

## **ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

*Павлюк Р.П.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Фурса Т.В., д.т.н., в. н. с. Проблемной  
научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и  
полупроводников*

В настоящее время невозможно найти технических, транспортных, строительных конструкций, в котором не было бы примера использования композиционных материалов. Веское подтверждение такому прогрессирующему процессу - ежегодно увеличивающееся потребление стекловолокна в гражданском производстве.

Стеклопластики применяются во многих областях народного хозяйства и технических отраслей. Механическая прочность, хороший коэффициент светопропускания, способность окрашиваться в любой цвет требуемой интенсивности и другие технические характеристики позволяет использовать стеклопластики в строительстве в виде плоских и гофрированных листов, рулонных материалов, многослойных панелей и фонарей. Для хранения химических продуктов применяют стеклопластики, стойкие к коррозии, которые оказались намного экономичнее нержавеющей стали.

В электротехнике стеклопластики используют в качестве электроизоляционных и конструкционных материалов, а также для изделий при изготовлении высоковольтных выключателей, панелей, деталей, электрических машин, корпусов приборов и т.д. Широкое применение нашли стеклопластики в авиационной промышленности и ракетно-космической технике, где используются их высокая удельная прочность, стойкость к вибрационным нагрузкам, а также к кратковременному действию высоких температур.

Коррозионная стойкость, антимагнитные свойства и технологичность определили использование стеклопластиков в судостроении в производстве лодок и катеров, а также речных и морских судов со значительным водоизмещением, глубоководных аппаратов и тому подобное. В химической, нефтяной и горнодобывающей отраслях нашли применение стеклопластиковые трубы и емкости из стеклопластиков для транспортировки и хранения

агрессивных жидкостей и шахтного водоотлива, а также вентиляционные системы для отвода паров и газов [1].

Таким образом, стеклопластики имеют широкое распространение в производстве, в том числе в авиастроении и в производстве строительных материалов, что накладывает на их качество определенные требования. Поэтому детали, сделанные из стеклопластиков, необходимо контролировать и проверять на наличие пор, трещин и прочих дефектов.

Для контроля полимерных композитных материалов применяют акустические, тепловые, электрические и другие методы неразрушающего контроля. Основными из них (по числу решаемых задач), на данный момент, являются ультразвуковые методы [2].

Одним из перспективных направлений в данной области являются механоэлектрические преобразования [3-5]. В данной статье будут рассмотрены эксперименты, посвященные изучению механоэлектрических преобразований в композиционных полимерных материалах.

Экспериментальные исследования проводились с помощью лабораторного программно-аппаратного комплекса, позволяющего производить импульсное механическое возбуждение образцов и регистрацию электрического отклика на произведенное воздействие. Импульсное механическое возбуждение образцов производится с помощью электромеханического ударного устройства с нормированной силой удара. Для регистрации электрического отклика, возникающего при упругом ударном возбуждении образцов, используется дифференциальный электрический датчик. Электрический измерительный приемник расположен на расстоянии 2mm от поверхности образца, тем самым созданы условия для бесконтактного приема. Сигналы с электрического датчика регистрируются с помощью многофункциональной платы ввода-вывода "NI PCI-6251", совмещенной с ЭВМ, позволяющей осуществлять оцифровку временной реализации электрического сигнала.

Для проведения исследований были использованы сделанные из эпоксидной смолы и армированные стеклотканью образцы размером  $200 \times 100 \times 10$  mm.

На первом этапе исследований, чтобы исключить влияние структурных неоднородностей на параметры электрического отклика, были проведены исследования на полимерном объекте без армирующей стеклоткани. Электромеханическое ударное устройство в процессе эксперимента располагалось в центре образца. Всего, для каждого из четырех образцов с разным количеством армирующей стеклоткани (от

нуля до трёх слоёв), было проведено 20 измерений (по 10 измерений с каждой стороны, 5 из которых были выполнены в одном направлении, а 5 - в противоположном).

