

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Новые интеллектуальные материалы на
основе полимеров**

Курсовая работа
студента 207 группы
Шиян А.Е.
Научный руководитель:
Крамаренко Е.Ю.

Москва, 2014

Содержание

I.	Введение.....	3
II.	Литературный обзор.....	4
	1. Влияния однородного магнитного поля на механическое поведение мягких магнитных эластомеров при сжатии.....	4
	2. Вязкоупругие свойства МАЭ с магнитожёстким наполнителем.....	6
	3. Основные итоги.....	7
III.	Экспериментальное исследование вязкоупругих свойств магнитоактивных эластомеров.....	8
	1. Цель работы.....	8
	2. Проведение эксперимента.....	8
	3. Результаты.....	12
IV.	Список использованной литературы.....	13

I. Введение

В наше время стало актуальным изучение интеллектуальных материалов, т.е. таких материалов, которые могут контролируемым образом изменять свои свойства в ответ на изменение свойств окружающей среды. Область применения их практически безгранична. В основном это различные сенсорные устройства [5]. Интеллектуальные материалы могут реагировать на изменение температуры, давления, влажности и др. [1], в частности, в этой работе мы рассмотрим материалы, свойства которых обратимо изменяются под действием магнитного поля. Это магнитоактивные эластомеры (МАЭ) – новый тип магнитоуправляемых материалов на основе полимеров. Данный материал представляет собой высокоэластичную полимерную матрицу с внедренными в нее магнитными нано/микро-частицами.

МАЭ обладает рядом свойств: **магнитореологический эффект** (*зависимости вязкоупругих свойств МАЭ от магнитного поля*), **магнитодеформационный эффект** (*значительная деформация как в неоднородном, так и в однородном магнитных полях*), **эффект памяти формы** (*если материал поместить в однородное магнитное поле, то упругая резина становится пластичной как мокрая глина; под действием внешней механической силы образец приобретает и сохраняет новую форму в магнитном поле; после снятия воздействия магнитного поля, он восстанавливает первоначальную форму*), такие параметры, как диэлектрическая проницаемость и магнитная восприимчивость, также могут изменяться под действием магнитного поля.

II. Литературный обзор

1. Влияния однородного магнитного поля на механическое поведение мягких магнитных эластомеров при сжатии

В работе [4] были синтезированы несколько образцов магнитных композитов с использованием разных типов магнитных порошков: магнитомягкими и магнито жесткими. Магнитомягким называют наполнитель, если его намагниченность, после отключения магнитного поля падает практически до нуля. Магнито жестким называют наполнитель, если его остаточная намагниченность на много больше нуля. Было исследовано механическое поведение этих образцов в однородных магнитных полях различной интенсивности.

Для расчета модуля сдвига высокоэластичных композитов было использовано соотношение для эластомеров: $\sigma = G(\lambda - 1/\lambda^2)$, где σ – номинальное механическое напряжение (сжимающее усилие, деленное на площади исходного поперечного сечения образца), G – модуль сдвига, λ – относительное сжатие ($\lambda = l/l_0$ – отношение размера деформированного образца l к его недеформированному начальному размеру l_0).

Для иллюстрации зависимости модуля сдвига G_1 магнитного эластомера в однородном магнитном поле от величины напряженности магнитного поля H на рисунке 1 показаны приведенные к общему началу участки диаграмм повторного нагружения образца при различных значениях H . Видно, что с увеличением напряженности магнитного поля угол наклона прямых по отношению к оси абсцисс увеличивается, что свидетельствует о повышении жесткости магнитных эластомеров с ростом H .

