

УДК 620.193:620.197.5

А.Н. Улихин, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории электрохимической защиты, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»; Д.Н. Запелалов, к.т.н., заместитель директора центра технологий строительства, ремонта и защиты от коррозии, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»; Н.Н. Глазов, к.т.н., начальник лаборатории электрохимической защиты, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»; Д.С. Сирота, к.х.н., ведущий научный сотрудник лаборатории электрохимической защиты, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»; С.Н. Ашарин, научный сотрудник лаборатории электрохимической защиты, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ И СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ТРУБОПРОВОДОВ С МНОГОСЛОЙНЫМИ И УТЯЖЕЛЯЮЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ

При строительстве и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта в заболоченных и обводненных районах, на участках подводного, в том числе морского, расположения необходимо обеспечивать сохранение пространственного положения трубопроводов. Одним из рациональных вариантов решения этой задачи является применение обетонированных труб, позволяющих сократить время на сооружение объектов за счет высокой заводской готовности элементов трубопровода и снизить риски повреждения труб в процессе строительства и эксплуатации, обеспечить сохранность противокоррозионного покрытия.

Ключевые слова: трубопровод, контроль коррозионного состояния, электрохимическая защита, защитное покрытие, обетонированные трубопроводы, многослойные покрытия.

Одними из востребованных и получающих широкое применение конструкций труб с бетонными покрытиями заводского изготовления являются конструкции «труба в трубе» (рис. 1) с наружной металлической, полимерной или металлополимерной оболочкой. При очевидных конструктивных и технологических достоинствах таких многослойных конструкций заводского нанесения контроль коррозионного состояния и состояния основных защитных антикоррозионных покрытий участков газопроводов с многослойными тепловыми и утяжеляющими покрытиями конструкции «труба в трубе» имеет ограничения из-за существенно большего переходного сопротивления «сооружение

– окружающая среда» по сравнению с трубами без внешней полимерной или металлополимерной оболочки. Поскольку возможные дефекты в основном противокоррозионном покрытии трубопроводов должны быть обеспечены электрохимической защитой (ЭХЗ) [1, 2], требует оценки влияние внешней оболочки на обеспече-



Рис. 1. Один из вариантов конструкции трубы с многослойным покрытием

ние нормативных показателей защиты основного металла трубопровода.

Экспериментальная проверка возможности обеспечения нормативных параметров ЭХЗ и методов контроля коррозионного состояния трубопроводов с подобными конструкциями была проведена специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ». В рамках комплекса исследований в 2012 г. были выполнены стендовые испытания на образце трубы с многослойным покрытием в среде, имитирующей грунтовой электролит, с целью экспериментальной проверки работы электрохимической защиты и методов контроля коррозионного состояния трубопроводов с многослойными покрытиями.

ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на трубе с утяжеляющим покрытием и металлополимерной оболочкой конструкции «труба в трубе» длиной 4,5 м (в дальнейшем – образец), с основным защитным покрытием трубы на основе трехслойного экструдированного полиэтилена. Одну торцевую поверхность утяжеляющего покрытия (между трубой и металлополимерной оболочкой) на образце изолировали от контакта с электролитом. Вторую торцевую поверхность утяжеляющего покрытия на образце оставляли неизолированной, обеспечивая возможность проникновения электролита в утяжеляющее покрытие после погружения образца в рабочую среду. К трубе со стороны изолированного торца утяжеляющего покрытия приваривали катодный вывод и надежно изолировали (рис. 2).

Торцевые и наружные поверхности образца, свободные от утяжеляющего покрытия, также надежно изолировали от попадания электролита на наружную поверхность и во внутреннюю полость трубы. Перед проведением работ по монтажу элементов контроля параметров ЭХЗ была проведена проверка состояния основного изоляционного защитного покрытия. Для этого трубу устанавливали на изолирующие подставки, оголенные края трубы очищали от пыли и влаги для исключения возможного контакта трубы с защитной металлополимерной оболочкой, подключали клеммы измерительного прибора к трубе и оболочке, выполняли измерение электрического сопротивления (рис. 3). По результатам контроля было подтверждено отсутствие сквозных повреждений полимерного защитного покрытия. Контроль параметров электрохимической защиты было предложено осуществить за счет расположения внутри заполненного бетонной смесью пространства ряда датчиков, имитирующих сквозные дефекты основного по-