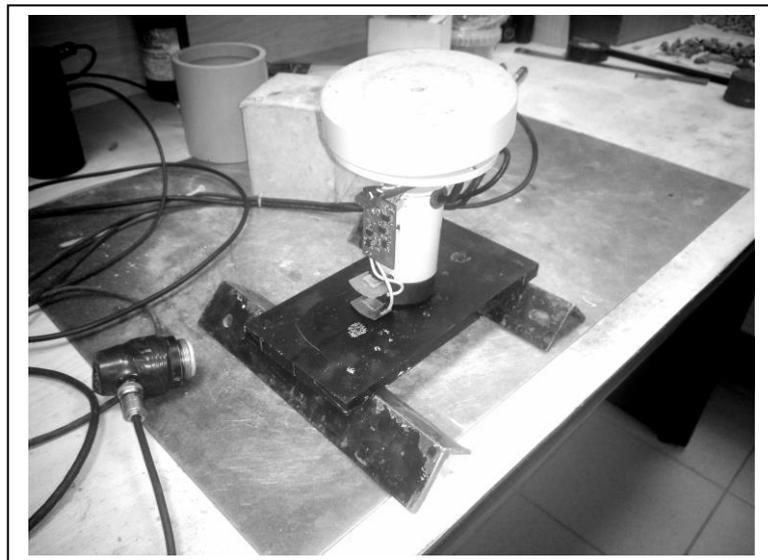


Рис. 1. Фотография, иллюстрирующая данный эксперимент

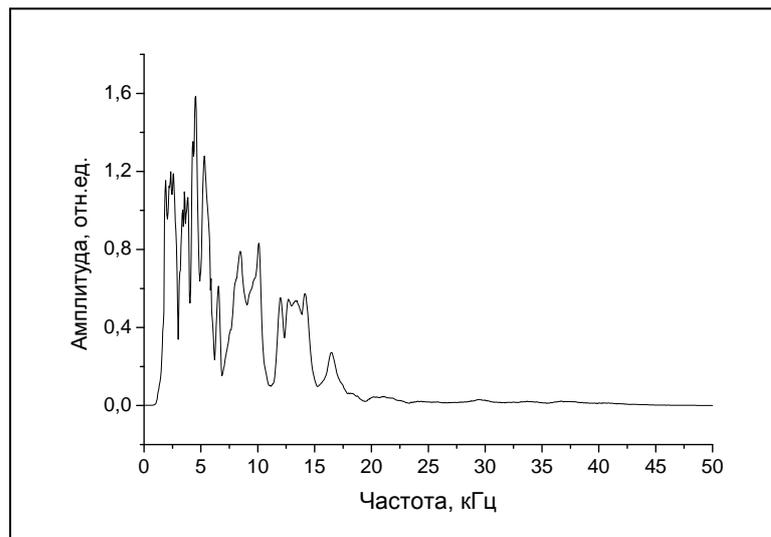


Рис. 2а. Амплитудно-частотная характеристика образца без слоя стеклоткани

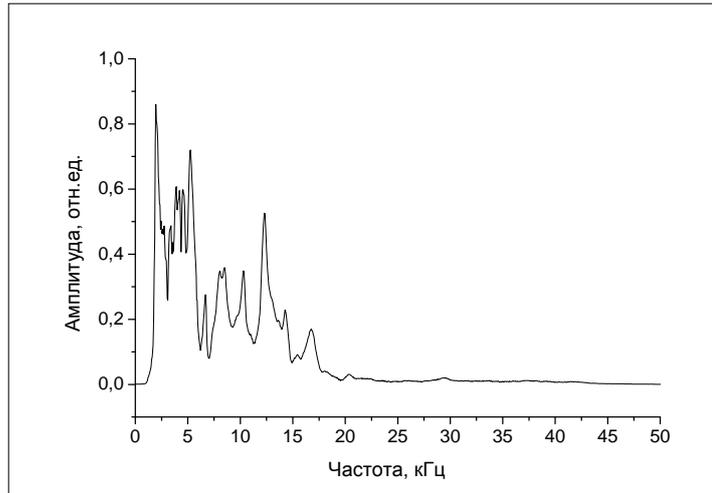


Рис. 2б. Амплитудно-частотная характеристика образца с одним слоем стеклоткани

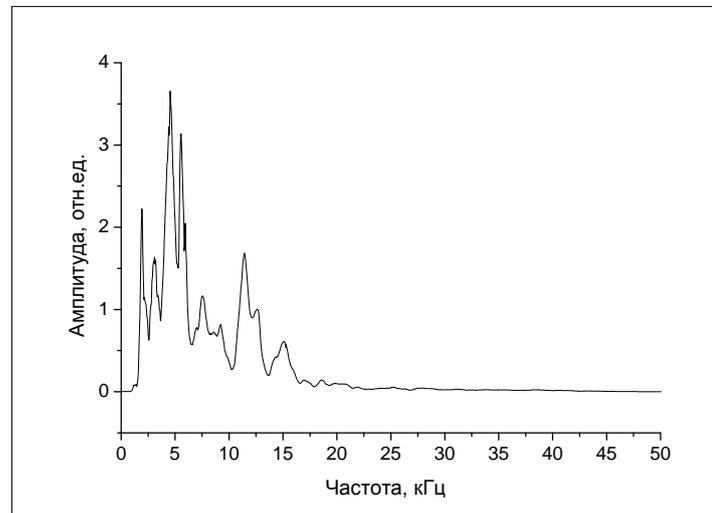


Рис. 2в. Амплитудно-частотная характеристика образца с двумя слоями стеклоткани

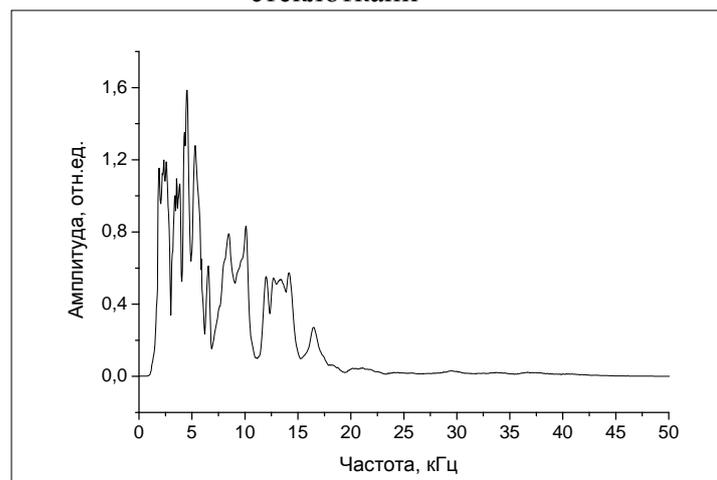


Рис. 2г. Амплитудно-частотная характеристика образца с тремя слоями стеклоткани

На рис. 2 приведены спектры сигналов, зарегистрированные из полимерных образцов в процессе увеличения количества слоев армирующей стеклоткани. Чтобы не загромождать график, на нем приведены усредненные спектры для каждого образца.

Электрический отклик может являться следствием нескольких причин.

Одним из возможных механизмов появления электромагнитного сигнала в диэлектрических материалах может быть механизм, связанный с возбуждением поверхностного электростатического заряда упругой волной. В момент возбуждения акустической волны, возникают волны напряжений. Такие волны, выходя на поверхность материала, могут возбуждать колебания электростатических зарядов, всегда имеющих в той или иной мере на поверхности высокоомных диэлектриков. Колебания этих зарядов должны сопровождаться электромагнитным излучением.

В качестве возможного механизма появления электромагнитных сигналов в диэлектриках можно выделить явление, заключающееся в том, что при действии импульсной механической нагрузки по всему объему материала распространяется волна смещения, которая воздействует на границы раздела фаз или разного рода неоднородностей. Неоднородности или границы раздела фаз являются зонами, где наиболее резко выражены градиенты перемещений, деформаций и напряжений. Кроме того, на этих границах возникают двойные электрические слои, образование которых обусловлено накоплением и разделением зарядов разного знака. Движение зарядов этих слоев в поле акустических колебаний, возникающих при деформировании материала, приводит к появлению переменного электрического поля.

Обработка полученных экспериментальных данных осуществлялась с помощью специальной программы в среде программирования LabView. Были проведены два сравнительных анализа.

В первом случае были найдены центры тяжести спектров для каждого образца. Данные позволяют сделать вывод, что увеличение количества слоев стеклоткани в объекте смещает спектр в область более низких частот.

