

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Иванова Алексея Павловича «Модель связанных осцилляторов как инструмент анализа нелинейных колебаний в магнитоупругой системе»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Исследования магнитоупругих колебаний в перпендикулярно намагниченных пластинах железоиттриевого граната со значительной магнитоупругой связью и сравнительно малой намагниченностью насыщения остаются актуальными для формирования базовых знаний о сильно нелинейных свойствах ферритов. Они необходимы для технологических приложений, например, для создания новых магнитострикционных преобразователей с большими частотами и амплитудами возбуждаемого гиперзвука и малыми потерями энергии. В диссертации А.П. Иванова анализ исходной сложной нелинейно-краевой задачи для определяющих уравнений в частных производных редуцирован к решению к более простой модели для двух связанных осцилляторов. При построении модели автор учел только ключевые факторы, которые определяют генерирование переменным магнитным полем магнитоупругих колебаний большой амплитуды. Нелинейность упругой подсистемы в значительной степени индуцирована нелинейностью магнитной среды. Поэтому в полиномиальном разложении потенциальной энергии системы А.П. Иванов удержал слагаемые с множителями до четвертого порядка включительно по смещениям магнитного осциллятора и лишь слагаемые с множителями первой степени по смещениям упругого осциллятора. Учет ангармонизмов с суммарной степенью четвертого порядка по смещениям обоих осцилляторов принципиален для формирования в системе устойчивых колебаний и сценариев их трансформации или деградации с ростом амплитуды вынужденных упругих колебаний.

Сильная сторона диссертационной работы в том, что в ней дан исчерпывающий анализ предложенной модели, в ходе которого аналитические и численные расчеты удачно дополнили друг друга. В результате автор получил целый спектр новых результатов. Отметим наиболее интересные из них.

1. Полученная в работе нелинейная модель для осцилляторов корректно описывает колебания как магнитной, так и упругой подсистем вплоть до больших углов прецессии намагниченности. Поэтому ее можно использовать для описания многих нелинейных явлений.
2. В рамках предложенной модели выявлены типичные колебательные режимы, проанализированы сценарии переходных процессов между ними при вариациях констант линейных и нелинейных взаимодействий, частоты и амплитуды накачки. Интересно и важно, что введение динамического потенциала позволило качественно объяснить смену режимов колебаний, получить количественные оценки для пороговых значений констант взаимодействия.
3. В работе предсказаны новые нелинейные эффекты, которые могут быть полезны для приложений:
  - а) Пороговое по амплитуде накачки скачкообразное возрастание амплитуды колебаний магнитного и упругого осцилляторов, в том числе, с дополнительным явлением запаздывания во времени из-за разных времен релаксации осцилляторов и нечетной кратности их собственных частот.
  - б) Скачкообразные изменения положений равновесия осцилляторов.

в) Эффект умножения частоты вынужденных колебаний - при определенных условиях в установившемся режиме реализуется частота, большая частоты накачки в кратное число раз.

Несколько замечаний по автореферату:

а) Наличие в модельных уравнениях линейной связи между осцилляторами означает, что при построении модели не выделены линейные нормальные моды колебаний. Если такую операцию выполнить, то в линейной части упрощенной модели исчезнут слагаемые линейной связи между осцилляторами. В результате обсуждение нелинейной динамики осцилляторов будет проще (причем сразу в терминах линейных магнитоакустических мод системы).

б) Часто повторяющаяся фраза: «зависимость имеет фракталоподобный характер» не информативна, т. к. в работе она математически не обоснована.

Приведенные замечания не снижают общей высокой оценки работы. Диссертация содержит большое число весомых результатов, которые представляет интерес как с точки зрения фундаментальных знаний, так и с прикладной точки зрения. В автореферате четко сформулированы поставленные автором задачи и полученные результаты. Эти результаты опубликованы в ведущих физических журналах, многократно докладывались на российских и международных конференциях, и хорошо известны нам по публикациям.

Насколько можно судить на основании автореферата и публикаций, диссертационная работа «**Модель связанных осцилляторов как инструмент анализа нелинейных колебаний в магнитоупругой системе**» удовлетворяет самым высоким требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор **А.П. Иванов**, несомненно, достоин присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Борисов Александр Борисович,  
член-корреспондент РАН, профессор,  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института физики металлов имени М.Н. Михеева

Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН).

Телефон: 89024408516

E-mail: borisov@imp.uran.ru

Киселев Владимир Валерьевич,

доктор физико-математических наук,

главный научный сотрудник лаборатории теории нелинейных явлений

ИФМ УрО РАН.

Телефон: 89221809749

E-mail: kiseliyev@imp.uran.ru



Копия Борисова и Киселева  
Серия \_\_\_\_\_  
Главный специалист общего отдела  
Кисел  
М.Н. Кудряшова  
«24» 04 2019 г.