Рис. 2. Приваренный катодный вывод и изолированная торцевая поверхность образца трубы

лимерного защитного покрытия трубы покрытия, и средств контроля параметров ЭХЗ. Для этого на наружной поверхности образца трубы был выполнен ряд глухих отверстий (10 отверстий в два ряда) в металлополимерной оболочке и утяжеляющем покрытии (рис. 4). При изготовлении отверстий была обеспечена сохранность основного полимерного защитного покрытия трубы.

В комплект размещаемых средств контроля вошли электроды сравнения (ЭС) длительного действия «ДЭС-1» (разработка ООО «Газпром ВНИИГАЗ») на основе хлорсеребряного электрода сравнения со вспомогательным электродом – датчиком потенциала; датчики скорости коррозии ИКП 10-012;

трехэлектродные датчики линейного сопротивления.

В предварительно подготовленные отверстия одного ряда были установлены электроды сравнения (ЭС), в первые три отверстия второго ряда смонтированы датчики линейного сопротивления. В оставшихся двух отверстиях второго ряда были установлены датчики скорости коррозии ИКП 10-012. Все места размещения контрольных элементов были заполнены бетоном того же состава, что и в основном утяжеляющем покрытии. Маркированные выводы от элементов контроля (электродов сравнения, датчиков линейного сопротивления и индикаторов коррозии) были выведены на поверхность исследуемого образца трубы, а заполненные бетоном отверстия с размещенными элементами контроля затем надежно герметизировали с применением битумно-полимерного покрытия (рис. 5).

Оборудованный для дальнейших испытаний образец трубы поместили в подготовленную испытательную ванну (рис. 6). В качестве внешней среды использовался приготовленный водный раствор NaCl концентрацией 167 мг/л. Для исключения прямого металлического и механического контакта

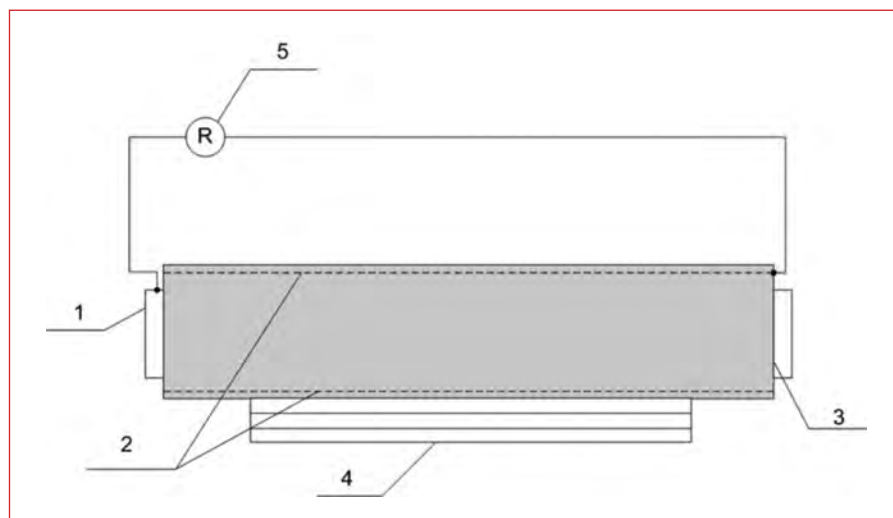


Рис. 3. Схема проведения измерений для оценки качества защитного покрытия под бетоном в металлополимерной оболочке:
1 – труба, 2 – металлополимерная оболочка, 3 – бетон, 4 – диэлектрическая подставка, 5 – измеритель сопротивления



Рис. 4. Подготовленный к установке элементов контроля образец трубы

образца трубы с ванной использовались деревянные опорные элементы.

ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении исследований подключение контролирующих элементов и измерение их параметров осуществлялось в соответствии со схемами, приведенными на рисунке 7.

