

КРАТКИЕ  
СООБЩЕНИЯ

УДК 538.951

МОДУЛЯЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИМПУЛЬСА  
НАМАГНИЧЕННЫМ МАГНИТНЫМ КОЛЛОИДОМ

© 2003 г. А. В. Карелин, В. М. Полунин

Курский государственный технический университет

305040 Курск, ул. 50 лет Октября 94

E-mail: Polunin\_VM@hotmail.ru

Поступила в редакцию 17.07.2002 г.

Исследована зависимость формы ультразвукового импульса, прошедшего через намагниченный магнитный коллоид, от угла, образованного волновым вектором и вектором магнитной индукции.

В научной литературе проявляется определенный интерес к изучению упругих систем, которые содержат активные элементы из магнитореологических жидкостей [1–6].

В настоящей работе исследовались относительная амплитуда и форма ультразвукового импульса, прошедшего через акустическую ячейку, заполненную магнитной жидкостью (МЖ), при длительном воздействии магнитного поля.

Частота заполнения и частота следования ультразвуковых импульсов составляют соответственно 6 МГц и 4 кГц. Полученные с выхода приемного устройства видеоимпульсы поступают на вход осциллографа. Для последующей обработки на компьютере наблюдаемые осциллограммы снимаются цифровой видеокамерой. Источником магнитного поля служит постоянный магнит, установленный на вращающейся платформе. Форма акустической кюветы – параллелепипед с основанием  $2 \times 2$  см и высотой 7 см.

Чтобы исключить попадание в МЖ пузырьков воздуха на этапе подготовки образца к измерениям, предприняты следующие меры: кювета заполняется МЖ за несколько часов до внесения в магнитное поле; для предотвращения проникновения в прожекторную зону воздушных каверн, образующихся за счет неустойчивости открытой поверхности МЖ в магнитном поле, кювета заполняется жидкостью практически на всю высоту, а установка ее в межполюсном зазоре производится путем перемещения в направлении сверху вниз.

Исследуемые образцы представляют собой магнитные коллоиды, приготовленные на основе керосина. Дисперсной фазой в них является магнетит  $Fe_3O_4$ , стабилизатором служит олеиновая кислота. В таблице приведены основные физические параметры образцов МЖ, использованных в эксперименте.

Эксперимент проводился при температуре  $290 \pm 1$  К. Напряженность поля в межполюсном зазоре магнита составляет 122 кА/м, начальный угол между вектором напряженности магнитного поля  $\vec{H}$  и волновым вектором  $\vec{k}$   $\vartheta = 90^\circ$ .

Приращение коэффициента поглощения вычисляется по формуле:

$$\Delta\alpha_i = \frac{1}{l} \ln \frac{U_{\max}}{U_i},$$

где  $l$  – путь ультразвука в магнитной жидкости;  $U_{\max}$  – максимальная амплитуда,  $U_i$  – амплитуда сигнала в момент времени  $t_i$ .

Результаты первой части эксперимента (до изменения формы видеоимпульса) приведены на рис. 1. Треугольниками представлены результа-

