

УДК 621.643.412:006.354

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ  
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОПРОВОДОВ**

*канд. техн. наук, доц. В.Л. БАСИНЮК, канд. техн. наук. Е.И. МАРДОСЕВИЧ,  
И.И. ГЕРАСИМЧИК, Л.З. ХАНЕЦКИЙ*  
(Институт механики и надежности машин НАН Беларуси, Минск),  
*И.А. ШКУРСКИЙ*  
(ОАО «Белтрансгаз», Минск),  
*д-р техн. наук, проф. В.А. СТРУК, канд. техн. наук Е.В. ОВЧИННИКОВ*  
(Гродненский государственный аграрный университет, Гродно)

*Приведены результаты исследований в области создания комплексной системы оценки механических и электрических прочностных свойств покрытий для электроизолирующих элементов газопроводов, работающих в напряженно-деформированном состоянии.*

**Введение.** Электроизолирующие покрытия фланцев магистральных трубопроводов [1 – 8], эксплуатирующиеся в атмосферных условиях, должны обеспечить электрическую прочность электроизоляции соединения не менее 3 кВ, иметь сопротивление не менее 10 кОм, выдерживать контактные давления до 260 МПа и обеспечивать конструкционную прочность соединения, не уступающую прочности трубы. Одновременно с этим адгезионная прочность покрытия с основой, параметры влагопоглощения и коррозионная стойкость должны быть приемлемыми. Поэтому полная оценка их служебных свойств не может быть осуществлена использованием только стандартизованных методик и средств, которые при приведенных выше требованиях, как правило, не позволяют совместить испытания на электрическую и механическую прочность. Кроме того, целесообразнее использование как неразрушающих, так и разрушающих средств контроля. Поэтому, учитывая высокую стоимость изолирующего фланцевого соединения и повышенные требования к надежности, должны быть технически обоснованно разделены испытания, проводимые на образцах-свидетелях, отдельных фланцах и фланцевом соединении в сборе.

**Цель исследований** – разработка методов и средств исследований, обеспечивающих комплексный экономически обоснованный и технически целесообразный сквозной контроль служебных свойств электроизолирующих покрытий на всех стадиях создания электроизолирующего соединения фланцев.

Создание эффективных средств оценки служебных характеристик электроизолирующих покрытий должно обеспечивать решение взаимосвязанных между собой основных задач, включая:

- существенное сокращение сроков создания и освоения покрытий новой продукции, при одновременном повышении достоверности результатов исследований и существенном расширении возможностей выбора наиболее рациональных экономически и технически обоснованных новых и существенно модернизированных конструкционных и технологических решений;
- обеспечение оперативности и достоверности контроля качества изготовления и сборки изделий;
- обеспечение повышенной надежности изделия в условиях эксплуатации;
- использование минимально возможной номенклатуры нестандартизованных методических и испытательных средств.

**Методика проведения работ по созданию средств испытаний электроизолирующих покрытий фланцевых соединений.** В основу проведения исследований были положены следующие основные принципы, позволяющие разделить организационное построение методов и средств испытаний по степени их трудоемкости и сложности с учетом обеспечения требований повышенной стабильности качественных параметров изготавливаемых изделий:

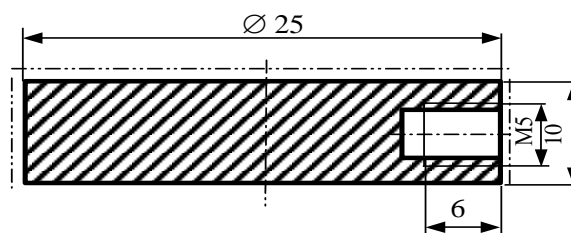
- служебные свойства покрытий, обеспечиваемые их толщиной и параметрами исходного материала, могут быть определены с использованием образцов-свидетелей;
- служебные свойства покрытий, определяемые стабильностью технологического процесса формирования покрытия на фланцах, должны определяться после нанесения покрытия до их сборки в узел;
- служебные свойства, которые могут быть определены после сборки фланцев с покрытиями в узел;
- система контроля должна включать мероприятия, обеспечиваемые внешними, по отношению к изготовителю, исполнителями, реализация которых позволяет поддерживать требуемую стабильность всех технологических операций.

В результате анализа основных факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на служебные свойства покрытий, к первой группе были отнесены: механическая прочность; электрическое сопротивление и электрическая прочность; водопоглощение и коррозионная стойкость.