В процессе исследований периодически контролировались следующие параметры внешней испытательной среды:

- удельное сопротивление электролита, Ом·м;



Рис. 5. Установка электродов сравнения, датчиков линейного сопротивления и индикаторов коррозионных процессов в образец и их заливка бетоном

- общее солесодержание, мг/л;
- pH;
- температура, °С.

Исследование проводилось для режимов без внешнего наложенного тока электрохимической защиты (без катодной защиты) и с внешним наложенным током (с катодной защитой). Во втором случае подача защитного тока осуществлялась с формированием электрической цепи в рабочей среде с использованием внешнего источника тока и размещенного в ванной анода, изготовленного из стали Ст3.

РЕЖИМ БЕЗ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

После погружения образца в ванну с электролитом измерили на-



Рис. 6. Исследуемый образец трубы, помещенный в ванну с электролитом

чальные параметры установлены на образце контролирующих элементов. Затем подключили к трубе через приваренный катодный вывод датчики потенциала каждого из установленных электродов сравнения ДЭС-1 и один из датчиков скорости коррозии ИКП. Вывод второго индикатора коррозионных процессов (ИКП) оставили свободным.

После подключения осуществлялись периодические измерения контрольных параметров установленных датчиков. Измерения про-

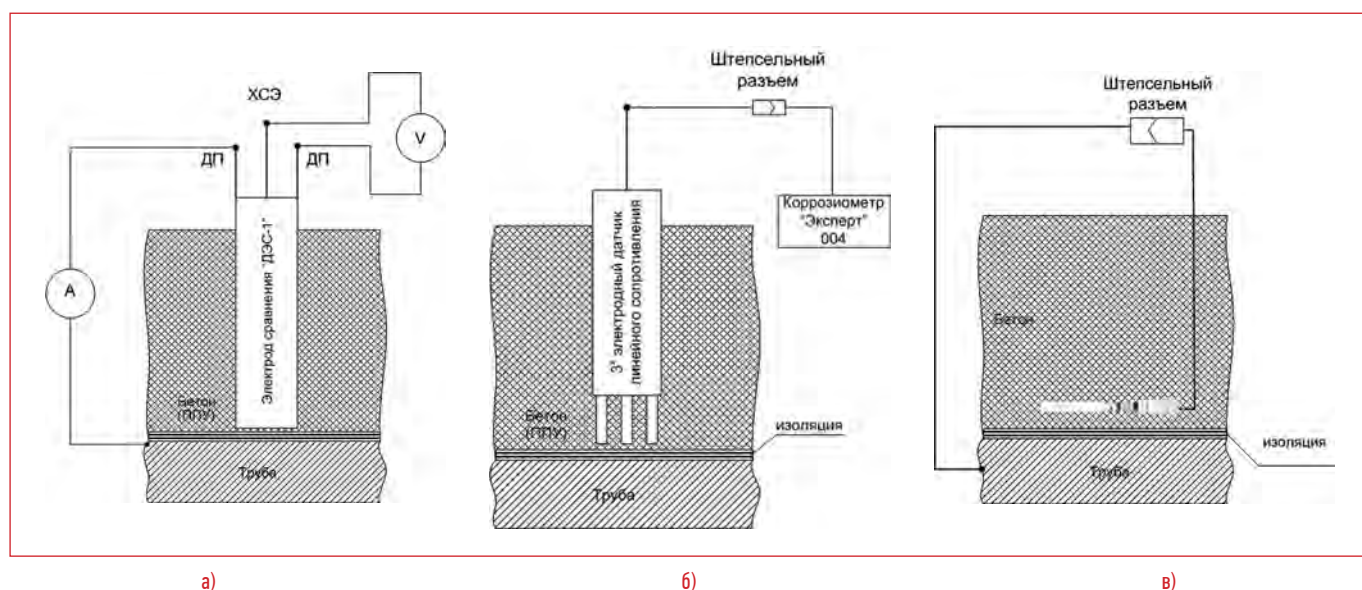


Рис. 7. Схема подключения элементов контроля:

а – электрода сравнения ДЭС-1 с датчиком потенциала; б – датчика линейного сопротивления; в – датчика скорости коррозии (индикатора коррозионных процессов)

водили периодически до момента выравнивания потенциала на всех ЭС (ДЭС-1), что было зафиксировано как достижение потенциала свободной коррозии на всех датчиках потенциала (в пределах ± 50 мВ). График изменения потенциалов на датчиках ЭС во времени представлен на рисунке 8.

