

Ю. А. БАЛОШИН, М. Г. РЫЖОВ, П. Н. СИЛИН, А. А. СОРОКИН, М. А. УСТИНСКОВ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЛИЖНЕПОЛЬНОГО ВЧ-ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ПОВЕРХНОСТНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЛИЭТИЛЕНОВОГО ПОКРЫТИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Рассматривается метод оценивания изменений относительной поверхностной активности полиэтилена после его термической обработки. Метод базируется на использовании разработанного датчика и автономного индикатора для определения относительного изменения диэлектрической проницаемости поверхностного слоя.

*Ключевые слова:* активность, диэлектрическая проницаемость, электромагнитное поле, антенна, датчик, индикатор.

При прокладке трубопроводов используются трубы с заводским покрытием из полиэтилена. Для защиты сварных швов, образующихся при укладке магистральной трубы, требуется соответствующее покрытие. При этом необходима стыковка заводского полиэтиленового покрытия с защитным покрытием сварного шва. Полиэтилен обладает чрезвычайно низкой поверхностной активностью, что создает трудности при стыковке его с любыми другими материалами. Поэтому для обеспечения герметичной изоляции сварного шва используются различные методы увеличения поверхностной активности полиэтилена (термические, химические, радиационные и т.д.). При этом происходит частичная деструкция поверхности полиэтилена, что позволяет добиться повышения адгезии (сцепления) с наносимым на него материалом.

Наиболее технологичным и безопасным методом увеличения поверхностной активности полиэтилена является термическая обработка (например, пламенем газовой горелки). Однако при этом требуется контролировать изменение поверхностной активности полиэтилена, так как при термическом воздействии активность нелинейно изменяется в зависимости от температуры и времени обработки. При недостаточном или, наоборот, слишком большом воздействии степень активности, обеспечивающая хорошую адгезию, не достигается. Показателем оптимальности термической обработки может служить изменение диэлектрической проницаемости поверхности полиэтилена. Для оценки степени изменения диэлектрической проницаемости предлагается метод ближнепольного высокочастотного (ВЧ) зондирования, который был апробирован авторами при исследовании функциональной активности биологических тканей [1]. В основе метода лежит регистрация отклика резонансной системы, с включенной в нее малой антенной, на возмущение квазистационарного (ближнего) поля этой антенны. Возмущение обуславливается локальными изменениями (неоднородностями) диэлектрической проницаемости исследуемой поверхности биообъекта [1] или, как в настоящей статье, исследуемой поверхности полиэтилена. Отношение размера вибратора антенны к длине волны составляет менее 0,0001. Антенна является частью резонансной системы генератора датчика. При расположении датчика на поверхности полиэтилена квазистационарное поле антенны взаимодействует с его поверхностным импедансом. Следствием этого взаимодействия является изменение частоты генерируемых колебаний [2]. При этом обеспечивается высокая чувствительность к изменению диэлектрической проницаемости термически обработанной поверхности полиэтилена [3, 4].

В целях проверки возможности оценивания степени поверхностной активности покрытия были проведены эксперименты с четырьмя видами полиэтилена. Исследовались образцы покрытия, применяемого для защиты металлических труб от воздействий окружающей среды. Для оценки степени активности был использован датчик, в котором размер вибратора антенны составлял 25 мм, а частота генератора 4 МГц. Участки каждого из образцов полиэтилена подвергались обработке пламенем газовой горелки с разной интенсивностью в смежных точках.

Исследование образцов осуществлялось с помощью стенда, содержащего первичный датчик, блок преобразования и сопряжения с компьютером, компьютер с программным обеспечением для обработки результатов экспериментов. Измерения производились при позиционировании датчика в трех точках поверхности, подлежащей термической обработке. В ходе эксперимента были произведены три серии замеров. Для снижения влияния неточностей позиционирования датчика из-за неровности поверхности результаты измерений, полученные в трех сериях замеров, были усреднены. Относительная чувствительность датчика была в пределах 0,0001. В качестве опорного значения степени поверхностной активности ( $\alpha$ ) при измерениях было принято значение, соответствующее этому показателю для участка, не обработанного пламенем горелки. Для наглядности в качестве примера на рис. 1 показаны относительные средние значения отклонений от опорного значения для образца полиэтилена на металле. Длительность обработки поверхности в точке 2 превышала время обработки в точках 1 и 3.

При проведении экспериментов по оценке степени активности поверхностного слоя покрытия на металлической трубе было выяснено следующее:

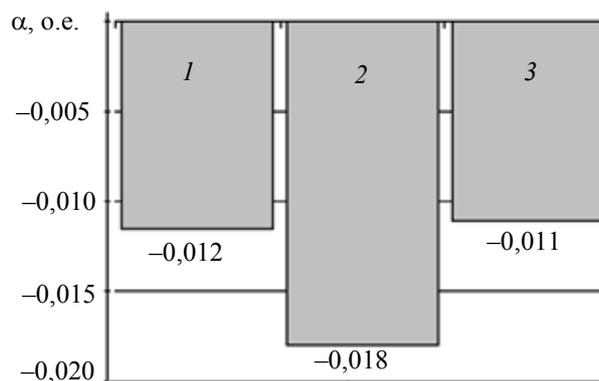


Рис. 1

1) уровень информационного сигнала значительно уменьшается из-за влияния металла на поле сенсора датчика;

2) вследствие малого уровня сигнала существенное значение приобретают флюктуации сигнала датчика, вызванные нестабильностью его позиционирования в определенной точке; это связано с начальной неровностью поверхности и с динамикой пальцев руки оператора и ее перемещением в пространстве.

