

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра электроники, колебаний и волн

**ГЕНЕРАЦИЯ УЛЬТРАКОРТКИХ ИМПУЛЬСОВ И АНАЛОГОВ  
ВОЛН-УБИЙЦ В МНОГОСВЯЗНЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ  
ОСЦИЛЛЯТОРАХ ВЫШКИНД-РАБИНОВИЧА**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4031 группы  
направления 03.03.03 «Радиофизика»  
института физики  
Комкова Павла Сергеевича

Научный руководитель  
доцент кафедры ЭКиВ, к.ф.-м.н.

  
Гришин С.В.  
01.06.2023 г.

Зав. кафедрой электроники, колебаний и волн  
доцент кафедры ЭКиВ, к.ф.-м.н.

  
Гришин С.В.  
01.06.2023 г.

Саратов 2023 г.

## Введение

Диссипативные солитоны являются одной из современных парадигм нелинейной динамики и теории самоорганизации. Они представляют собой локализованные в пространстве и/или во времени структуры, которые формируются в открытых сильно неравновесных нелинейных диссипативных системах в результате установления баланса между притоком энергии из вне и ее оттоком (диссипацией). В отличие от консервативных солитонов, баланс между дисперсией/дифракцией и нелинейностью для диссипативных солитонов не является обязательным. Диссипативные солитоны были открыты в различных областях науки, а в последние годы они стали активно исследоваться в вакуумной СВЧ электронике.

**Актуальность.** В последнее время активно проводятся исследования, направленные на получение коротких или даже ультракоротких импульсов (УКИ). Интерес к таким импульсам обусловлен несколькими причинами. Во-первых, это значительное увеличение скорости передачи информации за счет большой спектральной ширины УКИ и возможности использования большого числа каналов при передаче сигнала от одного импульсного источника. Во-вторых, за счет значительного увеличения во временном разрешении подобные импульсы возможно использовать в медицине при диагностике и лечении различных заболеваний.

**Цель работы.** Целью работы является исследование режимов генерации импульсных сигналов в многосвязанных параметрических осцилляторах Вышкинд-Рабиновича при различных видах связи.

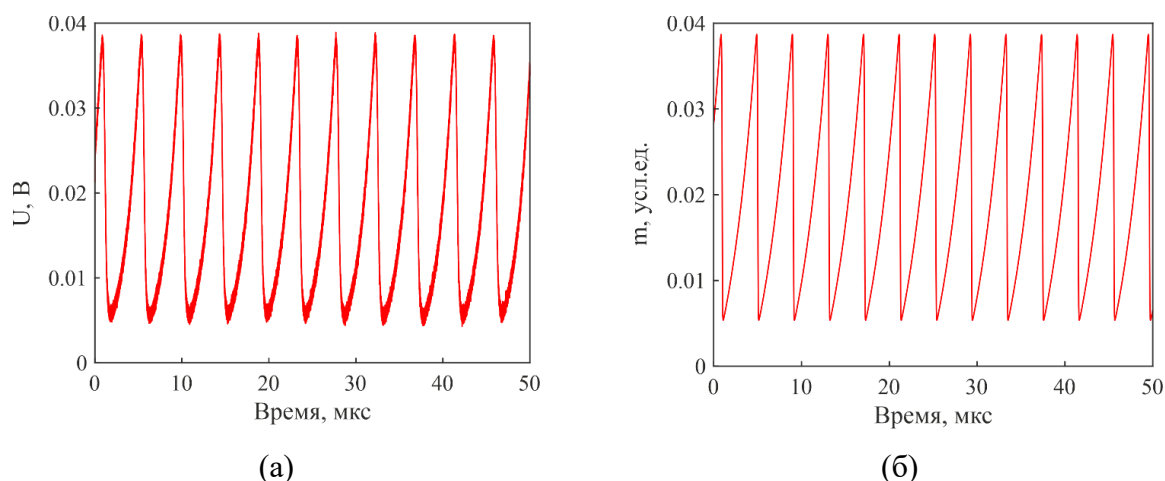
**Задачи.** В ходе работы была исследована динамика системы многосвязанных осцилляторов Вышкинд-Рабиновича. Получены новые режимы генерации импульсных сигналов и продемонстрирован переход к хаосу.

Работа состоит из следующих основных разделов:

1. Параметрический осциллятор Вышкинд-Рабиновича.
2. Два связанных параметрических осциллятора Вышкинд-Рабиновича.
3. Три связанных параметрических осциллятора Вышкинд-Рабиновича.

