

## ФОРМИРОВАНИЕ ЩЕЛЕВЫХ СОЛИТОНОВ В ОГРАНИЧЕННОМ МАГНОННОМ КРИСТАЛЛЕ

С.Е. Шешукова<sup>1</sup>, М.А. Морозова<sup>1</sup>, Е.Н. Бегинин<sup>1</sup>, Ю.П. Шараевский<sup>1</sup>,  
С.А. Никитов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет  
имени Н.Г. Чернышевского»

<sup>2</sup>Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН  
SheshukovaSE@yandex.ru

В последние годы активно исследуются сверхвысокочастотные (СВЧ) свойства периодических структур, изготовленных на основе ферромагнитных пленок (магнонных кристаллов – МК), в которых распространяются магнитостатические волны (МСВ) [1-5]. Это обусловлено большими успехами в технологии выращивания пленочных магнитных материалов и новым подходам в технологиях получения периодических структур. Особый интерес представляют исследования нового типа солитонов (щелевых солитонов), которые могут распространяться в запрещенной зоне с групповой скоростью намного меньше, чем скорость распространения солитона в однородной нелинейной среде. Изучение таких солитонов представляет интерес не только с фундаментальной точки зрения, но и имеет широкие потенциальные возможности для практического использования таких структур в телекоммуникационных системах

Целью данной работы было исследование особенностей распространения импульсных сигналов в одномерной периодической ферромагнитной структуре и определение условий формирования в ней щелевых солитонов.

Для построения теоретической модели, описывающей распространение сигнала через МК на частотах, лежащих внутри запрещенной зоны, использовался метод связанных волн. Представляя амплитуду огибающей в виде суперпозиции прямой и встречной волн, была построена модель в виде связанных нелинейных уравнений Шредингера (НУШ) с учетом потерь, описывающая распространение МСВ в ограниченном МК. Также было получено выражение для коэффициента связи, которое, в основном, зависит от геометрических параметров структуры. В отличие от [3] полученная система уравнений позволяет исследовать прохождение импульсов с частотой несущей, строго совпадающей с центром запрещенной зоны. На основе численного решения построенной системы НУШ было получено, что при определенном значении входной амплитуды в выходном сигнале можно наблюдать два всплеска с интервалом равным длительности входного импульса. Данные всплески являются результатами дифференцирования фронта и среза входного прямоугольного импульса. При увеличении входной амплитуды в выходном сигнале между всплесками формируется дополнительный импульс. При дальнейшем увеличении амплитуды обра-

зующийся между всплесками импульс приближается к переднему всплеску выходного сигнала, т.е. его скорость увеличивается (рис. 1).

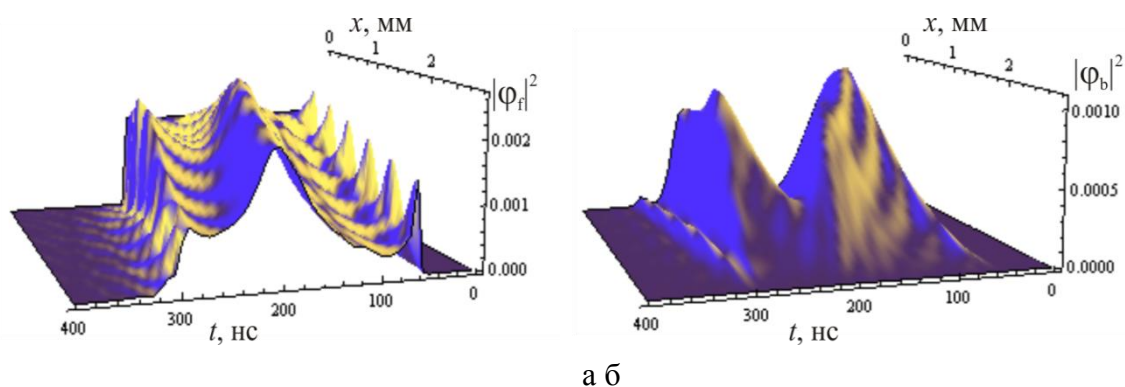


Рис. 1. Пространственно-временная эволюция амплитуды огибающей прямой волны (а) и встречной волны (б) вдоль МК.

Для проведения экспериментальных исследований была собрана установка, содержащая генератор СВЧ-сигналов, макет линии передачи (ЛП) на основе МК и СВЧ-анализатор цепей. На вход ЛП подавались прямоугольные импульсы длительностью 260 нс, мощность которых менялась от -10 дБмВт до 20 дБмВт. Частота несущей совпадала с центром запрещенной зоны и лежала в области частот, при которых возможны трехмагнотные процессы распада МСВ.