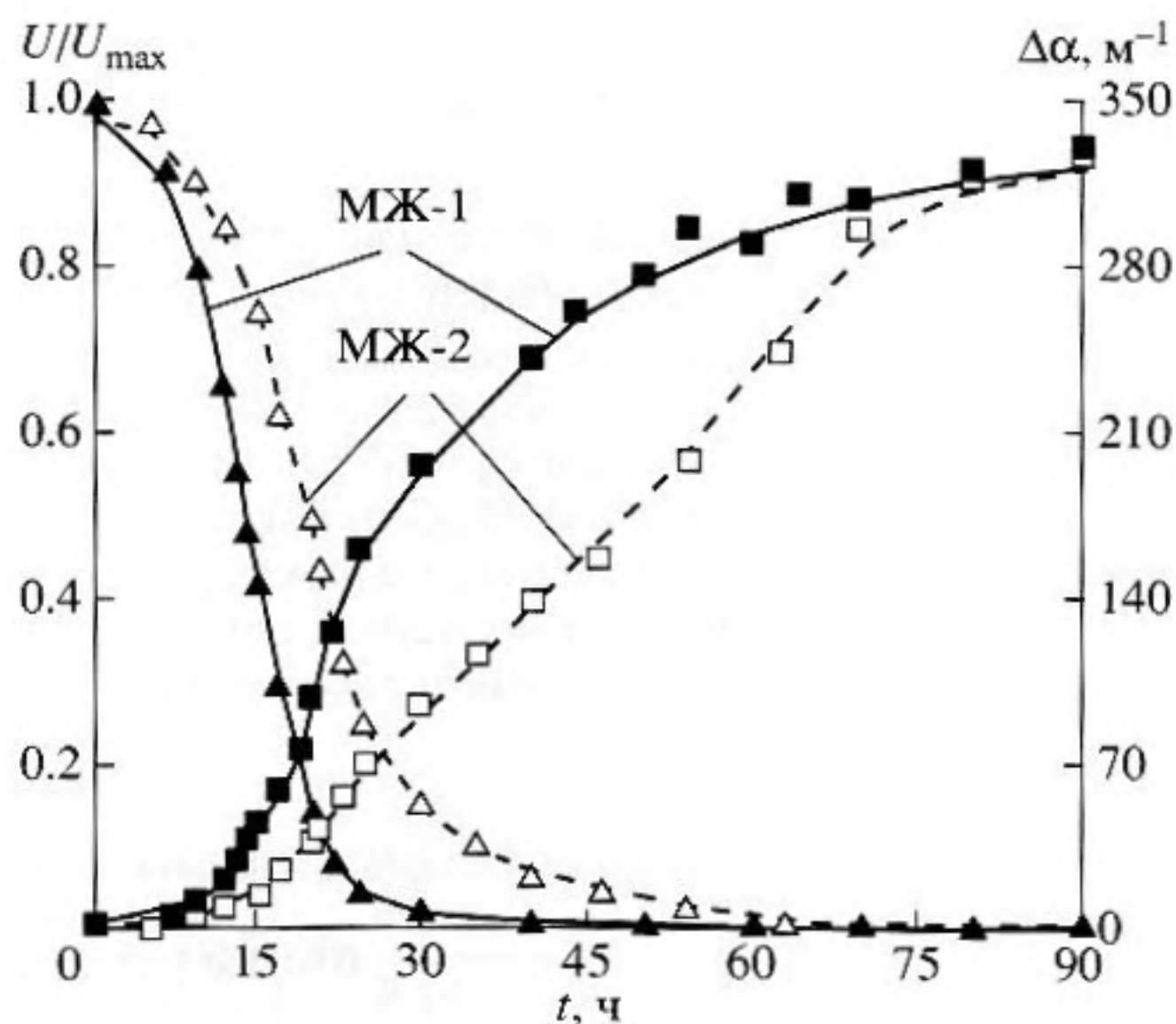


Рис. 1. Зависимость относительной амплитуды видеоимпульса  $U/U_{\max}$  и приращения коэффициента поглощения  $\Delta\alpha$  от времени  $t$ .

