

# Альтернативный метод оценки состояния защитных покрытий законченных строительством трубопроводов

Возросшие требования к противокоррозионной защите законченных строительством трубопроводов приводят к созданию новых типов изоляционных покрытий, имеющих высокие диэлектрические характеристики до  $10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$ , а также к необходимости внедрения совершенных диагностических инструментов и методов качества контроля вводимых в эксплуатацию трубопроводных систем. Практический опыт плановых обследований технического состояния защитных покрытий находящихся в эксплуатации трубопроводов показывает, что значительная часть выявленных дефектов в изоляции связаны с браком, допущенным в ходе их строительства или капитального ремонта. В статье рассматривается возможность оперативной и достоверной диагностики изоляции трубопроводов после их строительства или ремонта.

## ► Ключевые слова / keywords:

- инновационный метод контроля изоляционных покрытий трубопроводов, метод магнитной локации, диагностический комплекс серии «Орион»;
- pipelines isolation coatings innovative control method, location magnetic method, «Orion» series diagnostics complex

Анализ статистики аварийности [1,2] на магистральных трубопроводах (МТ) показывает, что значительная часть аварий связана с коррозионными повреждениями металла трубы: 56% — 2008 г.; 25% — 2009 г.; 46% — 2010 г. и 30% — 2011 г. Имеющийся уровень аварийности МТ обусловлен несколькими причинами:

- естественное старение и разрушение изоляционного покрытия, появление новых дефектов;
- влияние человеческого фактора, создание дефектов в ходе строитель-

ства, некачественный плановый ремонт дефектов изоляционного покрытия;

- отсутствие достоверной информации о наличии дефектов изоляционного покрытия, местах их локализации и величине.

Создание эффективных мер диагностики изоляционных покрытий может значительно уменьшить влияние первых двух причин и сократить экономические потери от аварий. В данной статье рассматривается возможность оперативной и достоверной диагности-



**Ю. Е. Григорашвили**  
Кандидат технических наук, директор ООО «Технические Идеи Новых Технологий», Москва



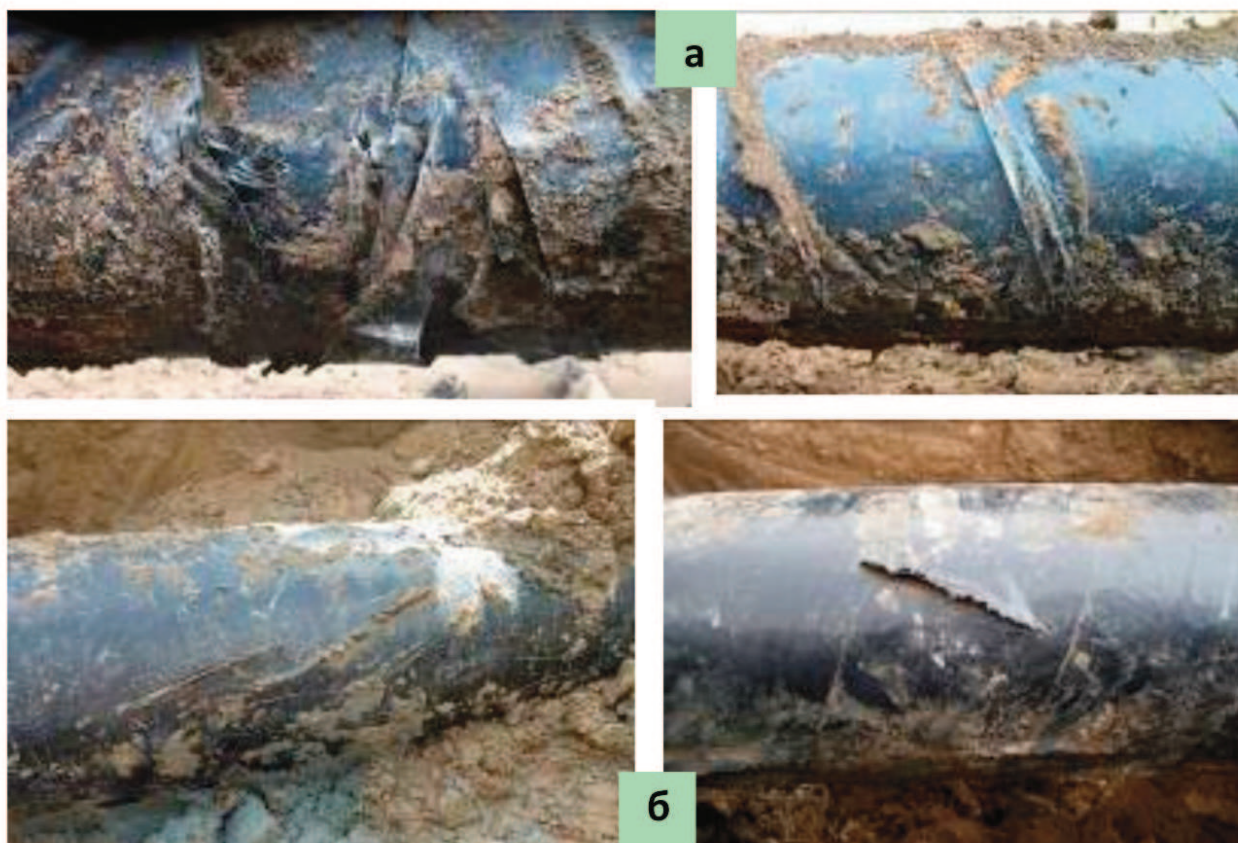
**В. В. Притула**  
Доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, советник президента ОАО ВНИИСТ, Москва