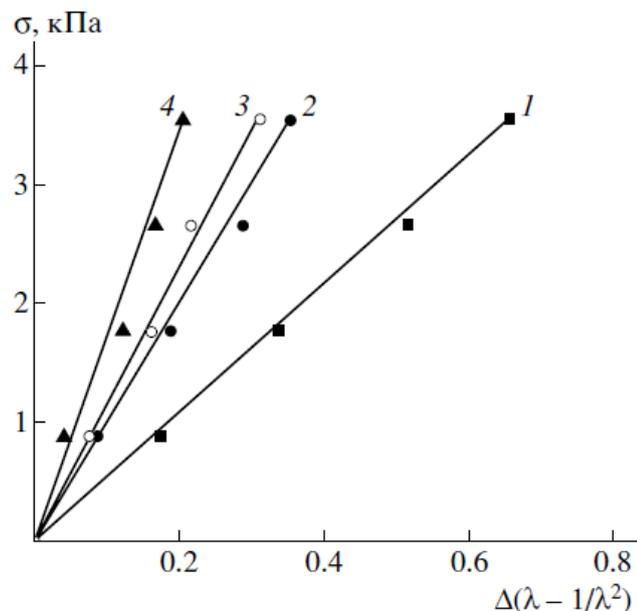


Рис. 1. Изменение жесткости композита с ростом напряженности магнитного поля для образца, содержащего 9.2% железного наполнителя. $H=0$ (1), 0.070 (2), 0.116 (3), и 0.231 Тл (4).

Зависимость относительного модуля сдвига $G_1/G_{H=0}$ ($G_{H=0}$ – значение модуля сдвига в отсутствие магнитного поля) от величины напряженности магнитного поля H приведены на рисунке 2. Получено, что относительное изменение модуля сдвига $G_1/G_{H=0}$

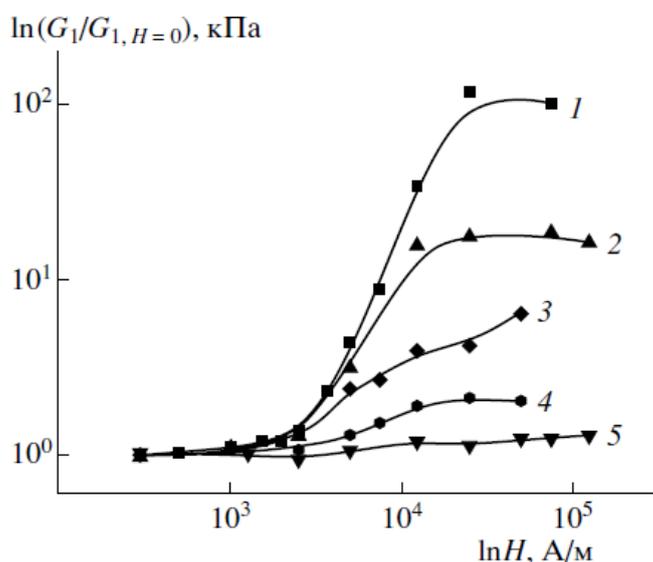


Рис. 2. Зависимость модуля сдвига от величины внешнего магнитного поля для образцов, наполненных Fe (1 – 3) и Fe_2O_3 (4, 5). Содержание наполнителя 27.6 (1), 22.3 (2), 7.1 (3), 14.0 (4) и 24.3% (5).

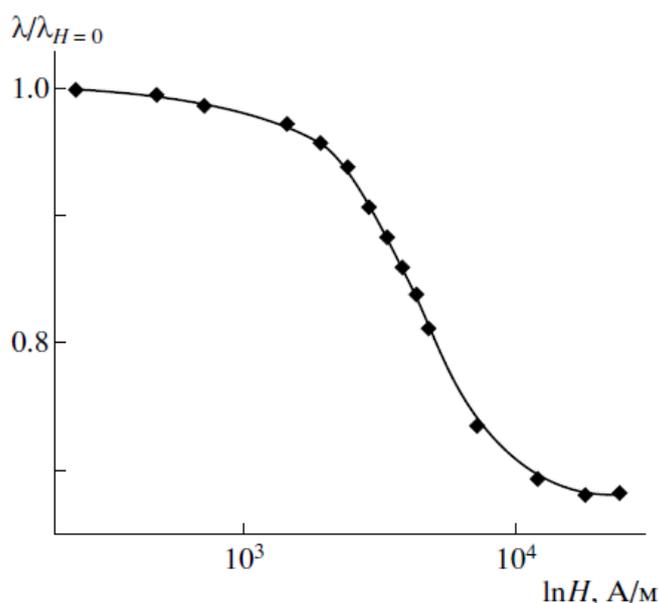


Рис. 3. Зависимость относительного сжатия от величины магнитного поля для образца содержащего 27.6% железного наполнителя.

повышается с ростом концентрации s_m магнитных частиц в полимерной матрице. Этот результат является следствием того, что при фиксированном значении H жесткость материала возрастает при увеличении s_m . Модуль сдвига образцов с наибольшей концентрацией магнетита, равной 24.3%, увеличивался всего лишь в 2 раза в магнитном поле, в то время как жесткость материала, содержащего 22.3% железа, возрастала больше, чем в 10 раз. Такое различие в поведении композитов связано со значительной разницей размеров частиц железа и магнетита.

