





метгласа при разных температурах. Видно, что при  $H \sim 100$  Ое образец насыщается. Увеличение  $T$  от 140 К до 350 К приводит к уменьшению намагниченности насыщения образца на  $\sim 7\%$ . С использованием кривых  $M(H)$  были рассчитаны зависимости  $\lambda(H) \approx M^2(H)$  при разных  $T$ , а затем путём численного дифференцирования кривых  $\lambda(H)$  получены полевые зависимости пьезомодулей  $q^{(1)} = \frac{d\lambda}{dH}$ ,  $q^{(2)} = \frac{d^2\lambda}{dH^2}$ ,  $q^{(3)} = \frac{d^3\lambda}{dH^3}$  [2]. На рис. 5 в качестве примера показаны рассчитанные зависимости  $q^{(3)}(H)$  при разных  $T$ .

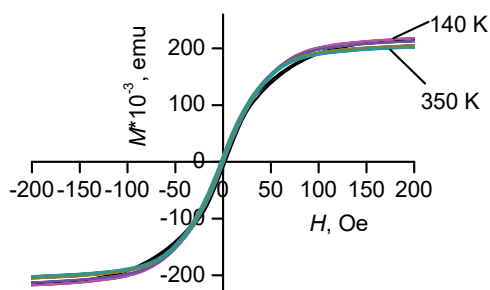


Рис. 4. Кривые намагничивания метгласа при разных температурах  $T$ .

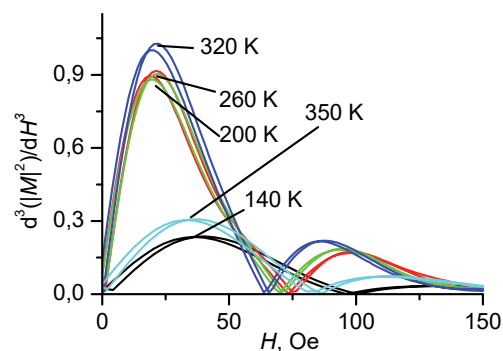


Рис. 5. Зависимости МЭ коэффициента  $q^{(3)}$  метгласа от постоянного поля.

Видно, что положение максимумов и минимума кривой  $q^{(3)}(H)$  меняется с нагревом немонотонно. Аналогичные изменения наблюдали для кривых  $q^{(1)}(H)$  и  $q^{(2)}(H)$  (не показаны на рисунке). При изменении  $T$  изменяется форма кривой намагничивания, в результате чего при фиксированной амплитуде накачки происходит эффективное смещение рабочей точки на кривых  $q^{(N)}(H)$  и  $q^{(N)}(h)$ .

Таким образом, в работе исследованы температурные зависимости амплитуд гармоник МЭ напряжения в структурах пьезоэлектрик-ферромагнетик при больших амплитудах переменного магнитного поля накачки. Показано, что разные гармоники по-разному изменяются с температурой. На характер температурной зависимости гармоник сигнала существенно влияет амплитуда поля накачки. Подбирая величину поля накачки, можно обеспечить температурную стабилизацию амплитуды выбранной гармоники, что может быть использовано при разработке МЭ датчиков магнитного поля.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант №16-32-0041716) и Минобрнауки РФ (проект 3.76.2014К).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wu L., Gao Y. & Ma J. Recent progress in multiferroic materials // Sci.China Technol. Sci. (2015) 58: 2207. doi:10.1007/s11431-015-5971-4
2. Burdin D.A., Chashin D.V., Ekonomov N.A., Fetisov L.Y., Fetisov Y.K., Srinivasan G. Sreenivasulu G. Nonlinear magnetoelectric effects in planar ferromagnetic-piezoelectric structures // JMMM. 2014. V. 358- 359. P. 98-104.
3. Fetisov Y.K., Burdin D.A., Chashin D.V., Ekonomov N.A. High-sensitivity Wideband Magnetic Field Sensor Using Nonlinear Resonance Magnetoelectric Effect // IEEE Sensors J. 2014. V.14. No.7. P. 2252- 2256.
4. Burdin D.A., Chashin D.V., Ekonomov N.A., Fetisov L.Y., Fetisov Y.K., Shamonin M. DC magnetic field sensing based on the nonlinear magnetoelectric effect in magnetic heterostructures // Journal of Physics D: Applied Physics. 2016. V.49, 375002 (10pp).
5. Fetisov Y.K., Chashin D.D., Ekonomov N.A., Burdin D.A., Fetisov L.Y. Correlation between magnetoelectric and magnetic properties of ferromagnetic-piezoelectric structures // IEEE Transactions on Magnetics. 2015. V. 51. № 11. P. 7120129.