**Ю. В. Стицей**  
Кандидат технических наук, член-корреспондент РАЕН, президент ООО НПП «Техносфера-МЛ», Москва

ки изоляции трубопроводов после их строительства или ремонта.

В последние годы появились новые типы изоляционных материалов, обладающих высокими механическими и диэлектрическими характеристиками, совершенные технологии их нанесения на трубопроводы. В практике строительства новых трубопроводных систем стали использоваться трубы с изоляционным покрытием, нанесенным в заводских условиях, имеющим начальное электрическое сопротивление до  $10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$ . Это должно способствовать



**рисунок 1.**  
Внешний вид изоляционного покрытия в шурфах

повышению уровня противокоррозионной защиты трубопровода. Однако усилия, которые принимаются для совершенствования типов изоляционных покрытий, способов их нанесения на трубопроводы, часто не дают ожидаемых результатов в повышении уровня противокоррозионной защиты из-за брака, который допускается строительными предприятиями при проведении капитального ремонта изоляции или выполнении строительства новых трубопроводов. Практика плановых обследований находящихся в эксплуатации трубопроводов, их вскрытий по результатам контроля показывает, что большая часть выявленных дефектов в изоляционном покрытии связана с браком, допущенным в ходе их капитального ремонта или строительства. На рисунке 1 приведены дефекты в изоляционном покрытии, выявлены в ходе плановых обследований.

На рисунке 1а представлены характерные повреждения изоляции, связанные с нарушением технологических процессов ее нанесения в трассовых условиях при выполнении капитального ремонта. На рисунке 1б представлены характерные повреждения заводской изоляции трубы, допущенные строителями в ходе выполнения работ.

С одной стороны, для достижения высокого уровня противокоррозионной защиты магистральных трубопроводов необходимо повысить требования к строительным предприятиям, выполняющим работы по капитальному ремонту изоляционных покрытий и строительству новых трубопроводов. С другой стороны, необходимо внедрять современные приборы и инновационные технологии по оценке защитных покрытий законченных капитальным ремонтом или строительством магистральных трубопроводов на стадии сдачи их в эксплуатацию.

#### Метод катодной поляризации и его недостатки

В соответствии с требованием ГОСТ Р 51164-98 для оценки состояния защитных покрытий законченных строительством трубопроводов, рекомендовано использование метода катодной поляризации и приборов, основанных на измерениях потенциалов «труба-земля». Данный метод контроля состояния защитных покрытий разработан несколько десятилетий назад и основан на возможностях существовавшей инструментальной базы. За последние годы появились новые типы приборов и современные методы конт-

роля состояния защитных покрытий, в сравнении с которыми метод катодной поляризации (далее МКП) [5] имеет ряд существенных недостатков, а именно:

Метод громоздок, требует выполнения трудоемких предварительных работ с использованием различных типов приборов и методов неразрушающего контроля: измерение электрического сопротивления грунтов вдоль контролируемого участка, расчет и устройство временного заземления, контроль целостности изоляционного покрытия и иные операции. Увеличение количества используемых приборов на подготовительном этапе работ может привести к росту суммарной ошибки в МКП.