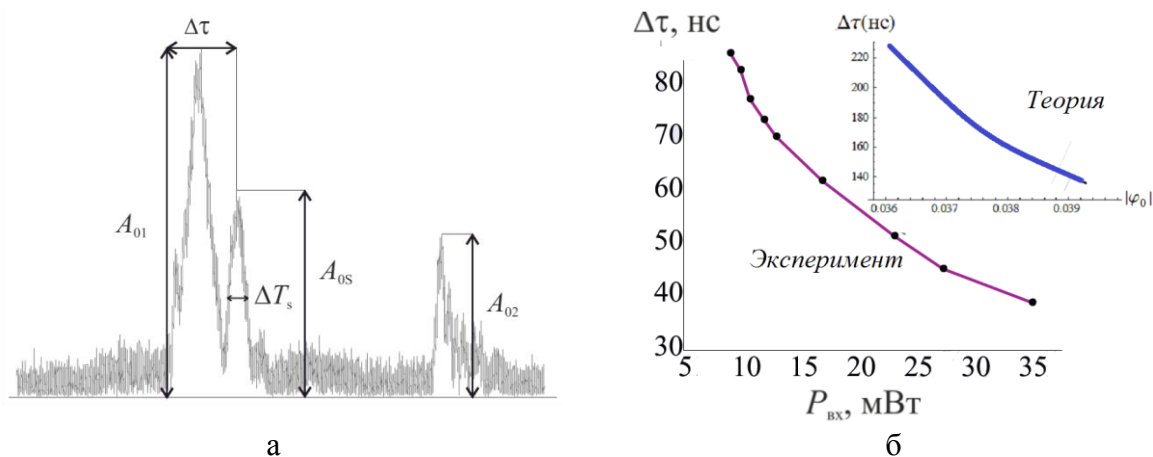


Рис.2. Огибающая выходного сигнала: амплитуды начального  $A_{01}$ , дополнительного  $A_{0S}$  и конечного  $A_{02}$  импульсов (а); зависимость смещения дополнительного импульса от мощности входного сигнала (б).

Было получено, что при изменении входной мощности наблюдается аналогичная динамика как при численном эксперименте – формируется дополнительный импульс (рис. 2 а). Были исследованы характеристики этого импульса: зависимость пиковой мощности от его длительности и входной мощности, а также величины смещения от входной мощности (рис. 2 б). Наблюдается хорошее соответствие экспериментальных и теоретических результатов, из которых видно, что при увеличении вход-

ной мощности  $\Delta\tau$  уменьшается, т. е. дополнительный импульс приближается к переднему всплеску выходного сигнала. Следовательно, с увеличением входной мощности скорость дополнительного импульса увеличивается, что является одним из свойств солитонов – скорость пропорциональна амплитуде. Также было исследовано поведение фазы внутри импульса, которая представляет собой «полочку». На основе экспериментальных данных были оценены времена нелинейности, дисперсии и релаксации, а также пороговая мощность входного сигнала, которые подтвердили солитонную природу генерируемых импульсов.

Таким образом, в данной работе показана возможность генерации солитоноподобных импульсов в запрещенной зоне одномерного МК при распространении поверхностной МСВ на частотах ниже 4 ГГц. Влияние трехмагنونных процессов сводится к формированию «скола» на срезе импульса, что приводит к уменьшению коэффициента пропускания при увеличении входной мощности выше пороговой. Генерация импульсов наблюдается при увеличении входной мощности, скорость импульсов меньше групповой скорости поверхностных волн в однородной плёнке и растёт с увеличением амплитуды. Данный эффект генерации солитоноподобных импульсов хорошо описывается в рамках теории связанных волн с помощью системы связанных нелинейных уравнений Шредингера для огибающих прямой и встречной волн в периодической структуре.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (12-07-31009), Правительства РФ (№ 11.G34.31.0030) и стипендии Президента РФ (СП-1551.2013.5).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев Ю.В., Никитов С.А. // ДАН. 2001. Т.380. С.469.
2. Serga A.A., Chumak A.V., Hillebrands B. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2010. V. 43 P. 264002.
3. Дроздовский А.В., Черкасский М.А., Устинов А.Б., Ковшиков Н.Г., Калиникос Б.А. // Письма в ЖЭТФ, 2010. Т. 91, вып. 1. С.17-22.
4. Ustinov A.V., Kalinikos B.A., Demidov V.E., Demokritov S.O. // Physical Review B. 2010. Vol. 81. P. 180406.
5. Морозова М.А., Шараевский Ю.П., Шешукова С.Е. // Изв.вузов.: Прикладная нелинейная динамика. 2010. Т.18, №5. С. 113-124.