Зависимость модуля сдвига от H выходят на насыщение при значениях интенсивности поля, при которых достигается насыщение намагниченности магнитного наполнителя.

Для исследования остаточной деформации образцов от величины напряженности магнитного поля был проведен эксперимент, результаты которого представлены на рисунке 3. Этот результат является следствием того, что в деформированном состоянии образца для минимизации общей энергии во внешнем магнитном поле происходит структурирование частиц магнитного наполнителя, сопровождающееся перераспределением упругих

напряжений внутри материала. Поскольку после снятия нагрузки образец продолжает

оставаться в магнитном поле, силы взаимодействия между магнитными частицами замораживают образовавшуюся структуру. Но по мере уменьшения напряженности магнитного поля упругие силы начинают играть ведущую роль, и образец композита восстанавливает свою первоначальную форму.

2. Вязкоупругие свойства МАЭ с магнитожёстким наполнителем

В работе [6] измерения вязкоупругих свойств образцов проводили на реометре Anton Paar Physica MCR301 методом сдвига в режиме осцилляций при различной частоте и амплитуде. Целью эксперимента было сравнение вязкоупругих свойств до и после намагничивания образцов в различных магнитных полях.

Был проведен эксперимент по исследованию зависимости модуля G (G' – упругая составляющая, G'' – вязкая составляющая) от частоты внешнего воздействия при различных значениях амплитуды деформации образца. Из него выявилось, что величина G практически не зависит от частоты деформации, но резко изменяется для различной амплитуды деформации образца.

Зависимости вязкоупругих свойств исследуемого образца от амплитуды деформации при различных значениях магнитного поля предварительного намагничивания приведены на рисунках 6 и 7.

Рис. 6. Зависимость упругой составляющей модуля (G') от амплитуды деформации при частоте ~ 10 Гц для разных магнитных полей предварительного намагничивания.

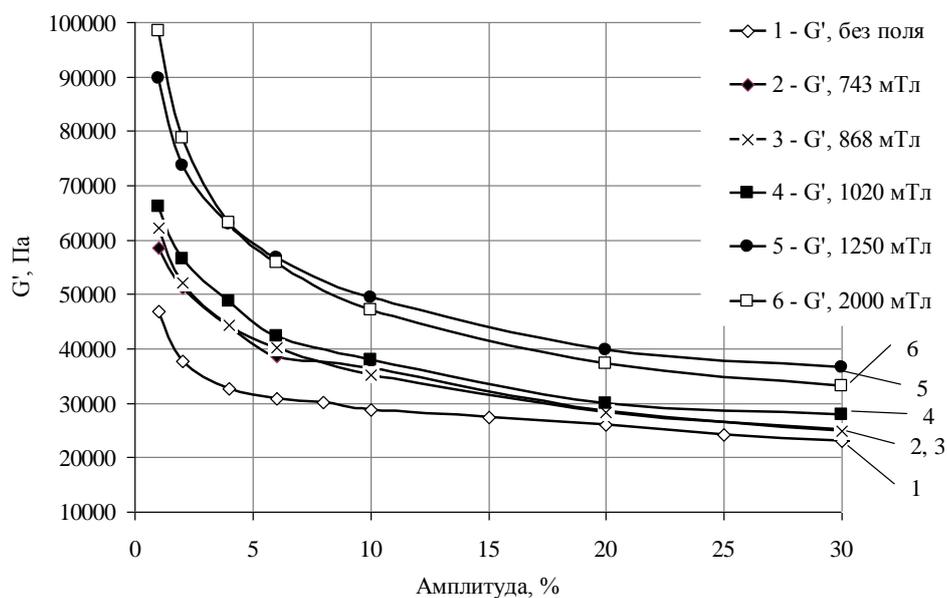
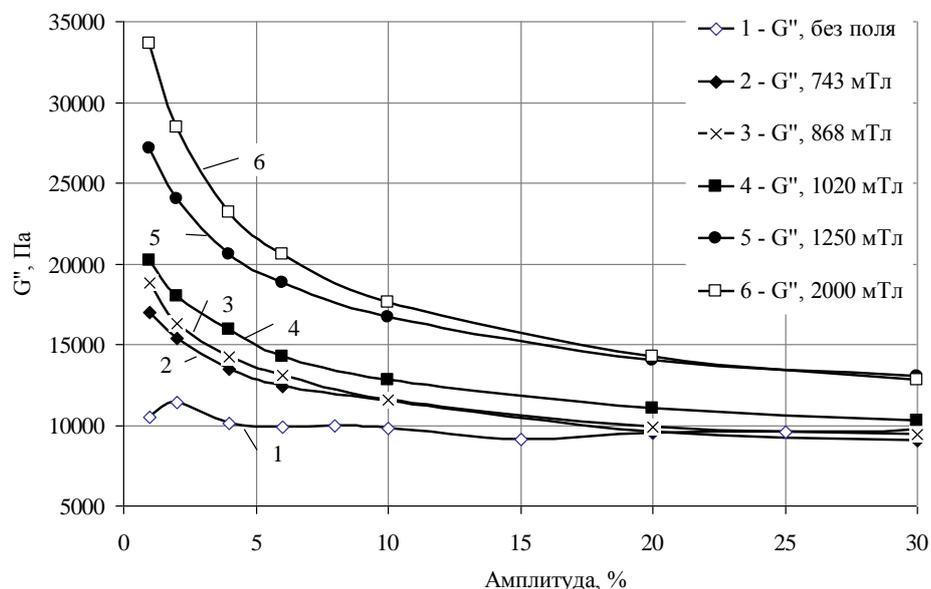