Метод имеет косвенный характер оценки состояния защитных покрытий, т. к. не отвечает на вопрос: с каким начальным электрическим сопротивлением изоляционного покрытия вводится в эксплуатацию участок, получивший по данным катодной поляризации оценку «хорошее» или «удовлетворительное».

Метод подвержен негативному влиянию «человеческого» фактора на конечные результаты катодной поляризации. Например, ошибки, допущенные в измерениях электрического со-

противления грунтов, могут привести к неверному выбору из таблиц [5] значения величины разности потенциалов «труба-земля», на основе которой оценивается качество изоляционного покрытия участка.

Метод чувствителен к блуждающим токам и влиянию токов электрохимической защиты соседних коммуникаций.

Метод имеет ограничение в использовании его в северных регионах в условиях непроходимых болот, где, как правило, капитальный ремонт изоляции или строительство новых трубопроводов проводится в зимний период времени, а также на участках переходов магистральных трубопроводов под реками и озерами.

Другим недостатком МКП является использование строительными компаниями для контроля целостности изоляционных покрытий приборов типа УКИ, АНПИ, Поиск, MoData и др., обладающих существенными недостатками, которые напрямую отражаются на качестве и достоверности контроля технического состояния защитных покрытий. К этим недостаткам относятся:

- необходимость точного позиционирования электродов относительно оси трубопровода;
- зависимость результата контроля от плохо контролируемого фактора: переходного электрического сопротивления между грунтом и электродом;
- используемые методики поиска повреждений изоляционного покрытия в основном сводятся к выявлению аномалий типа «сквозной дефект», а не к оценке электрического сопротивления защитного покрытия. Эти методики на практике не выявляют мелкие дефекты в изоляции общей площадью менее 20...50 мм<sup>2</sup>, распределенные на локальных участках трубопровода, что негативно отражается на эффективности МКП;
- дискретный характер измерений — рекомендуемый начальный шаг 10 м, а при локализации дефекта — до одного м.

Использование приборов магнитометрического контроля для оценки целостности изоляционных покрытий, таких как: PCM, RD, C-Scan-2010, — также сопряжено с фактом получения недостоверных результатов. На качество и достоверность контроля состояния защитных покрытий в случае использования данных приборов сильно влияет точность позиционирования



**рисунок 2.**

Диагностические комплексы серии «Орион»

магнитной антенны относительно оси трубопровода, как по вертикали и горизонтали, так и по направлению обследования. Кроме этого, данные приборы имеют невысокую производительность из-за дискретного способа измерения.

Вышеперечисленные приборы имеют общие недостатки:

- Высокий уровень негативного влияния «человеческого» фактора на результаты обследования, связанный с необходимостью строгого соблюдения технологии контроля во время выполнения полевых работ.
- Приборы имеют ограничение в применении на заболоченных участках местности при глубинах более 0,5 м, в зимний период времени, при заложении трубопровода на глубину более 10 м, при обследовании изоляции трубопроводов с водной поверхности на участках их переходов через реки и озера и др. недостатки.

### Инновационный метод контроля изоляционных покрытий законченных строительством магистральных трубопроводов

В последнее десятилетие появились новые диагностические системы и технологии для наружного контроля технического состояния изоляционных покрытий подземных трубопроводов. Авторами работы [6] представлена инновационная разработка в области наружной диагностики трубопроводного транспорта — оборудование и технология магнитной локации. На рисунке 2 представлены модификации диагностических комплексов серии «Орион»

(далее Комплекс), в которых реализован принцип магнитной локации.

Комплекс серии «Орион-3» предназначен для работы в полевых условиях и переносится оператором на спине. Комплекс «Орион-5» предназначен для работы на технологических площадках. Антенна Комплекса переносится вручную и имеет вес 0,8 кг.

В Комплекс заложено несколько идей, которые при практической его работе позволяют получить более достоверный результат по сравнению с перечисленными выше приборами. Комплекс имеет режим работы, при котором взаимное положение трубопровода и магнитной антенны может быть произвольным. Это достигается использованием матрицы ориентированных датчиков, разнесенных в пространстве. Для выбранной конфигурации датчиков разработан математический процессор, который позволяет рассчитать расстояние по перпендикуляру между началом координат на магнитной антенне и линией трубы, а так же углы между системой координат магнитной антенны и трубы. Это позволяет реализовать технологию непрерывного контроля в движении со скоростью до 5 км/час. Роль оператора сведена к прохождению трассы обследуемого участка над осью трубопровода с технологической точностью позиционирования  $\pm 0,5...1,0$  м. Допускается значительное отклонение от оси при необходимости обойти заросли или заболоченные места. При этом непрерывность измерений сохраняется, если нет полной потери сигнала.