Для устранения или нивелирования последствий, отмеченных в п. 2, сенсорная часть датчика была помещена с натягом в отверстие постоянного магнита. Использование магнита позволяет жестко позиционировать датчик (помещенный оператором в требуемой точке) на стальной трубе и одновременно обеспечивает защиту сенсора датчика от внешних возмущающих полей. Положение датчика с магнитной насадкой на фрагменте трубы с полиэтиленовым покрытием иллюстрируется рис. 2.

Для приближения эксперимента к реальным условиям работы оператора был создан автономный индикатор степени поверхностной активности с микропроцессором (рис. 3).



Рис. 2



Рис. 3

При апробации автономного индикатора оценивалась степень активности участков поверхности на фрагменте стальной трубы. Для этой цели покрытие было обработано пламенем газовой горелки, так что на некотором участке обеспечивалось изменение степени активности

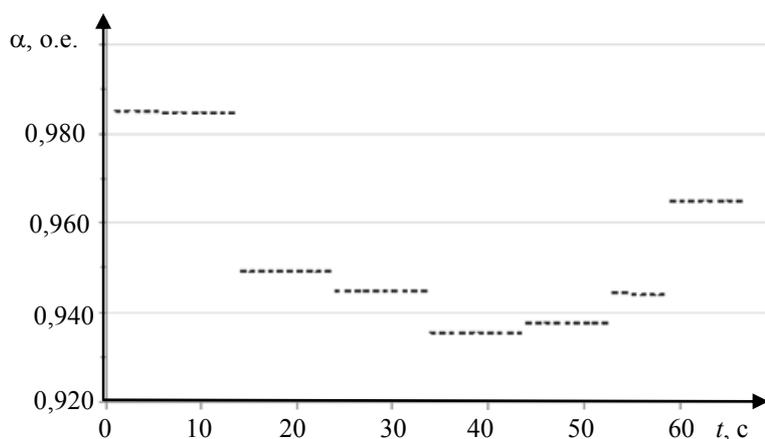


Рис. 4

поверхностного слоя. Далее, чувствительный датчик последовательно, начиная с точки размещения его на участке, не обработанном пламенем горелки, устанавливался на 5—9 с в оцениваемых точках обработанной поверхности полимера. Результаты оценки, в относительных единицах, в реальном времени фиксировались автономным индикатором и отображались на его жидкокристаллическом экране в виде горизонтальных черточек-ступенек (рис. 4).

Значение 1,0 по оси ординат соответствует сигналу датчика в точке привязки. Положение каждой ступеньки показывает различие степени активности поверхностного слоя покрытия в оцениваемых точках. Как следует из графиков, оценка после округления осуществляет-

ся на уровне третьего знака после запятой, что подтверждает высокую чувствительность автономного индикатора. По оси абсцисс отмечена длительность фиксации сигнала.

Результаты экспериментов показывают, что измерения уровня активности индикатором, отнесенные к измерениям для необработанных участков исследуемых образцов полиэтилена, имеют выраженную устойчивость, свою для каждого образца.

Важным следствием проведенных экспериментов является вывод о существенном снижении влияния внешних возмущений на результат оценивания благодаря применению магнитной насадки-экрана на датчике.

Перед применением индикатора по назначению для каждого вида полиэтилена специалистами заранее определяется доверительный интервал реакции индикатора, соответствующий достижению необходимой степени адгезии соединяемых защитных покрытий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашин Ю. А., Сорокин А. А., Арсеньев А. В., Дудин М. Г., Волченко А. Н. Метод диагностики функциональной активности тканей и органов биообъектов и устройство для его реализации // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 3. С. 37—43.
2. Stuchly S. S., Sibbald C. L., Anderson J. M. A new aperture admittance model for open-ended waveguides // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 1994. Vol. 42. P. 192—198.
3. Sensing volume of open-ended coaxial probes for dielectric characterization of breast tissue at microwave frequencies / D. M. Hagl, D. Popovic, S. C. Hagness et al. // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 2003. Vol. 51. P. 1194—1206.
4. Миниатюрная высокотемпературная сверхпроводящая антенна СВЧ-диапазона / А. Ю. Климов, З. Ф. Красильник, А. Н. Резник и др. // Сверхпроводимость: физика, химия, техника. 1993. Т. 6, № 11—12. С. 2150—2159.

#### Сведения об авторах

- Юрий Александрович Балашин** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра физики; E-mail: baloshin1940@mail.ru
- Михаил Георгиевич Рыжов** — канд. техн. наук; ФГУП Российский научный центр „Прикладная химия“, Санкт-Петербург; ст. науч. сотрудник
- Павел Николаевич Силин** — канд. техн. наук; ЗАО „БИУРС“, Санкт-Петербург; директор по науке
- Анатолий Александрович Сорокин** — канд. техн. наук, доцент; Балтийский государственный технический университет „Военмех“ им. Д. Ф. Устинова, кафедра радиоэлектронных систем управления, Санкт-Петербург; E-mail: an\_sog@mail.ru
- Михаил Аркадьевич Устинков** — аспирант; Балтийский государственный технический университет „Военмех“ им. Д. Ф. Устинова, кафедра радиоэлектронных систем управления, Санкт-Петербург; E-mail: ustinkov@mail.ru

Рекомендована кафедрой  
физики СПб НИУ ИТМО

Поступила в редакцию  
25.04.11 г.