Рис. 7. Зависимость вязкостной составляющей модуля (G'') от амплитуды деформации при частоте ~ 10 Гц для разных магнитных полей предварительного намагничивания.



Как видно, модуль упругости с увеличением степени намагничивания материала возрастает. Причём модуль упругости в области малых деформаций выше, чем в области больших деформаций. Аналогичная зависимость наблюдается для вязкостной составляющей динамического модуля.

3. Основные итоги

- динамический модуль G магнитоактивного эластомера увеличивается с ростом напряженности магнитного поля, при этом его величина имеет насыщение
- модуль G зависит от концентрации и размера магнитного наполнителя
- МАЭ обладает свойством сохранять форму в магнитном поле
- модуль G практически не зависит от частоты деформации образца
- модуль G резко уменьшается с ростом амплитуды деформации

III. Экспериментальное исследование вязкоупругих свойств магнитоактивных эластомеров

1. Цель эксперимента: Исследование изменения динамического модуля и нормальной силы в зависимости от времени. Исследование изменения динамического модуля в зависимости от величины магнитного поля, частоты и амплитуды деформации.

2. Проведение эксперимента:

В эксперименте изучались вязкоупругие свойства МАЭ на реометре Physica MCR 302 («Anton Paar», Австрия) с измерительной системой «плоскость – плоскость».

[2,3] Изменялись модули G' и G'' по формулам:

$$G' = \frac{\xi_0}{\gamma_0} \cos \delta$$

$$G'' = \frac{\xi_0}{\gamma_0} \sin \delta ,$$

где γ_0 — угол деформации, который задается в начале эксперимента, а ξ_0 —

напряжение, которое вычисляет установка, чтобы деформировать образец на угол γ ,

где δ — разность фаз колебаний:

$$\gamma = \gamma_0 \sin (\omega t)$$

$$\xi = \xi_0 \sin (\omega t + \delta) .$$

Материал: магнитоактивные эластомеры с магнитожёстким наполнителем.

Матрица: силиконовая резина.

Наполнитель: частицы FeNdB диаметром 10-70 мкм.

