (3)) характеризуется довольно большим значением окислительно-восстановительного потенциала, увеличивающимся в ходе реакции комплексообразования с участием ионов железа и гидроксила. Последняя сдвигает химическое равновесие этого процесса вправо за счет изъятия гидроксид-ионов из сферы реакции



Учитывая наличие продуктов коррозии на поверхности металла в местах отбора каждой конкретной пробы, можно заметить, что они имеют значительный размер в тех случаях, если $K_{фх}$ превышает 12 единиц, а при значениях, меньших 5 единиц, их практически нет. Кроме того, при сопоставлении этих фактов с числовыми значениями удельного электрического сопротивления грунтов в местах отбора проб получается определенное совпадение с границами допустимых значений ρ , лимитированными в нормативной документации [1]. Конечно, такие числовые значения $K_{фх}$ еще не являются окончательными для определения границ низкой, средней и высокой агрессивности грунта, поскольку они выведены при относительно небольшом количестве измерений. При накоплении значительной базы аналогичных исследований эти границы можно установить более точно. Относительно целесообразности того, что в формулу (6) перед числовым значением Eh (в мВ) введен множитель 0,06, можно привести еще несколько соображений. Между числовыми значениями $K_{фх}$, полученными по формулам (3) и (6), наблюдается, как и ожида-

Результаты расчетов значений комплексного физико-химического критерия коррозионной агрессивности грунтов $K_{фх}$ на Долинском участке МГ «Торжок – Долина»

Глубина, м	Тип грунта	pH	Eh, мВ	ρ , Ом·м	Значения $K_{фх}$, рассчитанные по формуле	
					(3)	(6)
0,50	Торф	7,42	+84	70	0,25	2,6
0,60	Глина	5,12	+182	75	0,22	5,0
1,20	»	5,10	+167	75	0,21	4,6
1,80	»	5,20	+196	75	0,23	5,4
2,40	»	5,30	+213	75	0,24	5,8
1,20	»	5,82	+108	44	0,35	5,2
2,00	»	5,88	+116	40	0,39	6,1
2,00	Суглинок	6,86	+66	142	0,11	1,0
2,00	Глина	6,15	+37	65	0,21	1,3
0,50	»	5,23	+198	83	0,21	4,9
1,00	»	6,00	+52	68	0,20	1,7
1,50	»	5,82	+87	66	0,22	2,8
0,00	Вода поверхностная	7,00	+116	83	0,22	3,0
3,00	Суглинок	6,80	+133	102	0,18	2,7



лось, довольно четкая корреляция (при $rH = 72$, $Eh = 12$ мВ, $\rho = 72$ Ом·м коэффициент корреляции равен 94 %), хотя в отдельных пробах, особенно при малых значениях удельного сопротивления, они сильно отличаются. Формула (6), в отличие от (3), дает возможность более активно привлекать к оценке степени коррозионной агрессивности грунта значение его естественного окислительно-восстановительного потенциала, однако rH при этом, как и в формуле (3), мало влияет на величину $K_{фх}$. Как видно из таблицы, критерий $K_{фх}$, рассчитанный по формуле (3), лучше коррелирует с параметрами кислотности и удельного сопротивления, но почти не зависит от окислительно-восстановительного потенциала, в то время как в формуле (6) более равномерно учитываются все три параметра.

Данные, использованные в таблице, получены по результатам одной из недавних работ ГП «Укроргтехдиагностика» по обследованию состояния антикоррозионного покрытия газопровода «Торжок — Долина» (участок г. Долина — р. Днестр), во время которой проводилось определение уровня rH и Eh грунтов в местах возможного повреждения изоляции и на фоновых участках. В процессе обследования упомянутой части трасы отобраны 13 проб грунта и 1 пробу поверхностной воды (лужа вокруг запорной арматуры крана-распределителя).

Числовые значения физико-химического критерия, рассчитанного по формуле (6), находятся в диапазоне 1,0... 6,1, причем его максимальное значение получено для пробы грунта с удельным сопротивлением 40 Ом·м (средняя степень агрессивности по ГОСТ 9.602–89). Исходя из значений $K_{фх}$, рассчитанных по формуле (6), большинство грунтов имеют низкую степень коррозионной агрессивности.

ВЫВОДЫ

1. Предложенный авторами комплексный физико-химический критерий коррозионной агрессивности грунта $K_{фх}$ позволяет более полно охарактеризовать естественные (грунтовые) условия, в которых эксплуатируются стальные трубопроводы.

2. Порогом средней коррозионной агрессивности грунта по критерию $K_{фх}$ можно считать его значение, равное 5, а высокой — 12 единицам.

3. По значениям комплексного физико-химического критерия $K_{фх}$ основная часть грунтов на исследованных участках газопроводов может быть отнесена к низко- (менее 5) и среднеагрессивным (от 5 до 12 единиц), а около 10 % из них — к высокоагрессивным (более 12 единиц).

1. ГОСТ 9.602–89. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.
2. ДСТУ 3291–95. Методы оценки биокоррозионной активности грунтов и выявление наличия микробной коррозии на поверхности подземных металлических сооружений.
3. Бужук Л. О., Полицев А. В. Относительно информативности параметра окислительно-восстановительного потенциала грунтов при поисках нефти и газа // Нефть и газ Украины. — 2001. — № 1. — С. 17–21.
4. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов. — М: Наука, 1976. — 472 с.
5. Геологический словарь / Под ред. К. Н. Парфенгольца, Л. И. Боровикова и др. — М: Недра, 1978.
6. Медведык О. В., Сиса Л. В., Слободян Б. В. Физико-химический критерий оценки коррозионной агрессивности грунтов на примере отдельных участков магистральных газопроводов // Мет. та прилади контролю якості. — 2001. — № 7. — С. 24–29.
7. ГОСТ 26423–85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, rH и плотного остатка водной вытяжки.
8. Лукашев В. К. Геохимия четвертичного литогенеза. — Минск: Выш. шк., 1970.

СП «Укроргтехдиагностика»,
Львов

Поступила в редакцию
09.01.2002

Научно-производственная фирма Специальные Научные Разработки

СНР

Направления деятельности — разработка, изготовление приборов и установок НК механических свойств, структуры, напряженно-деформированного (усталостного) состояния, ресурса металлопродукции и оборудования по магнитным характеристикам металла: коэрцитиметры, аустенометры, многопараметрические анализаторы петли магнитного гистерезиса. Магнитометры универсальные и специализированные (для МПД), включая дефектоскопические. Приборы и установки УЗ-толщинометрии и дефектоскопии, работающие ЭМА-методом бесконтактно, по горячему металлу, без зачистки и без контактной жидкости (через слой защитного покрытия или воздушный зазор).

Методики применения всех этих средств НК.

Область применения — производство прокатной металлопродукции и оборудования машиностроения, текущее состояние оборудования, сосудов давления и др. металлоконструкций в эксплуатации, их диагностика, включая экспертизу технадзора.

Многоканальные системы технологической сигнализации, сбора, обработки и хранения информации для таких объектов, как энергетические котлы, турбины, генераторы, грузоподъемные машины общего и специального назначения.

г. Харьков, тел./факс (0572) 64-36-13, тел. 64-99-85, 26-32-06
E-mail: bezlyudko@yahoo.com