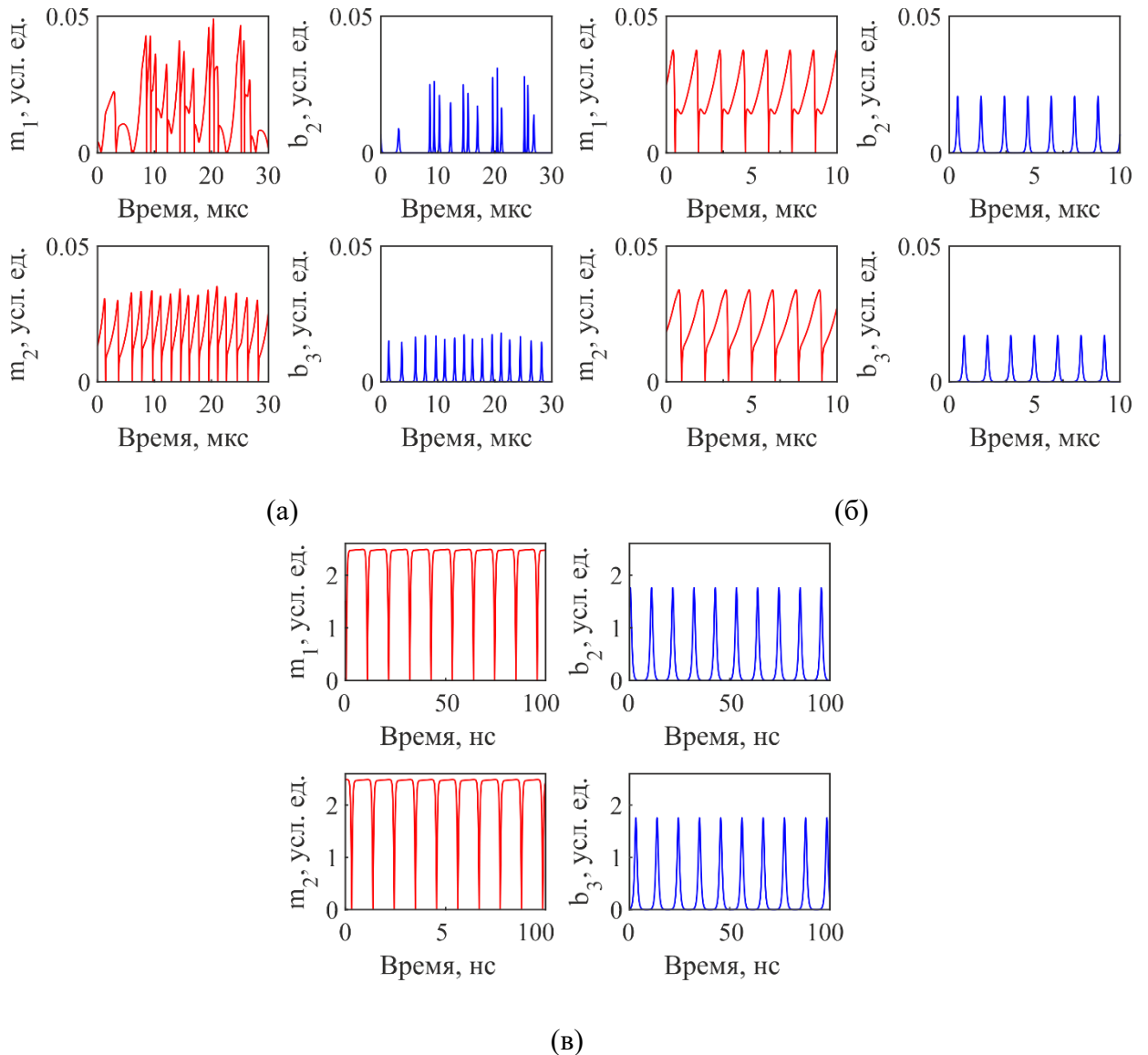
### Основное содержание работы

В первом разделе представлены результаты численного моделирования режимов генерации импульсных сигналов в параметрическом осцилляторе Вышкинд-Рабиновича. Продемонстрирован переход к хаосу через бифуркацию удвоения периода при изменении отстройки от резонанса  $\delta$ . На основе уравнений в вариациях построен спектр показателей Ляпунова, из которого определены области периодической и хаотической динамики осциллятора. Проведен эксперимент на основе кольцевого автогенератора, поддерживающим трехволновый параметрический распад спиновых волн в области разрешенных частот. В результате были получены осциллограммы огибающей сигнала генерируемого на частоте магнитостатической спиновой волны, которые качественно совпадают с результатами численного моделирования (см. рис.1). Временные реализации параметрически возбуждаемых спиновых волн получить в радиофизическом эксперименте не удастся, так как они быстро затухают.