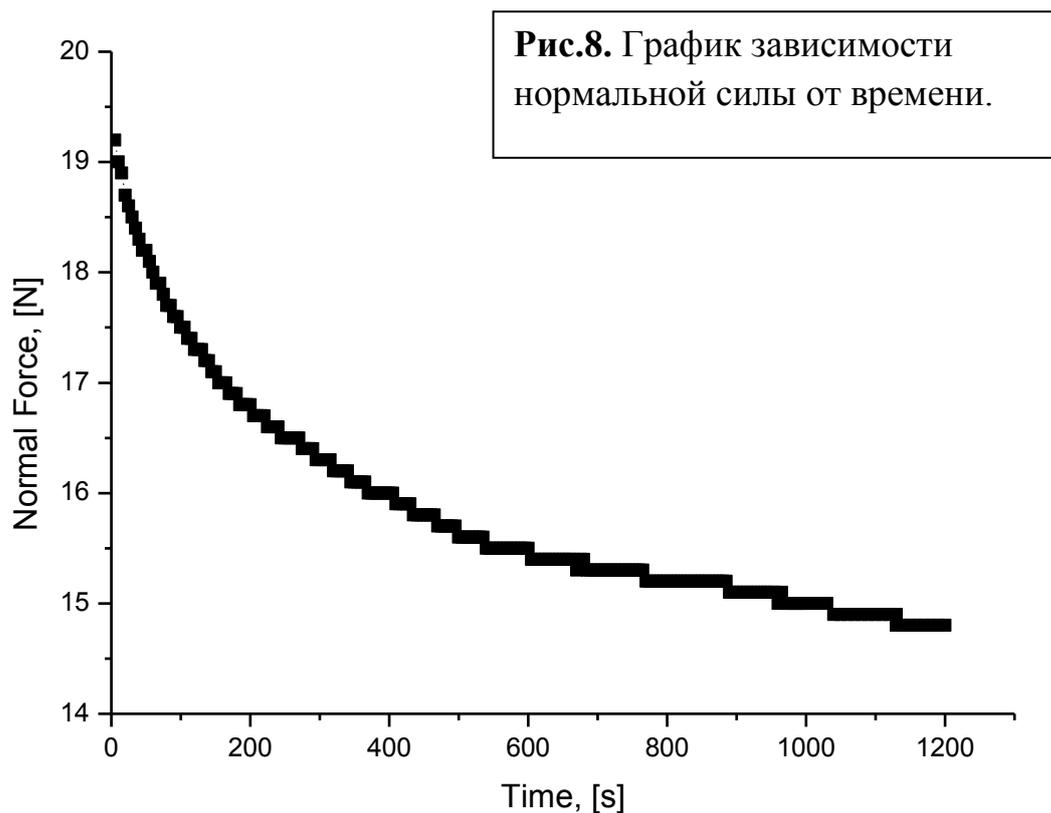
Объемная доля наполнителя: 30%.

После синтеза образец был намагничен в однородном магнитном поле напряженности 10кЭ.

Из первоначально синтезированных эластомеров были вырезаны образцы цилиндрической формы диаметром 20 мм и толщиной 3мм.

1) Измерение нормальной силы в зависимости от времени.

На рисунке 8 представлен график зависимости нормальной силы от времени при постоянной нагрузке.



2) Измерение динамического модуля в зависимости от времени.

Измерения проводились при постоянной частоте деформаций (10рад/сек).

На рисунке 9 представлен график зависимости динамического модуля от времени для двух образцов с различными степенями намагниченности: в полях напряженностью 15кЭ и 10кЭ.

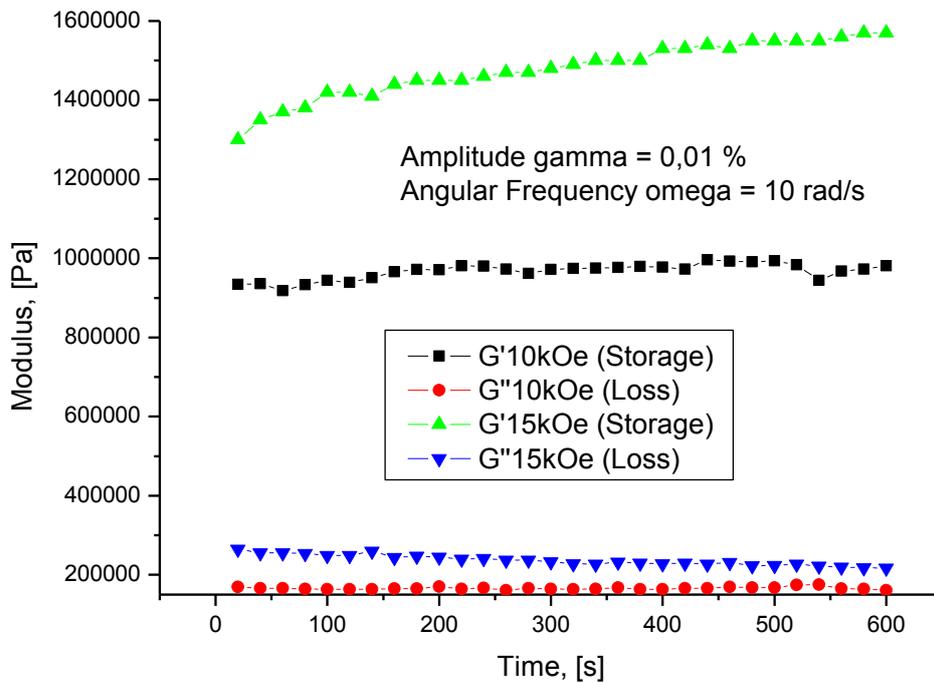


Рис.9. График зависимости динамического модуля от времени для двух образцов, намагниченных при разных напряженностях.