Во вторую группу служебных свойств вошли: геометрические размеры покрытий, размещенных на соединительных элементах фланцев с покрытиями; внешний вид, отсутствие пористости, толщина и равнотолщинность покрытия со стороны уплотнительных поверхностей.

Третья группа параметров – герметичность при регламентированном внутреннем давлении в трубопроводе; пробивное напряжение изолирующей части покрытия и ее электрического сопротивления, определяемые для фланцевого соединения в сборе.

Использование образцов-свидетелей (рис. 1) позволяет использовать минимально возможный объем нестандартизованных методических и аппаратных средств для реализации наиболее сложного вида совмещенных испытаний на механическую и электрическую прочность. В частности, для оценки электрической прочности и прочности покрытий при сжатии были использованы методики ГОСТ 4651 и ГОСТ 6433.3.



а)



б)

Рис. 1. Параметры (а)  
и внешний вид (б) образцов-свидетелей

Учитывая возможность использования образцов-свидетелей с относительно небольшими габаритными размерами, был разработан и изготовлен комплект относительно простого оборудования (рис. 2), включающий нагружающее устройство с электроизолированными инденторами и полуавтоматический блок для создания плавно увеличивающегося постоянного и переменного напряжения до 3 кВ (выдержка при этом напряжении в течение 1 мин или регистрация пробивного напряжения при его возникновении до достижения значения 3 кВ).

Нагружающее устройство состоит из нижней опорной площадки 1, вертикальных стоек 2, верхней опорной площадки 3, серийного ручного гидравлического нагружателя с выдвижным регулируемым по вы соте штоком 5, серийного образцового динамометра 6, электроизолированной опоры для установки образца 7, электроизолированного индентора 8, шарика для самоустановки опорной площадки индентора на поверхности испытываемого покрытия, элементов 10 для фиксирования положения динамометра, индикатора контроля деформаций полимерного покрытия 11, оснастки 12 для крепления индикатора, упора 13, электродов 14, 15, рукоятки ручного гидравлического нагружателя 16, индикатора контроля усилия нагружения 17 и защитного ударопрочного ограждения. Испытываемый образец размещается в зоне А, а его полимерное покрытие – в зоне Б.

Анализ результатов исследований электрической и механической прочности разработанной для изолирующих фланцев полимерной композиции на основе термопластичного «Терамида» показал, что они практически идентичны в эксплуатационном диапазоне температур. Поэтому испытания могут проводиться при нормальной температуре.

При оценке полученных результатов определяется среднее арифметическое значение электрической прочности ( $\bar{E}_{np}$ ) в кВ/мм:

$$\bar{E}_{np} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{U_i}{\bar{t}_i} \quad (1)$$

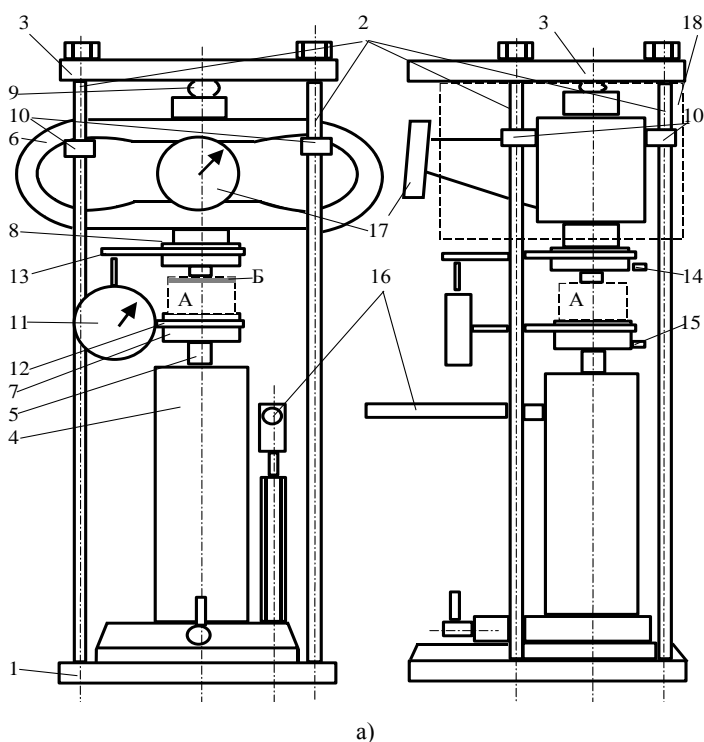
и среднее квадратическое отклонение значений электрической прочности ( $E_{np}$ ):

