

УДК 533.59

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ  
МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛАСТОМЕРОВ В ВАКУУМЕ**

Степан Владимирович Сидоренко<sup>(1)</sup>, Ульяна Алексеевна Ерохина<sup>(2)</sup>, Гинтарс Айгарсович Тубулевичс<sup>(3)</sup>

*Студент 4 курса<sup>(1)</sup>, студент 3 курса<sup>(2)</sup>, студент 4 курса<sup>(3)</sup>  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.М. Базиненков,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»*

Материалы элементов электровакуумных приборов и высоковакуумного оборудования сорбируют газы остаточной атмосферы и газы, воздействию которых они подвергаются в процессе обработки. Различают три вида взаимодействия при поглощении газа твердым телом: адсорбцию, растворение и химическое взаимодействие [1]. Количество газа, связанного твердым телом при уменьшении воздействующего на него давления снижается, что приводит к повышению температуры и увеличению скорости десорбции.

Объект исследований – демпфер на основе ламинатной структуры магнитореологического эластомера (МРЭ). МРЭ способен менять свои вязкостно-упругие свойства под действием внешнего магнитного поля, что открывает перспективы применения этого материала, в первую очередь в качестве рабочего тела устройств виброизоляции. Однако одной из главных проблем применения МРЭ является его потенциально повышенное газовыделение в вакууме.

Скорость выделения газов может быть найдена путем дифференцирования выражения для количества газа, выделяемого каждой единицей поверхности детали определенной толщины за время обезгаживания. Это выражение является решением уравнения Фика для нестационарного процесса диффузии [2].

$$Q_t = \frac{8a \cdot C_0}{\pi^2} \left[ 1 - \exp \left( -\frac{D\pi^2}{4a^2} t \right) \right],$$

где  $Q_t$  – количество выделившегося газа, с единицы поверхности, м·Па;  $a$  – половина толщины материала, м;  $C_0$  – начальная концентрация газа внутри материала, Па;  $D$  – коэффициент диффузии газа в материале, м<sup>2</sup>/с;  $t$  – время обезгаживания, с.

Для исследования газовыделения материалов существует ряд методов, к наиболее распространенным относятся метод известной проводимости трубопровода и метод накопления.

Метод известной проводимости подразумевает постоянную откачку объема, в котором происходит оценка газовыделения. Камера разделена на две части с помощью диафрагмы с известной проводимостью. При увеличении газовыделения давление возрастает, поскольку объем выделившегося газа за единицу времени будет больше, чем объем откачиваемого насосом [3]. По разности давлений в двух частях камеры можно найти поток газовыделения.

При использовании метода накопления, также называемого методом роста скорости, исследуемый объем также откачивается, после чего камера отсекается от

насоса клапаном, что приводит к увеличению давления, вследствие газовыделения. Последнее в данном методе не является единственным источником газа. Помимо газовыделения происходит десорбция с внутренних поверхностей реципиента, а также натекание, что снижает точность метода [4].

Метод накопления газа обеспечивает большую точность результатов и является более универсальным, а метод известной проводимости относительно не сложен в применении и довольно дешёв. В рассматриваемых далее испытаниях будет применяться комбинированный метод, с применением механизмов обоих вышеописанных методов. В вакуумной системе предусмотрен участок с известной газовой проводимостью, что позволяет вычислить стационарный поток. Затем камера изолируется и вычисляется накопление газа, после чего результаты сравниваются и корректируются. Данный метод позволяет более точно оценить газовыделение при разных давлениях.

Схема экспериментальной высоковакуумной установки включает в себя трёхступенчатую систему откачки, состоящую из золотникового, турбомолекулярного и магниторазрядного насосов, термпарного и ионизационных датчиков, а также масс-спектрометра.

Предложенный метод подходит для исследований газовыделения МРЭ, поскольку порядок его газовыделения неизвестен, и оно может быть очень велико. Источниками газовыделения в эластомере могут быть: адсорбированные на поверхности эластомера газы, растворённые внутри эластомера, находящиеся в воздушных порах и на поверхности частиц дисперсной фазы внутри эластомера, заключенные между слоями эластомера и металла.

## Литература

1. Орликов Л.Н. Исследование процессов газовыделения материалов в вакууме. // Фотоника и оптоинформатика. – 2011. – С. 1-13.
2. Данилина Т.И. Смирнова К.И., Илюшин В.А., Величко А.А. Процессы микро- и нанотехнологии: учебное пособие // Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники – 2005. – С. 1-316.
3. Redhead P.A. Recommended practices for measuring and reporting outgassing data. // Journal of Vacuum Science & Technology – 2002. – Вып. 20 (5). – С. 1667-1675.
4. Способ определения объёма газа, выделившегося из металла. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/165/1651157.html>. (дата обращения 14.03.2026).