Установление естественного потенциала на датчиках потенциала ДЭС-1 происходило в пределах 50 часов, по мере промокания бетона от открытой части торцевой поверхности образца, причем потенциал возрастал не на всех электродах одновременно, а начиная от наиболее близко расположенного к открытому торцу бетонного покрытия ЭС. Потенциал на датчиках увеличивался до тех пор, пока концентрация соли в бетоне не приблизилась к концентрации в растворе электролита, что подтверждает сравнение естественного потенциала на стальной пластинке, погруженной в электролит, и потенциалов на датчике потенциала ЭС.

Динамика изменений показателей скорости коррозии в ходе проведенных измерений на трех датчиках линейного сопротивления (по схеме измерений на рисунке 7б) представлена на рисунке 9.

Анализ полученных данных (рис. 9) показывает:

- скорость коррозии стали в бетоне через 3 часа после погружения датчиков в бетон является незначительной (единицы мкм в год);
- незначительное увеличение скорости коррозии через 30 суток после погружения датчиков в бетон может являться подтверждением того, что через открытый торец бетонного покрытия произошло промокание бетона и поступление солевого раствора в небольшом количестве из электролита.

РЕЖИМ С КАТОДНОЙ ЗАЩИТОЙ

Схема проведения исследований с внешним наложенным катодным током представлена на рисунке 10. В разрыв цепи соединения датчи-

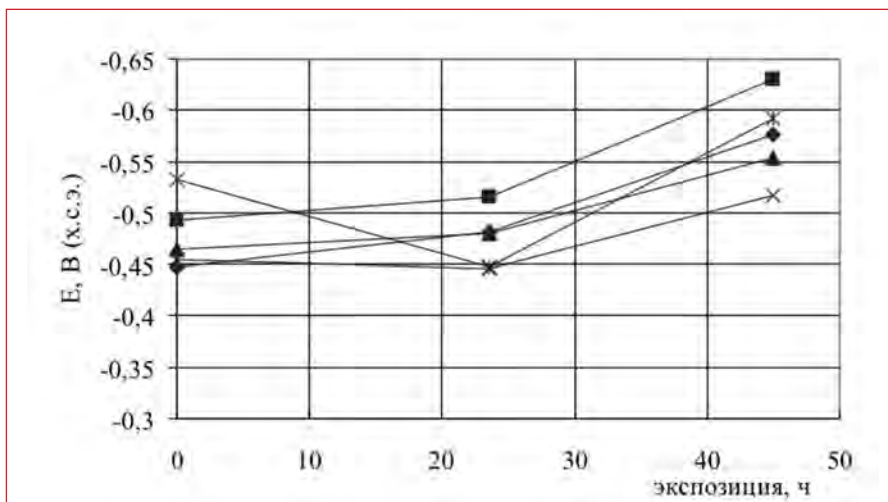


Рис. 8. Изменение потенциалов на датчиках потенциала ДЭС-1 в зависимости от времени экспозиции электродов в бетоне

ка потенциала каждого ЭС с трубкой подключали микроамперметр (для контроля тока, натекающего на датчик потенциала каждого ЭС) согласно рисунку 7а. Контроль потенциала осуществляли измерением потенциала между вторым выводом от датчика потенциала и измерительного электрода каждого ЭС вольтметром с входным сопротивлением не менее 10 МОм. В емкость со стороны изолированного края образца помещали анод и подключали его к плюсовой клемме источника постоянного тока (ИПТ). В разрыв цепи «анод – ИПТ» уста-

навливали миллиамперметр, подключив минусовой вывод ИПТ к трубопроводу.