$$S = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где  $U_i$  – пробивное напряжение, кВ, (в случае переменного напряжения, кВ<sub>Эфф</sub>);  $\bar{t}_i$  – средняя арифметическая толщина образца в месте расположения электрода, мм;  $n$  – количество измерений;

$$\Delta_i = \bar{E}_{np} - U_i / \bar{t}_i \quad (3)$$

Определение разрушающей нагрузки, электрического сопротивления, водопоглощения, электрической прочности и коррозионной стойкости покрытия в соответствии производится не менее чем на трех образцах-свидетелях. При получении неудовлетворительных результатов испытаний хотя бы по одному из показателей проводят повторное испытание (по этому показателю) на шести образцах с покрытиями, сформированными из той же партии исходного полимерного материала.



б)



в)

Рис. 2. Схема (а) и внешний вид (б) устройства для комплексной оценки прочности покрытия на сжатие (а) и полуавтоматического блока определения электрической прочности покрытия в напряжено-деформированном состоянии (в)

Ряд таких параметров, как присоединительные размеры, обеспечивающие сборку фланцев после нанесения покрытия, его внешний вид, качество, толщина и равномерность со стороны уплотнительных поверхностей, могут быть определены только после формирования электроизолирующих покрытий на фланце. Поэтому они должны контролироваться до сборки фланцев в соединение на каждом из используемых для последующей сборки фланцев с покрытием.

Учитывая возможность нарушения сплошности покрытий при сборке и повышенные требования к надежности фланцевых соединений каждое из соединений должно проходить приемосдаточные испыта-

ния, которые проводят для каждого соединения фланцев в сборе. При этом только эти испытания позволяют определить герметичность соединения при регламентированном соответствующей методикой испытаний давления в трубопроводе.

Периодические испытания проводятся не реже одного раза в два года на соответствие всем требованиям настоящих технических условий, что позволяет поддерживать стабильность исходных компонентов и технологии изготовления.

Схема организации испытаний, обеспечивающая стабильное качество и требуемую надежность изготовления фланцевого соединения, показана в таблице.

Схема организации испытаний

Показатели	Испытания		Нормируемый параметр
	приемосдаточные	периодические	
Испытания материала покрытий на образцах-свидетелях			
Разрушающая нагрузка	–	+	> 260 МПа
Электрическое сопротивление	–	+	> 10 кОм
Водопоглощение покрытия	–	+	< 0,01 %
Электрическая прочность покрытия	–	+	> 3 кВ
Коррозионная стойкость покрытия	–	+	< 0,064 г/(см <sup>2</sup> · год)
Контроль служебных характеристик покрытий на фланцах с изоляционным покрытием до сборки			
Разрушающая нагрузка	–	+	> 260 МПа
Электрическое сопротивление	–	+	> 10 кОм
Водопоглощение покрытия	–	+	< 0,01 %
Электрическая прочность покрытия	–	+	> 3 кВ
Испытания фланцев с изоляционными покрытиями в сборе			
Герметичность и прочность фланцев в сборе	+	+	По ТУ
Пробивное напряжение электрической изоляции фланцев в сборе	–	+	3 кВ
Электрическое сопротивление покрытия фланцев в сборе, не менее, кОм	+	+	> 10 кОм
Комплектность фланцев в сборе	+	–	По ТУ
Маркировка фланцев в сборе	+	–	По ТУ

Типовые испытания проводятся при изменении конструкции фланцев, материалов или технологии изготовления в объеме не менее 2 штук фланцев в сборе.

При получении неудовлетворительных результатов испытаний хотя бы по одному из показателей проводят повторное испытание (по этому показателю) на четырех фланцах в сборе с электроизолирующими покрытиями, сформированными из той же партии исходного материала.

Результаты повторных испытаний являются окончательными. Контроль качества электроизолирующего покрытия, сформированного на поверхности детали методом вихревого напыления в псевдосжиженном слое, осуществляемый на образцах-свидетелях, на фланцах с покрытиями и фланцах в сборе, включает внешний осмотр и оценку свойств покрытия.

Контроль электрического сопротивления покрытия на образцах осуществляется прибором, обеспечивающим измерение электрического сопротивления в диапазоне 9...12 кОм с точностью ±1 %.