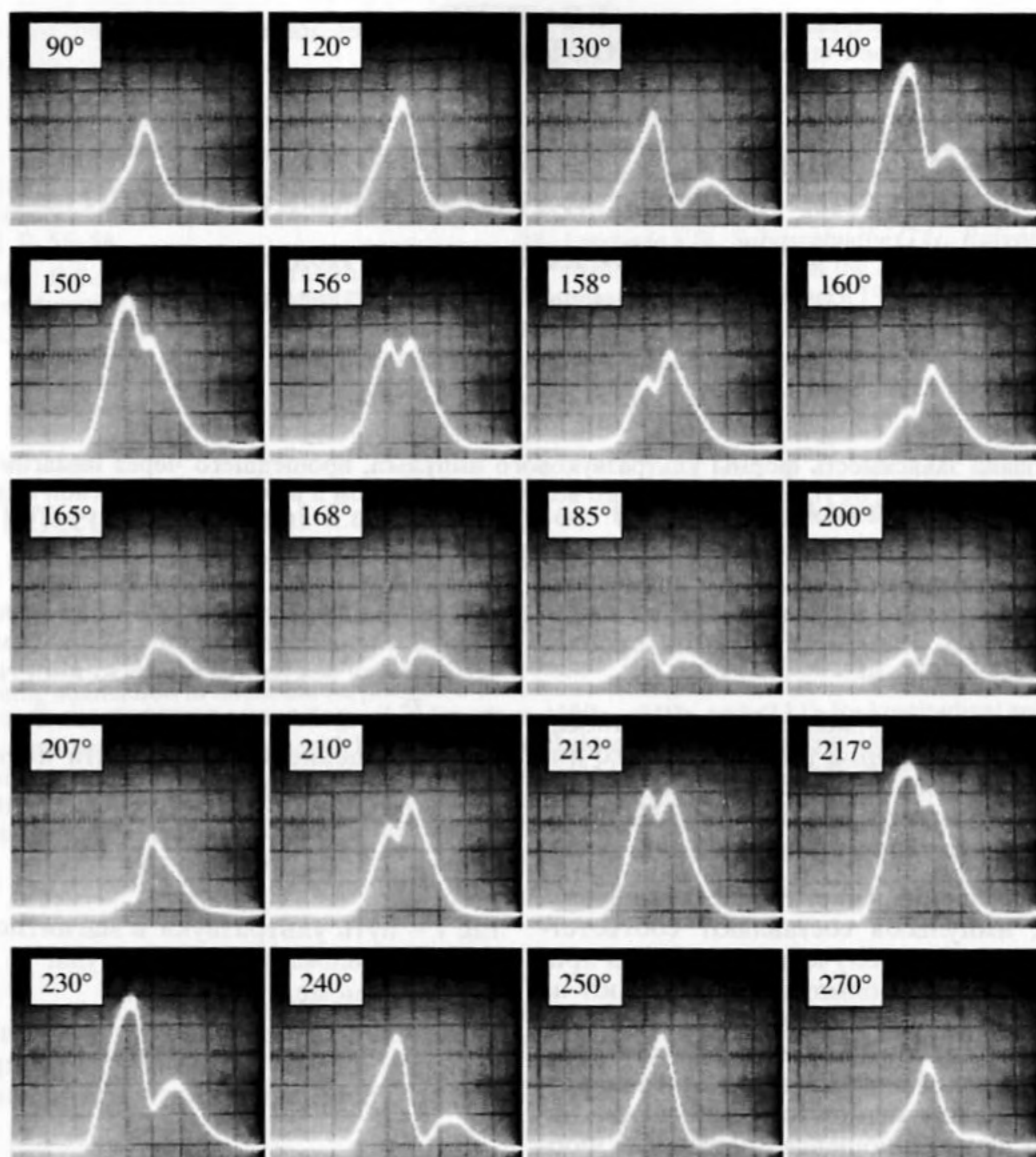


Рис. 2. Осциллограммы прошедшего через МЖ-2 ультразвукового импульса для указанных значений  $\vartheta$ .

ты измерения относительной амплитуды видеоимпульса  $U/U_{\max}$ , а квадратами – приращение коэффициента поглощения  $\Delta\alpha$ . В ходе эксперимента обнаружилось значительное уменьшение амплитуды ультразвукового импульса за время  $t \approx 30\text{--}35$  ч для МЖ-1, а для МЖ-2 это время составило  $70\text{--}75$  ч, и немонотонный характер угловой зависимости  $\Delta\alpha$ , что в общих чертах согласуется с полученными ранее данными в работе [3].

#### Таблица

Образец	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\varphi$ , %	$M_s$ , кА/м
МЖ-1	1350	12.8	$54 \pm 1$
МЖ-2	1300	11.7	$50 \pm 1$

Здесь  $\rho$  – плотность магнитного коллоида,  $\varphi$  – объемная концентрация твердой фазы,  $M_s$  – намагниченность насыщения.

Дополнительное поглощение ультразвука связано с изменением структуры МЖ [1, 2]. Под влиянием магнитного поля образуются цепочечные агрегаты из феррочастиц. Звуковая волна при прохождении через дисперсную систему частично поглощается и рассеивается на агрегатах. Тот факт, что  $\Delta\alpha$  приближается к равновесному значению в течение нескольких суток, свидетельствует об относительно малой скорости процесса структурообразования.

Спустя  $t \approx 50$  ч (МЖ-1) и  $t \approx 150$  ч (МЖ-2) с момента начала эксперимента при дополнительном усилении сигнала в приемнике, обеспечиваемом регулировкой входного аттенюатора, для определенных углов  $\vartheta$  отчетливо наблюдается изменение формы видеоимпульса. В ранее опубликованных работах по рассматриваемой теме [1–6] и др. о подобном эффекте не сообщалось.

На рис. 2 представлены осциллограммы прошедшего через МЖ-2 ультразвукового импульса для указанных значений  $\vartheta$ . Цена деления по  $Y$  0.5 В/дел, по  $X$  – 5 мкс/дел. Осциллограммы, полученные для МЖ-1, имеют сходный характер.