В алгоритм расчета глубины и локального значения заложена не только



**рисунок 3.**

Процесс обследования трубопровода комплексом «Орион-3»

модель бесконечного и прямого проводника, но и проводника конечной длины, а так же проводника с изгибом. Имеется блок программы, который рассчитывает реальную протяженность дефекта, поскольку зона изменения магнитных полей значительно больше размера самого дефекта.

Важным фактором для получения точного и достоверного результата является учет токов на частоте тестового генератора, вытекающих из дефектов, токов от соседних коммуникаций и токов идущих от заземления к диагностируемой трубе.

Все перечисленные алгоритмы приближают модель трубопровода к реальной ситуации. Учет всех названных факторов во многих случаях дает существенную поправку к расчету по идеальной модели, что и приводит к более точному и достоверному результату диагностики. Для поиска мест и величины нарушений используется решение системы трансцендентных нелинейных уравнений методом многопараметрической оптимизации. Другими словами, математический процессор ищет такое распределение токов в пространстве, при котором на каждом из датчиков приемной матрицы будет реально измеренное магнитное поле. В поле используются быстрые алгоритмы оптимизации, при камеральной об-

работке алгоритмы требуют больших временных затрат, но дают высокую точность расчета.

Прибор имеет аналоговую и цифровую селекцию сигналов по частоте. Это позволяет устойчиво принимать тестовый сигнал вблизи ЛЭП, в коридоре из нескольких ниток трубопроводов.

Необходимо отметить, что в состав комплекса входит цифровой генератор тестового сигнала, который имеет коэффициент гармоник не более 1 % при мощности сигнала в нагрузке 150 Вт и КПД более 97 %.

Все перечисленные алгоритмы и технические параметры Комплекса дают возможность выделить и рассчитать тестовый ток только в диагностируемом трубопроводе и с большой точностью. Величина тока наряду с углами ориентации магнитной антенны в глобальной системе координат, координатами GPS, расстоянием по радиодальномеру от контрольной точки и временем записывается в память с частотой 1 кГц. Весь массив данных используется на втором этапе для камеральной обработки и составления отчета.

Программа камеральной обработки Комплекса (Программа) на основании данных, полученных в ходе выполнения полевых работ, рассчитывает в ав-

томатическом режиме обработки следующие характеристики: интегральное сопротивление изоляции, интегральную площадь дефектов и остаточный ресурс. Алгоритм расчета параметров изоляционного покрытия построен на использовании формул и номограмм из ВРД 39-1.10-026-2001 (ВРД).

Многолетняя практика использования Комплекса для контроля технического состояния изоляционных покрытий трубопроводов, многочисленные (более 100) вскрытия, проведенные заказчиками, отзывы заказчиков, показали, что Комплекс является высокоточным инструментом при контроле изоляции.

Проведенные в последнее время работы позволяют утверждать, что диагностический Комплекс и технология магнитной локации:

являются эффективными средствами для проведения оценки защитных покрытий законченных строительством трубопроводов с целью приемки их в эксплуатацию;

позволяют создать современную, оперативную и менее затратную методику (далее Методика), свободную от недостатков, которые присутствуют в методе катодной поляризации.

Наряду с методом катодной поляризации для оценки состояния изоляционных покрытий вводятся количе-