Измерения плотности тока на каждом датчике потенциала проводили при последовательном изменении выходного тока ИПТ по следующему алгоритму (mA): 5, 10, 20, 30, 40, 50, 100 (рис. 11). На каждом вновь установленном режиме ИПТ проводили не менее трех измерений. График свидетельствует о том, что в моделируемых условиях наложения катодной поляризации достигнута поляризация от $-0,75$ до $-1,22$ В и обеспечен ток поляриза-

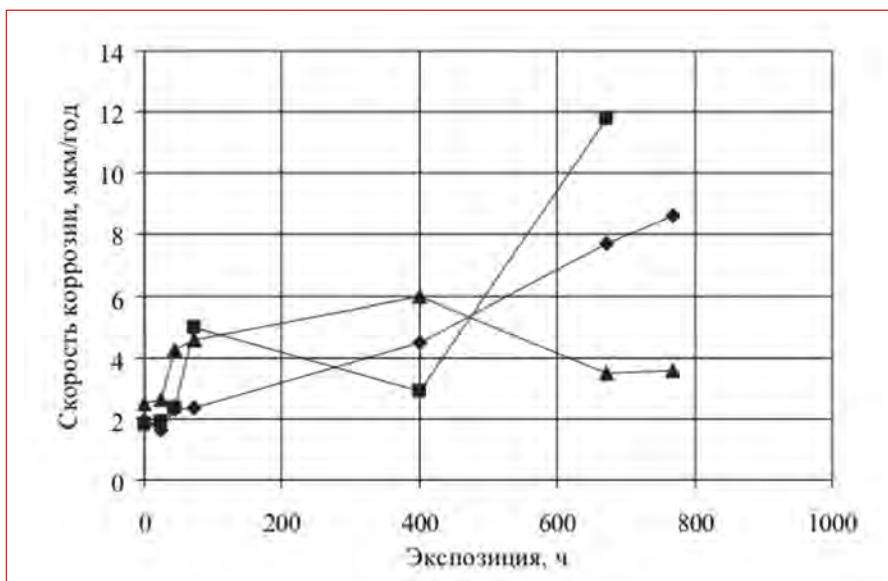


Рис. 9. Показатель скорости коррозии на датчиках линейного сопротивления в зависимости от экспозиции образца

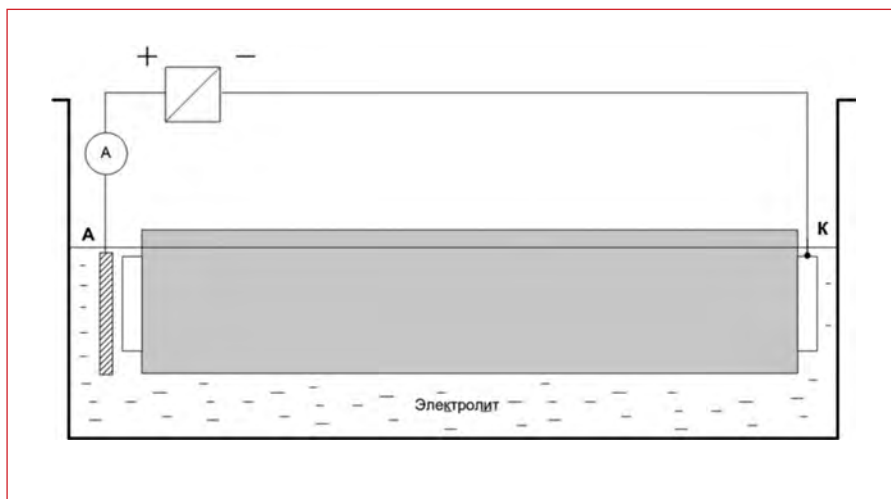


Рис. 10. Схема формирования внешнего наложенного тока

ции плотностью до 20 A/m^2 (2000 мкА/см^2). Данный диапазон потенциалов позволяет задавать поляризацию трубопровода в морских условиях в соответствии с критериями защищенности: смещение потенциала на 100 мВ отрицательнее естественного потенциала; минимальный защитный потенциал

$-0,8 \text{ В}$; максимальный защитный потенциал $-1,1 \text{ В}$.