Водопоглощение покрытий на образцах определяется в соответствии с ГОСТ 12175. Испытания покрытий на атмосферную коррозию проводятся по ГОСТ 9.719 с определением изменения массы образца. Контроль внешнего вида и качества электроизолирующего покрытия на фланцах до их сборки в соединение осуществляется в соответствии с ГОСТ 9.410.5.9. Толщина и равнотолщинность покрытия на фланцах до их сборки в соединение определяется толщиномерами, обеспечивающими измерение толщины покрытия не менее 1,0 мм с погрешностью измерения не более ± 0,1 мм в соответствии с ГОСТ 17035, например, толщиномерами МТЦ-2М (регистрация в реестрах средств измерений РБ № 0320178402, РФ № 25537-03). Герметичность и прочность фланцев с покрытиями в сборе проверяют путем их опрессовки водой на специальном стенде. При проведении испытаний давление поднимают плавно.

Измерение давления осуществляют манометром класса точности не менее 1,5 по ГОСТ 2405 со шкалой, превышающей измеряемое давление не менее чем на 30 %. После снижения давления до атмосферного проводят визуальный контроль подвергшихся испытаниям деталей на отсутствие протечек.

Испытания на прочность пробным гидравлическим давлением проводятся в течение 2 мин. Допускается опрессовку водой фланцев в сборе производить ручным гидравлическим насосом, например, марки ГН-200.

Контроль электрического сопротивления электрической изоляции фланцев между собой после их сборки осуществляется прибором, обеспечивающим измерение электрического сопротивления в диапазоне 9...12 кОм с точностью  $\pm 1\%$ .

Правильно собранные изолирующие фланцы при испытании в сухом помещении мегомметром типа М1508 или М1608 должны показывать электрическое сопротивление не менее 10 кОм. Маркировка, упаковка, внешний вид фланцев в сборе проверяется визуально внешним осмотром и сличением с требованиями технических условий.

Все испытания, методы проведения которых не содержат особых указаний, проводятся при нормальных климатических условиях.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Разработанная иерархическая система комплексной оценки механических и электрических прочностных свойств покрытий для электроизолирующих элементов газопроводов, включающая технически обоснованную последовательную оценку их служебных свойств на образцах-свидетелях, фланцах с покрытиями до их сборки в соединение и фланцевого соединения в сборе. Данная система комплексной оценки позволяет:

- минимизировать трудоемкость осуществления контроля и применение дорогостоящего нестандартизованного методического и контрольно-испытательного оборудования при оценке электроизолирующих, прочностных и взаимосвязанных с их обеспечением в реальных условиях эксплуатации свойств полимерных композиционных покрытий;

- обеспечить сквозной контроль электроизолирующих, прочностных и связанных с качеством сборки фланцевого соединения геометрических параметров;

- поддерживать требуемый уровень технологического обеспечения процесса формирования композиционных полимерных электроизолирующих покрытий на фланцах, их последующей сборки в соединение и контроля его качественных характеристик.

**Выводы.** Разработана система комплексной оценки механических и электрических прочностных свойств покрытий для электроизолирующих элементов газопроводов, включенных в состав технических условий на изготовление изолирующих фланцевых соединений [9]. В их основу положены принципы гарантированного обеспечения качества изготовления при минимизации затрат на контроль служебных свойств в процессе их изготовления путем использования ограниченной номенклатуры нестандартизованных методических и испытательных средств и их применения на образцах-свидетелях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – М.: Изд-во стандартов.
2. ГОСТ 12815-80. Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на  $P_y$  от 0,1 до 20,0 МПа (от 1 до 200 кгс/см<sup>2</sup>). Типы. Присоединительные размеры и размеры уплотнительных поверхностей. – М.: Изд-во стандартов.
3. ГОСТ 12821-80. Фланцы стальные приварные встык на  $P_y$  от 0,1 до 20 МПа (от 1 до 200 кгс/см<sup>2</sup>). Конструкция и размеры. – М.: Изд-во стандартов.
4. ГОСТ 25660-83. Фланцы изолирующие для подводных трубопроводов на  $P_y$  10,0 МПа (100 кгс/см<sup>2</sup>). Конструкция. – М.: Изд-во стандартов.
5. ГОСТ 356-80. Арматура и детали трубопроводов. Давления условные пробные и рабочие. Ряды. – М.: Изд-во стандартов.
6. ГОСТ 15180-86. Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов.
7. ГОСТ 12816-80. Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на  $P_y$  от 0,1 до 20,0 МПа (от 1 до 200 кгс/см<sup>2</sup>). Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов.
8. ГОСТ 17380-2001. Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов.
9. ТУ РБ 190410065.001-2004. Фланцы в сборе изолирующие. – М.: Изд-во стандартов.