таблица 1

Данные о техническом состоянии ИП обследованного участка МТ

Категория ЗП	Длина участка (м)	$R_{из}$ (Ом×м²)	Sд (мм²/м²)	Расстояние от КИП (м)		Координаты участков по WGS-84			
						Начало участка		Начало участка	
				начало	начало	долгота	широта	долгота	широта
Отл.	652	300000	0,0	0	652	49,179563	50,630755	49,179472	50,630700
Оч. пл.	2,4	14,5	4760	652	654,4	49,179472	50,630700	49,179430	50,630677
Отл.	85	300000	0,0	654,4	753	49,179430	50,630677	49,179422	50,630672
Пл.	18	130,1	58,30	753	771	49,179422	50,630672	49,179422	50,630672
Отл.	101	300000	0,0	771	872	49,179422	50,630672	49,353185	50,732295
Удов.	6	1320	357,4	872	878	49,353185	50,732295	49,353200	50,732302
Пл.	37	670	220	413	450	49,311987	50,708263	49,311987	50,708263
Удов.	64	105370	0,007	450	514	49,311987	50,708263	49,311967	50,708250
Хор.	279	290000	0,01	514	793	49,311967	50,708250	49,311875	50,708188
Удов.	72	2460	16,5	793	865	49,311875	50,708188	49,311848	50,708185
Хор.	10	275000	0,0	865	875	49,311848	50,708185	49,311848	50,708185
Удов.	93	5065	13,1	875	968	49,311848	50,708185	49,311797	50,708157
Удов.	968	3800		0	968	49,179563	50,630755	49,311797	50,708157

ственные характеристики. Оценка «отличное» соответствует величине сопротивления, указанной в паспорте труб, из которых смонтирован участок магистрального трубопровода; оценка «хорошее» соответствует диапазону величин интегрального сопротивления, равному:

$$(R_3 - 2g) \leq R_{из}^{сop} < R_{зав}^* \quad (1)$$

где:

$R_{зав}^*$  — величина сопротивления изоляционного покрытия, нанесенного в заводских условиях;

$g$  — коэффициент, характеризующий изменение сопротивления изоляции во времени, 1/год;

$g = 5\%$  для заводских одно-трехслойных полиэтиленовых и полипропиленовых покрытий;

$g = 8\%$  для полимерных покрытий на основе терморезистивных смол и битумно-полимерных мастик.

Остальные категории качества изоляционного покрытия устанавливаются равными критериям, указанным ВРД [7].

На рисунке 3 представлен процесс обследования участка трубопровода в зимний период времени. Оценка защитных покрытий законченных строительством трубопроводов с использованием Комплекса и технологии магнитной локации производится следующим образом [6]: к одному из концов обследуемого участка трубо-

провода подключается генератор Комплекса — «Орион-ГП», имеющий рабочую частоту 280 Гц. Заземление генератора осуществляется с помощью изолированного провода длиной 50...60 м и металлического штыря, который вбивается в грунт. После подачи тока генератора в трубопровод оператор проводит обследование состояния изоляционного покрытия, проходя с Комплексом над трубопроводом.

Координирование и привязка контролируемых параметров обследуемого трубопровода осуществляется как с помощью радиодальномера «Орион-РД», так и GPS. По завершению обследования Программа Комплекса формирует таблицу данных о техническом состоянии изоляционного покрытия, пример которой представлен в таблице 1.

В конце таблицы Программа Комплекса формирует информацию об интегральном сопротивлении изоляции в границах всего участка, рассчитанного на основании падения тока генератора на его длине. При получении оценки «отличное» или «хорошее» оформляется Акт на сдачу законченного строительством участка МТ в эксплуатацию. В случае получения оценки «удовлетворительное» Программа Комплекса формирует Карту восстановительного ремонта (далее Карта) изоляционного покрытия обследованного участка магистрального трубопровода. Алгоритм формирования Карты состоит в следующем:

- На первом этапе Программа рассчитывает как увеличится интегральное сопротивление изоляции в границах участка, в случае замены локальных мест, имеющих категорию качества «очень плохое» и «плохое» на категорию «хорошее». Если расчетное значение не достигло величины «хорошее», то реализуется второй этап оптимизации ремонта.
- На втором этапе Программа рассчитывает как будет увеличиваться интегральное сопротивление изоляции в границах участка в случае замены локальных мест, имеющих категорию качества «удовлетворительное», начиная с минимальных значений, на категорию «хорошее». При достижении расчетного значения интегрального сопротивления изоляционного покрытия в границах участка категории «хорошее» Программа завершает оптимизацию ремонта и формирует Карту. В таблице 2 приведен пример оформления Карты восстановительного ремонта обследованного участка трубопровода. По завершению ремонта проводится повторное обследование интегрального сопротивления изоляционного покрытия в границах отремонтированных участков. При получении оценки «хорошее» на отремонтированных участках законченный строительством трубопровод сдается в эксплуатацию. Предлагаемая методика оценки состояния изоляции на законченных