Кривые зависимостей G' и G'' для образца, намагниченного в поле напряженностью 15кЭ, превышают кривые для образца, намагниченного в поле напряженностью 10кЭ. Модули G' медленно и монотонно возрастают для обоих образцов. Что подтверждается следующим графиком.

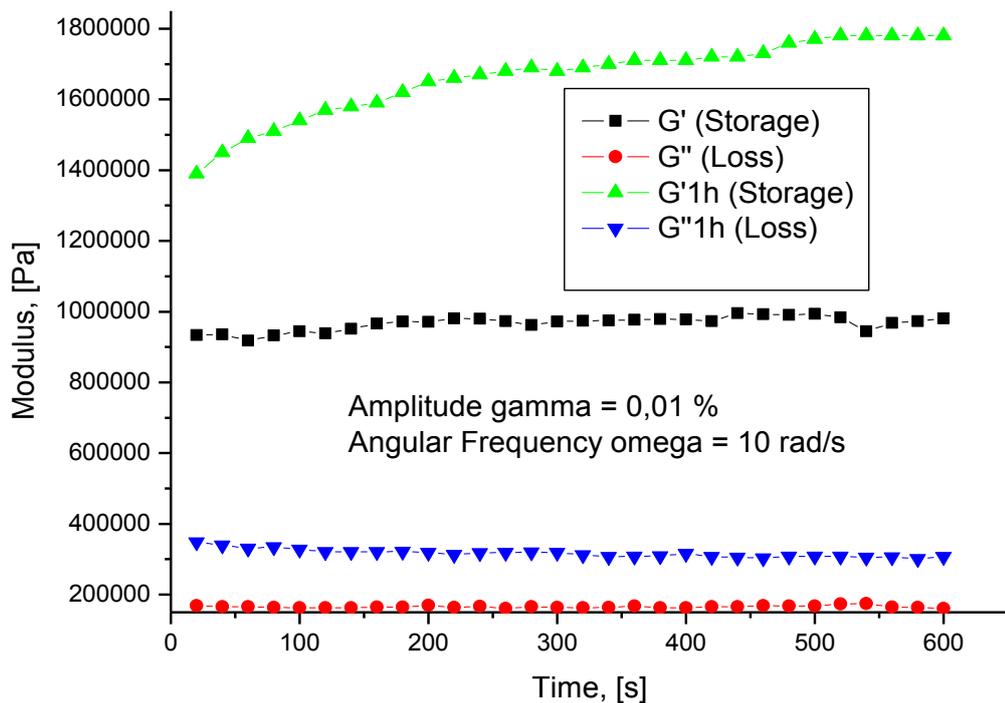


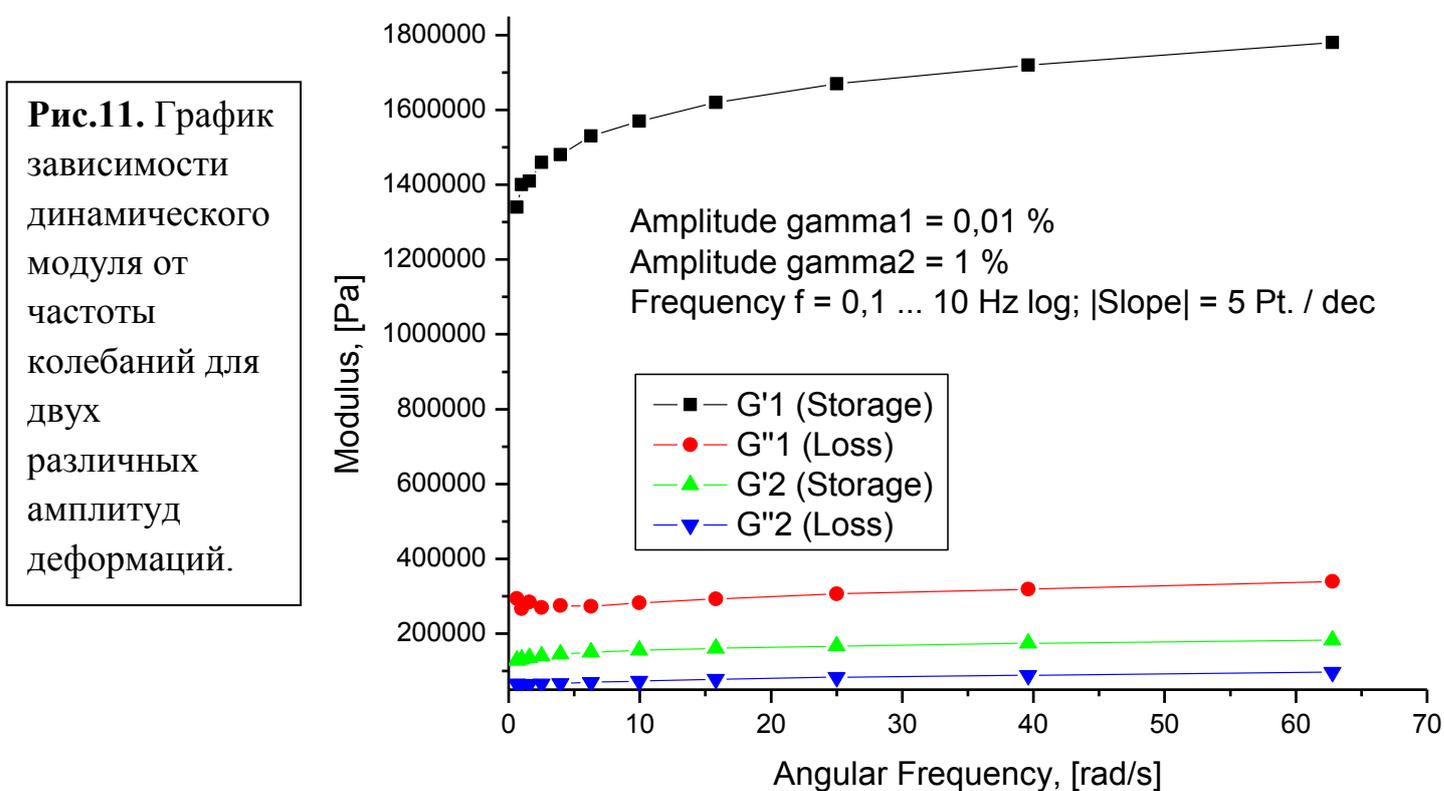
Рис.10. График зависимости динамического модуля от времени с разницей измерения по времени 1 час.

На рисунке 10 представлен график зависимости динамического модуля от времени с разницей измерения по времени 1 час. При этом в течение часа над образцом проводились различные временные тесты.

Из рисунка видно, что величина модулей G' и G'' растет с увеличением количества исследований.

3) Измерение динамического модуля в зависимости от частоты колебаний.

На рисунке 11 представлен график зависимости динамического модуля от частоты деформаций для двух различных постоянных амплитуд деформаций 0,01% и 1%.



Из графика видно, что динамический модуль практически не зависит от частоты, однако при малых амплитудах деформации модули G' и G'' намного превышают модули G' и G'' при больших амплитудах деформации. Что и подтверждает следующая часть эксперимента.

4) Измерение динамического модуля в зависимости от амплитуды колебаний.

На рисунке 12 представлен график зависимости динамического модуля от величины амплитуды колебаний при постоянной частоте деформаций (10 рад/сек).

