

Введение На сегодняшний день пространственно-сетчатые полимеры занимают особое место среди полимерных материалов, благодаря своим свойствам и возможности получения на их основе изделий широкого спектра назначения [1-3]. Использование эпоксидных полимеров особенно перспективно для создания стабильных термо- и короноэлектретов. Поэтому важным и актуальным являются исследования олигомерных термореактивных смол, как сырья для получения стабильных полимерных электретов. Электретный эффект достаточно хорошо изучен для большинства полимерных систем [4-7]. Электреты на основе пространственно-сетчатых полимеров исследованы менее всего [8-10]. Особое внимание при изучении данных систем необходимо оказывать молекулярной структуре полученных композитов. Эпоксидные полимеры относятся к полярным материалам и дипольная поляризация играет важную роль в релаксационном диэлектрическом спектре. В таких полимерах формирование и релаксация электрического состояния управляется взаимодействием гомо- и гетерозарядов. После поляризации молекулярные диполи 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. Цель настоящей работы заключалась в получении термоэлектретов на основе эпоксидных полимеров и определении следующих характеристик: эффективного поверхностного потенциала заряда ($V_{\text{э1}}$, $V_{\text{э2}}$), эффективной поверхностной плотности заряда ($\sigma_{\text{эф}}$) и напряженности электростатического поля электрета (E).

Экспериментальная часть В качестве объектов исследования были выбраны материалы на основе эпоксидиановой смолы DER-331. Для отверждения композиции использовали отвердители на основе алифатических (этиленовых) аминов (ДЭТА и ПЭПА). Для проведения исследований были получены термоэлектреты на основе эпоксидной смолы DER-331 в процессе совмещения синтеза полимера путем отверждения исходной смолы при $T=900\text{C}$ с процессом одновременной поляризации в постоянном электрическом поле напряжением 5 кВ в течение 2 часов, с последующим охлаждением в поле в течение 30 минут. Параметры электростатического поля полимера измеряли методом периодического экранирования приемного электрода при помощи измерителя параметров электростатического поля марки ИПЭП – 1.

Обсуждение результатов Как известно из литературы [1-3, 11], пространственно-сетчатые полимеры отличаются широким диапазоном физико-механических и физико-химических свойств, которые обеспечиваются, главным образом, природой и количеством отверждающих агентов. Природа и количество отвердителя, используемого в композициях, оказывает влияние на структуру полимерной матрицы, формирующейся в процессе отверждения, которая фиксируется пространственной сеткой и в дальнейшем не может быть значительно изменена

за счет конформационных превращений межузловых цепей без разрыва химических связей. Ранее в работе [10] при исследовании электретов, полученных на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20, была показана возможность изменять определенные электретные характеристики, варьируя структурные параметры отвержденного композита. Данные исследования продолжены при изучении электретных характеристик композитов, полученных на основе эпоксидиановой смолы DER-331. Используя различные соотношения отвердителя в составе композиции, можно предположить, что с увеличением содержания отвердителя возрастает количество функциональных групп, способных участвовать в процессах поляризации с участием дипольно-сегментальных фрагментов под действием поляризующего поля. Для проведения этих исследований, содержание отвердителя ДЭТА в составе композиции варьировали от 7 до 15% массовых, что соответствует недостатку отвердителя, стехиометрическому соотношению и избытку отвердителя по отношению к эпоксидной смоле. а в б г Рис. 1 – Спад потенциала полимерного электрета $V_{\text{э}}$ на основе смолы DER-331, полученного при отверждении при температуре 90°C и одновременной поляризации с напряжением 5 кВ в течение 2 ч, при различном содержании отвердителя ДЭТА: а) 7 % масс.; б) 10 % масс.; в) 12 % масс.; г) 15 % масс. На рисунке 1 приведены кривые спада потенциала поверхности $V_{\text{э}}$ от времени хранения электрета при различном содержании отвердителя ДЭТА для полимерных электретов на основе смолы DER-331. Снижение потенциала полимерного электрета $V_{\text{э}}$ от времени хранения для всех образцов имеет монотонно убывающий характер и стабилизируется примерно к 15 суткам хранения. Зависимость максимального поверхностного потенциала $V_{\text{э}}$ от содержания отвердителя (рис. 2) была получена объединением результатов рисунка 1 (а, б, в, г). Как видно из рисунка 2, максимальное значение потенциала поверхности $V_{\text{э}}$ (около 0,8 кВ) соответствует стехиометрическому содержанию отвердителя, при недостатке и избытке отвердителя потенциал поверхности снижается. Недостаток и избыток отвердителя ДЭТА, при получении композита на основе смолы DER-331, соответствует снижению эффективной плотности сшивки пространственной сетки по сравнению со стехиометрическим соотношением отвердителя. Измерение значений эффективной поверхностной плотности заряда ($\sigma_{\text{эф}}$) и напряженности электростатического поля электрета (E) для этих же образцов в зависимости от времени хранения показали, что эти характеристики имеют характер, аналогичный спаду потенциала поверхности $V_{\text{э}}$, приведенного на рисунке 1. При стехиометрическом соотношении отвердителя ДЭТА эффективная поверхностная плотность заряда ($\sigma_{\text{эф}}$) снижается с 0,28 мкКл/м² (1 сутки хранения) до 0,14 мкКл/м² (для 25 суток хранения образцов), а напряженность электростатического поля электрета (E) для этих же образцов - с 28 кВ/м до 10 кВ/м соответственно. Рис. 2 – Кривые зависимости максимального эффективного поверхностного потенциала $V_{\text{э}}$

полимерного электрета на основе смолы DER-331, полученного при отверждении при температуре 90°C и одновременной поляризации с напряжением 5 кВ в течение двух часов, от содержания отвердителя ДЭТА. Увеличение содержания отвердителя в составе композиции выше стехиометрического не приводит к росту количества функциональных групп, способных участвовать в процессах поляризации с участием дипольно-сегментальных фрагментов под действием поляризующего поля, т.к. эти группы не фиксируются трехмерной сеткой, а также могут создавать дополнительные стерические трудности при образовании пространственного узла. Максимальный эффективный потенциал поверхности $V_{\text{э}}$ соответствует максимальной частоте пространственной сетки, образующейся в результате отверждения эпоксисаминной матрицы стехиометрическим соотношением отвердителя [11]. Аналогичные зависимости были получены для электретов на основе смолы DER-331 при отверждении ПЭПА (12-17 % масс.). Полученные экспериментальные данные констатируют зависимость между электретными характеристиками и структурой эпоксидного полимера и полностью согласуются с исследованиями проведенными ранее [10] для коронно- и термоэлектретов на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20.