таблица 2

Карта ремонта защитного покрытия								
Категория ЗП	Длина участка (м)	Rиз (Ом×м2)	Расстояние от КИП (м)		Координаты участков в системе СП			
			начало	конец	Начало участка		Конец участка	
					долгота	широта	долгота	широта
Оч. пл.	2,4	14,5	652	654,4	49,179472	50,630700	49,179430	50,630677
Пл.	18	130,1	753	771	49,179422	50,630672	49,179422	50,630672
Удовл.	6	1320	872	878	49,353185	50,732295	49,353200	50,732302
Пл.	37	670	413	450	49,311987	50,708263	49,311987	50,708263
Удовл.	72	2460	793	865	49,311875	50,708188	49,311848	50,708185
Удовл.	93	5065	875	968	49,311848	50,708185	49,311797	50,708157
<i>Планируемая категория качества защитного покрытия после проведения ремонта</i>								
Хор.	968	285 000	0	968	49,179563	50,630755	49,311797	50,708157

строительством магистральных трубопроводах была апробирована в дочерних предприятиях ОАО «АК «Транснефтепродукт» и ОАО «Газпром» в 2012–2013 гг. Объектами обследования были законченные строительством МТ на участках их переходов под водными преградами, имеющие глубины от 5 до 9 м. Задачей обследования было обследование состояния изоляционных по-

крытий участков, которые не были приняты методом катодной поляризации. Использованные строительными предприятиями приборы не выявили явных сквозных повреждений в защитных покрытиях. Контроль состояния защитных покрытий был выполнен с использованием комплексов «Орион-3» и «Орион-3М». Проведенные обследования показали, что на обследован-

ных участках имелись локальные места, где интегральное сопротивление изоляционного покрытия имело категорию «удовлетворительное» согласно классификации [7], на которых расчетная интегральная площадь дефектов в изоляции имела величину до 0,18 мм<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. По завершению обследования были сформированы и направлены заказчику Карты ремонта защитных покрытий законченных строительством трубопроводов.

**ВЫВОДЫ**



1. Представленный метод оценки состояния защитных покрытий законченных строительством, капитальным ремонтом или реконструкцией магистральных трубопроводов с использованием диагностических комплексов серии «Орион» и технологии магнитной локации имеет существенные преимущества перед методом катодной поляризации на основании следующих аргументов:
2. Методика не требует выполнения специальных подготовительных работ, обладает высокой производительностью, она менее затратная. Негативное влияние «человеческого» фактора на результаты оценки технического состояния изоляционного покрытия сведено до минимума.
3. Методика позволяет компаниям, эксплуатирующим магистральные трубопроводы, иметь информацию о начальном электрическом сопротивлении изоляции вводимого в эксплуатацию законченного строительством трубопровода.
4. Методика позволяет проводить работы как в летний, так и в зимний периоды времени, на заболоченных участках местности, имеющих глубины до 0,8 м без использования плавсредств и с водной поверхности с использованием плавсредств при глубинах заложения трубопровода до 30 м.
5. Методика позволяет проводить оценку защитных покрытий на законченных строительством трубопроводах, расположенных в северных регионах России на заболоченных участках местности.
6. Методика позволяет проводить оценку состояния изоляции не только на законченных строительством трубопроводах, но и законченных капитальным ремонтом отдельных участков, которые врезаны в магистральный трубопровод.
7. Методика имеет высокий уровень помехозащищенности от влияния на результаты контроля электромагнитных помех, вызванных системой ЭХЗ соседних трубопроводов или блуждающими токами.
8. Методика может стать эффективным средством контроля над качеством работ строительных предприятий со стороны трубопроводных транспортных компаний.

1. Лисанов М.В., Савина А.В., Дектярев Д.В., Самусева Е.А. Анализ российских и зарубежных данных по аварийности на объектах трубопроводного транспорта // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 7. С. 16-22.
2. Годовые отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Российской Федерации за 2008 — 2011 г. URL: www.gosnadzor.ru
3. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
4. ГОСТ 9.602-89. Единая система защиты от коррозии. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. 2005.
5. Инструкция по контролю состояния изоляции, законченных строительством участков трубопроводов катодной поляризации. 1995. ВНИИСТ.
6. Григорашвили Ю. Е., Стицей Ю. В., Иваненков В. В. Использование технологии магнитной локации при определении коррозионной защищенности магистральных трубопроводов // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2009. № 4. С. 29-35.
7. ВРД-39.1.10-026-2001. Методика оценки фактического положения и состояния подземных трубопроводов. 2001. ВНИИГАЗ.