

Введение Для большинства полимерных систем электретный эффект на сегодняшний день достаточно хорошо изучен [1-4]. Исследования электретных характеристик пространственно-сетчатых полимеров, в частности эпоксидных, по сравнению с термопластичными полимерами, проведены достаточно ограничено [5-8]. Однако, использование эпоксидных полимеров особенно перспективно для создания стабильных термоэлектретов. Особое внимание при изучении данных систем необходимо оказывать структуре полученных композитов [9, 10]. Цель настоящей работы заключалась в получении стабильных термоэлектретов на основе эпоксидиановой смолы DER-331 и исследовании влияния условий получения композитов на их электретные характеристики: эффективный поверхностный потенциал заряда ( $V_{э1}$ ,  $V_{э2}$ ), эффективную поверхностную плотность заряда ( $\sigma_{эф}$ ) и напряженность электростатического поля электрета ( $E$ ). Экспериментальная часть В качестве объектов исследования были выбраны материалы на основе эпоксидианового олигомера DER-331 и отвердителя - алифатического амина диэтилентриамин (ДЭТА). Для проведения исследований были получены термоэлектреты на основе эпоксидной смолы DER-331 в процессе совмещения синтеза полимера с поляризацией в постоянном электрическом поле, с последующим охлаждением в поле в течение 30 минут. Напряжение поляризации варьировали от 5 до 15 кВ, температуру поляризации и отверждения - от 80 до 120 оС. Параметры электростатического поля полимера измеряли методом периодического экранирования приемного электрода при помощи измерителя параметров электростатического поля марки ИПЭП-1. Обсуждение результатов Проведенные ранее исследования термоэлектретов на основе эпоксидной смолы DER-331 с использованием различных отвердителей показали, что максимальные значения электретных характеристик соответствуют стехиометрическому содержанию отвердителя в составе композиции, при недостатке и избытке отвердителя значения потенциала поверхности  $V_{э}$  и других электретных характеристик снижаются [8], поэтому все дальнейшие исследования были проведены при стехиометрическом содержании смолы и отвердителя. Спад поверхностного потенциала полимерного электрета и других электретных характеристик во времени хранения имеют монотонно убывающий характер. Значения  $V_{э}$ ,  $\sigma_{эф}$  и  $E$  для всех образцов стабилизируются примерно к 15 суткам хранения. Влияние условий одновременной поляризации и отверждения на эффективный поверхностный потенциал  $V_{э}$  полимерного электрета на основе смолы DER-331, отвержденной стехиометрическим количеством ДЭТА, представлено на рисунках 1-3. Как видно из рисунка 1, максимальное значение  $V_{э}=0,75$  кВ соответствует напряжению поляризации 5 кВ, при повышении напряжения поляризации происходит снижение  $V_{э}$  примерно до 0,4 кВ, та же картина характерна и для эффективной поверхностной плотности заряда и напряженности электростатического поля электрета. Наблюдаемый эффект может быть

объяснен электрическим пробоем при больших значениях напряжения поляризации. Зависимость максимального поверхностного потенциала (рис. 2), эффективной поверхностной плотности заряда и напряженности электростатического поля электрета для композита на основе смолы DER-331, отвержденной стехиометрическим количеством ДЭТА, от температуры поляризации и отверждения имеет экстремальный характер. С ростом температуры поляризации от 80 до 100 оС при одновременном отверждении происходит рост максимального эффективного поверхностного потенциала от 0,2 кВ до 1,0 кВ (рис. 2), эффективной поверхностной плотности заряда от 0,062 мкК/м<sup>2</sup> до 0,431 мкК/м<sup>2</sup> и напряженности электростатического поля электрета от 7,1 кВ/м до 27,6 кВ/м, максимум соответствует примерно 100оС. Наблюдаемое может быть объяснено тем, что с ростом температуры скорость реакции отверждения возрастает, выше определенной температуры ориентация молекулярных диполей затрудняется за счет быстрой фиксации пространственной структуры полимера трехмерной сеткой, что соответствует снижению максимальных значений  $V_{\text{э}}$ ,  $\sigma_{\text{эф}}$ ,  $E$ . Рис. 1 - Зависимость максимального эффективного поверхностного потенциала  $V_{\text{э}}$  от напряжения поляризации при одновременном отверждении в течение двух часов при 90 оС для композита на основе смолы DER-331, отвержденной стехиометрическим количеством ДЭТА Рис. 2 - Зависимость максимального эффективного поверхностного потенциала  $V_{\text{э}}$  от температуры поляризации при одновременном отверждении и поляризации с напряжением 5 кВ в течение двух часов для композита на основе смолы DER-331, отвержденной стехиометрическим количеством ДЭТА Представленные на рисунке 3 зависимости максимального эффективного поверхностного потенциала  $V_{\text{э}}$  от продолжительности отверждения при температуре 90°С показывают рост  $V_{\text{э}}$  от 0,2 кВ (1 час) до 1,9 кВ (3 часа), эффективной поверхностной плотности заряда от 0,13 мкК/м<sup>2</sup> до 0,506 мкК/м<sup>2</sup> и напряженности электростатического поля электрета от 14,4 кВ/м до 28,5 кВ/м соответственно. Таким образом, целесообразно увеличить продолжительность времени одновременной поляризации и отверждения до трех часов. Рис. 3 - Зависимость максимального эффективного поверхностного потенциала  $V_{\text{э}}$  от времени отверждения при 90°С и одновременной поляризации с напряжением 5 кВ, для композита на основе смолы DER-331, отвержденной стехиометрическим количеством ДЭТА Дипольная поляризация играет важную роль в процессах регистрации релаксационного диэлектрического спектра эпоксидных полимеров, т.к. эти материалы относятся к полярным. В таких полимерах формирование и релаксация электрического состояния определяется взаимодействием гомо- и гетерозарядов [11]. Есть вероятность управления этим взаимодействием: молекулярные диполи после поляризации ориентируются в направлении поляризирующего поля, пространственная структура полимера фиксируется трехмерной сеткой химических связей, в результате носители

зарядов оказываются надолго «замороженными» в структуре сетчатого продукта отверждения. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что на структуру трехмерной полимерной матрицы, образующейся в процессе отверждения, существенное влияние наряду с соотношением компонентов в составе композиции, оказывают условия одновременной поляризации и отверждения. Большинство свойств отвержденных эпоксидных полимеров (в том числе и электретные) определяются пространственной структурой, образующейся в процессе отверждения.