В процессе вращения магнитного поля изменяется форма видеоимпульса, т.е. происходит управляемая модуляция ультразвукового импульса. На углах  $130^\circ$ – $160^\circ$  в средней части видеоимпульса появляется “провал”, который вновь наблюдается на углах  $210^\circ$ – $240^\circ$ , однако в первом случае “провал” перемещается справа налево, а во втором – в обратном направлении.

Следует отметить несколько особенностей обнаруженного эффекта: с уменьшением амплитуды зондирующего импульса в несколько раз амплитуда принятого видеоимпульса также уменьшается, сохраняя свою форму; усиление сигнала в приемнике сопровождается появлением в начале развертки зондирующего импульса (наводки) и увеличением принятого видеоимпульса, однако по мере выхода за границу динамического диапазона его форма искажается; при удалении кюветы из магнитного поля “провал” пропадает, а амплитуда сигнала возрастает, хотя и не достигает первоначального уровня; многократное (до 20–30 раз) вращение магнитного поля приводит к восстановлению формы, близкой к первоначальной, и некоторому возрастанию амплитуды видеоимпульса, а спустя несколько суток “провал” появляется снова; восстановление первоначальной формы и амплитуды ультразвукового импульса достигается путем тщательного механического перемешивания МЖ.

Приведенные выше факты позволяют исключить “аппаратурное” происхождение модуляции наблюдаемого сигнала.

Можно предположить, что изменение формы ультразвукового импульса, наблюдаемое в эксперименте, является следствием самомодуляции волны при распространении в среде с нелинейностью и дисперсией [7]. Дисперсия в данном случае могла бы быть связана с появлением в магнитном коллоиде агрегатов, состоящих из феррочастиц мелкой фракции и обладающих в магнитном поле резонансными свойствами в мегагерцовом диапа-

зоне частот. Процессы структурообразования за счет диполь-дипольного взаимодействия протекают в определенной последовательности, причем в первую очередь образуются структуры из наиболее крупных частиц, имеющих большие магнитные моменты, а в последнюю – частицы с малым магнитным моментом. Агрегаты, состоящие из малых частиц, менее устойчивы и при вращении магнитного поля легко разрушаются [8, 9].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полунин В.М. К интерпретации эффекта ослабления ультразвука в магнитной жидкости с агрегатами // *Магнит. гидродинамика*. 1986. № 3. С. 137–139.
2. Гогосов В.В., Мартынов С.И., Цуриков С.Н., Шапошникова Г.А. Распространение ультразвука в магнитной жидкости. 2. Анализ экспериментов; определение размера агрегатов // *Магнит. гидродинамика*. 1987. № 3. С. 15–22.
3. Кузин Б.И., Соколов В.В. Анизотропия поглощения ультразвука в магнитной жидкости // *Акуст. журн.* 1994. Т. 40. № 4. С. 689.
4. Рослякова Л.И., Чернышова А.А., Аксенова Т.И. Исследование кинетики процессов структурообразования в магнитных жидкостях акустическими методами // *Ультразвук и термодинамические свойства вещества: Сб. научных трудов*. Курск, 1994. С. 77–78.
5. Надворецкий В.В., Соколов В.В. Поглощение ультразвука в магнитной жидкости с эллипсоидальными агрегатами // *Магнит. гидродинамика*. 1997. Т. 33. С. 36–41.
6. Mace B.R., Jones R.W., Harland N.R. Wave transmission through structural inserts // *J. Acoust. Soc. Amer.* 2001. V. 109. № 4. P. 1417–1421.
7. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2000. 560 с.
8. Канторович С.С. Структуры цепочечных агрегатов в полидисперсных феррожидкостях // 10-я Юбилейная международная плесская конф. по магнитным жидкостям.: Сб. науч. тр. Иваново: ИГЭУ. 2002. С. 51–55.
9. Бибик Е.Е., Скобочкин В.Е. Момент трения во вращающемся поле и магнитореологический эффект в коллоидных ферромагнетиках // *Инж.-физ. журн.* 1972. Т. 22. № 4. С. 687–692.

## Modulation of Ultrasonic Pulses by a Magnetized Magnetic Colloid

A. V. Karelin and V. M. Polunin

Dependence of the shape of an ultrasonic pulse transmitted through a magnetized magnetic colloid on the angle between the wave vector and the magnetic induction vector is investigated.