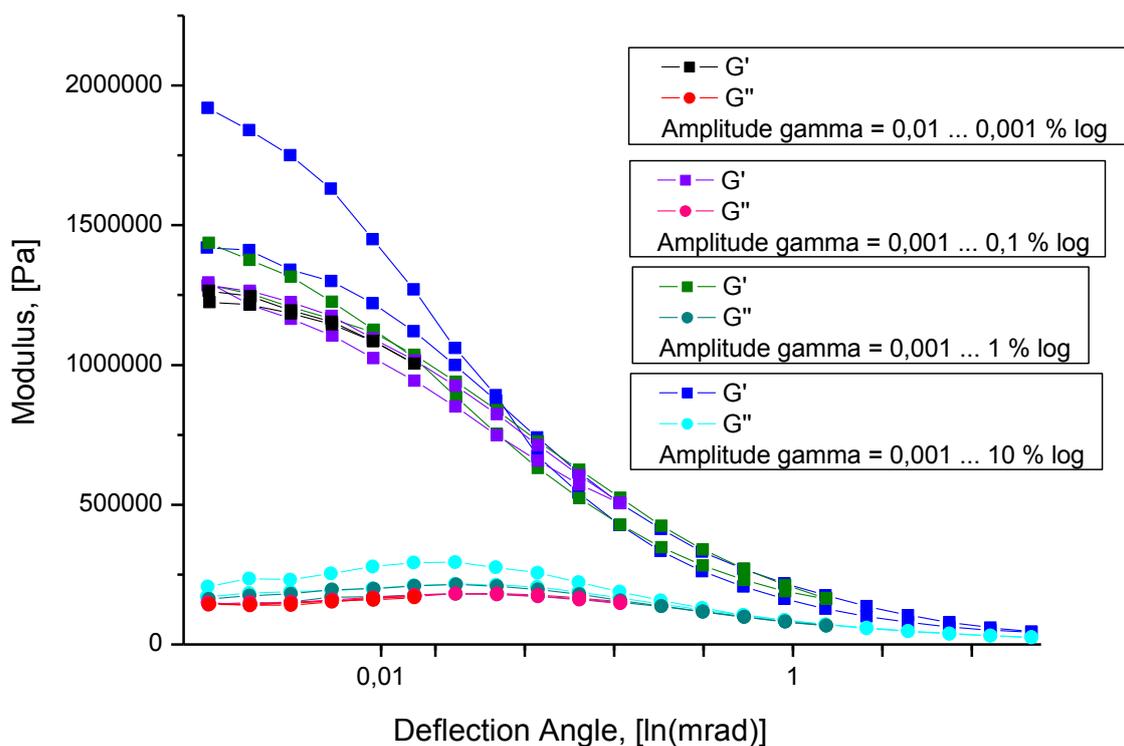


Рис.12. График зависимости динамического модуля от амплитуды деформаций.

Из график видно, что модуль G' резко уменьшается с ростом амплитуды. Это обусловлено тем, что при больших амплитудах нарушается строение сложившихся из магнитных частиц цепочек. Также видно, что спустя несколько повторений деформации образца модуль G' увеличивается в области малых деформаций, при этом не зависит от количества опытов в области больших деформаций. Этот эффект возникает вследствие “трясения” системы, что позволяет магнитным частицам выстроиться в более прочные цепочки. Модуль G'' практически не зависит от количества повторений опытов.

3. Результаты

Вязкоупругие свойства магнитоактивного эластомера зависят существенно больше от амплитуды деформации, чем от частоты колебаний. Также величина динамического модуля возрастает с увеличением напряженности намагничивания. Все это подтверждает результаты экспериментов, описанные в литературном обзоре.

IV. Список использованной литературы

1. А.Ю. Гросберг, А.Р. Хохлов; Физика в мире полимеров; М.: Найка. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989г.
2. Малкин А.Я., Исаев А.И.; Реология: концепции, методы, приложения; СПб.: Профессия, 2007г.
3. Г. Шрамм; Основы практической реологии и реометрии; М.: КолосС, 2003г.
4. С.С. Абрамчук, Д.А. Гришин, Е.Ю. Крамаренко, Г.В. Степанов, А.Р. Хохлов; Влияние однородного магнитного поля на механическое поведение мягких магнитных эластомеров при сжатии; Высокомолекулярные соединения; 2006г.; том 48; с. 245-253;
5. Рашми Бхавсар, Нитин И. Вайдья, Парта Гангули, Алан Хамфрис, Агат Робиссон, Хуэйлинь Ту, Нэйтан Уикс, Гарет Х. Мак-Кинли, Фредерик Поше; Новые интеллектуальные материалы; Нефтегазовое обозрение; 2007г.; с. 38-49;
6. Г.В. Степанов, Д.Ю. Борин, Е.Ю. Крамаренко, В.В. Богданов, Д.А. Семеренко, П.А.Стороженко, А.Р.Хохлов; Магнитоактивные эластомер с магнитотвердым наполнителем: получение и исследование вязкоупругих и демпфирующих свойств; Высокомолекулярные соединения; 2014г.; отправлен в печать;