Оценка результатов исследований позволяет подтвердить возможность обеспечения электрохимической защиты дефектов в основном противокоррозионном покрытии трубопровода под полимерной и металлополимерной оболочкой и

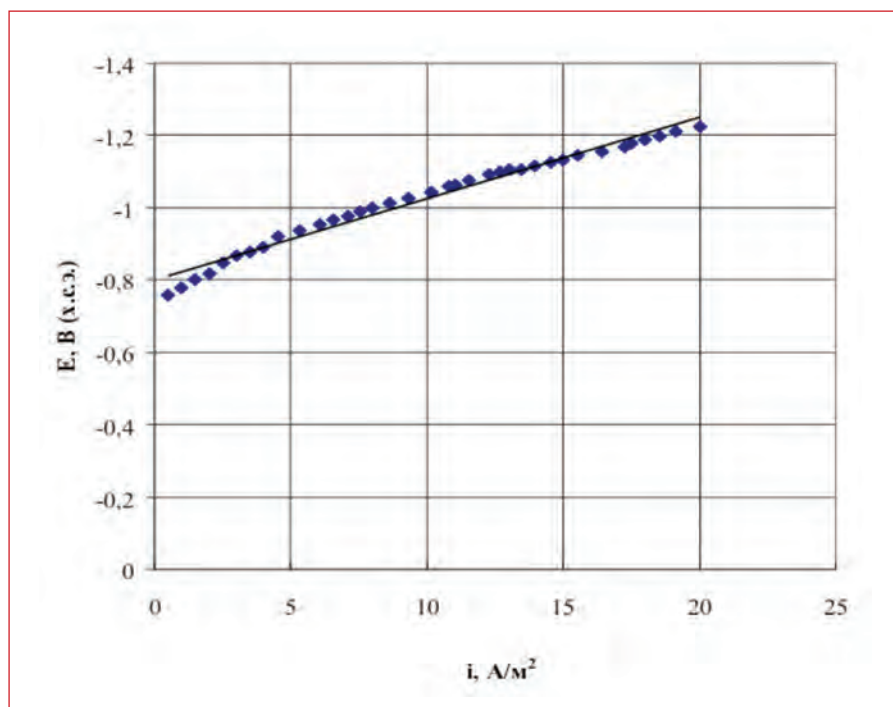


Рис. 11. Кривая зависимости потенциала СтЗ от величины плотности катодного тока

бетонным покрытием в соответствии с российскими [1, 2] и международными нормативными требованиями [3].

ВЫВОДЫ

По результатам экспериментальных стендовых исследований и испытаний установлено:

- трубопроводы, выполненные из труб с утяжеляющими покрытиями в металлополимерной оболочке и уложенные в грунт, могут быть защищены наложенным током катодной защиты или протекторной защитой через неизолированные торцевые поверхности утяжеляющего покрытия на каждой трубе;
- контроль защищенности металла трубы под металлополимерной оболочкой и утяжеляющим покрытием может быть реализован с применением датчиков потенциала, электродов сравнения и датчиков скорости коррозии, установленных в утяжеляющем покрытии под металлополимерной оболочкой;
- при контроле защищенности датчики скорости коррозии позволяют проводить численную оценку скорости коррозии при наличии и отсутствии катодной поляризации;
- электроды сравнения в комплекте с датчиками потенциала позволяют измерять необходимый для оценки критериев защищенности набор параметров: потенциал свободной коррозии, потенциал при воздействии катодной защиты, смещение потенциала, плотность катодного тока;
- в условиях катодной поляризации модельного участка трубопровода с утяжеляющим покрытием в металлополимерной оболочке подтверждена возможность обеспечения электрохимической защиты дефектов основного полимерного покрытия в соответствии с нормативными критериями защищенности.

Литература:

1. ГОСТ 51164-98 Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
2. СТО Газпром 9.0-001-2009 Защита от коррозии. Основные положения.
3. ISO 15589-2:2012 Petroleum, petrochemical and natural gas industries. Cathodic protection of pipeline transportation systems. Part 2: Offshore pipelines.