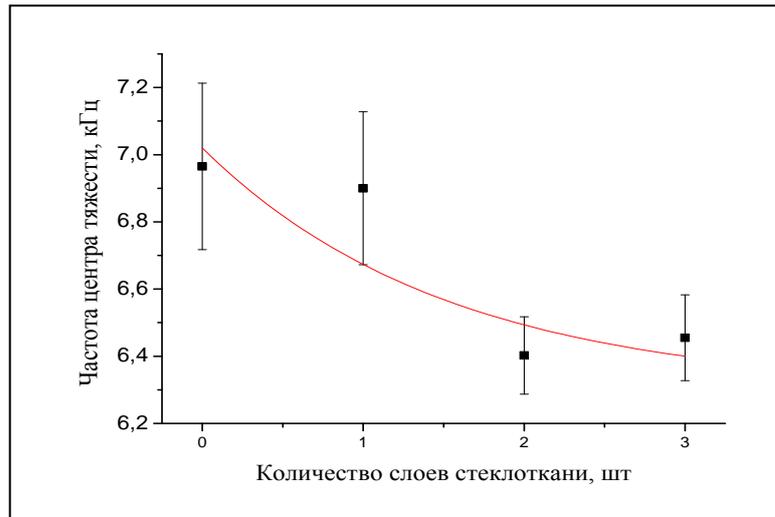


Рис. 3. Зависимость центра тяжести спектра сигнала из образцов от количества слоев стеклоткани

Во втором случае был рассчитан усредненный спектр для первого образца (без стеклоткани). Данный спектр был принят за эталонный. Далее, спектры каждого отдельного измерения для всех образцов (включая образец, не содержащий стеклоткани), сравнивались с эталонным спектром. Для анализа различий между спектрами разных образцов был вычислен коэффициент корреляции исследуемого спектра относительно эталонного спектра. Ниже приведен график, иллюстрирующий зависимость коэффициента корреляции спектра от количества слоев стеклоткани в объекте.

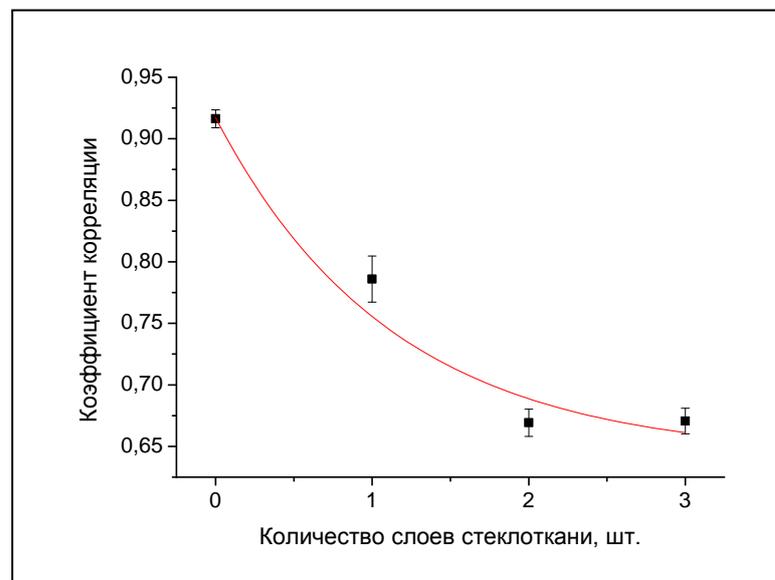


Рис. 4. Зависимость коэффициента корреляции от количества слоев стеклоткани

Как видно из графика, существует экспоненциальная зависимость коэффициента корреляции (K) от количества слоев (N) в объекте контроля. С помощью специальной программы в среде программирования Origin была найдена эта зависимость:

$$K = 0.64 + 0.27e^{(-0.89N)},$$

коэффициент детерминации составляет 0.99.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что, сравнивая спектры исследуемого объекта со спектром эталонного образца, можно судить о наличии или отсутствии в контролируемом полимерном образце армирующих слоев стеклоткани, а также судить об их количестве.

### **Список информационных источников**

1. А. В. Суханов, А. В. Асеев, В. И. Сисаури Полимерные композиты - перспективные строительные материалы XXI века // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века : Информ. науч.-техн. журн. - 2003. - N12. - С. 20-22.

2. В.В. Мурашов Диагностика стеклопластиков в деталях и конструкциях неразрушающими методами // Glass Russia : Информ. науч.-техн. журн. – 2011. – специальный выпуск.

3. Т.В.Фурса, К.Ю. Осипов, Д.Д.Данн Неразрушающий контроль строительных материалов по параметрам электрического сигнала при акустическом воздействии: монография – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. – 176 с.

4. Т.В. Фурса, Д.Д. Данн, А.А. Демихова Исследование влияния концентрации поверхностных трещин в бетоне и их ориентации на параметры электрического сигнала при импульсном механическом воздействии // Журнал технической физики. - 2014, том 84, вып. 12

5. Суржиков А.П., Фурса Т.В. Механоэлектрические преобразования при упругом ударном возбуждении композиционных диэлектрических материалов.- ЖТФ, 2008, т. 78, вып.4, с. 71-76.