**Рисунок 1.** - Огибающие СВЧ-сигнала, полученные из радиофизического (а) и численного (б) экспериментов. На (б) расчеты выполнены для  $\eta = 0.28 \text{ мкс}^{-1}$ ,  $\nu = 19 \text{ мкс}^{-1}$  и  $\delta = 26 \text{ мкс}^{-1}$ .

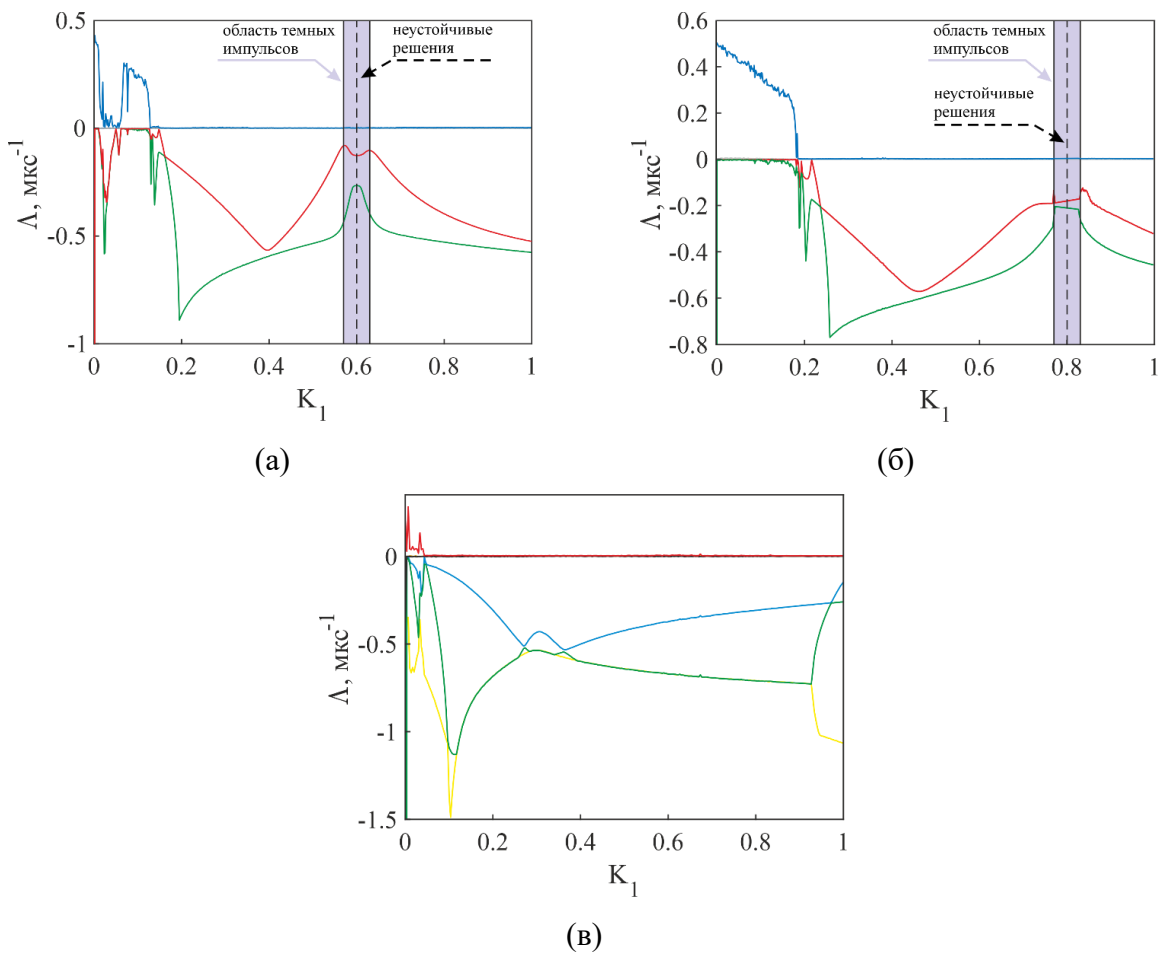
Во втором разделе представлены результаты численного моделирования системы двух связанных параметрических осцилляторов Вышкинд-Рабиновича. Рассматривается два вида связи – однонаправленная и двунаправленная. В случае однонаправленной связи возможно получить два режима – периодических и хаотических последовательностей релаксационных импульсов огибающей на неустойчивой волне и импульсов огибающей колокообразной формы на параметрически возбуждаемых волнах, что



**Рисунок 2.** - Динамические режимы системы двух двунаправлено связанных параметрических осцилляторов Вышкинд-Рабиновича при изменении коэффициента связи  $K_1$ : (а) – 0.1; (б) – 0.2; (в) – 0.595. Во всех случаях  $K_2 = 0.6$ .

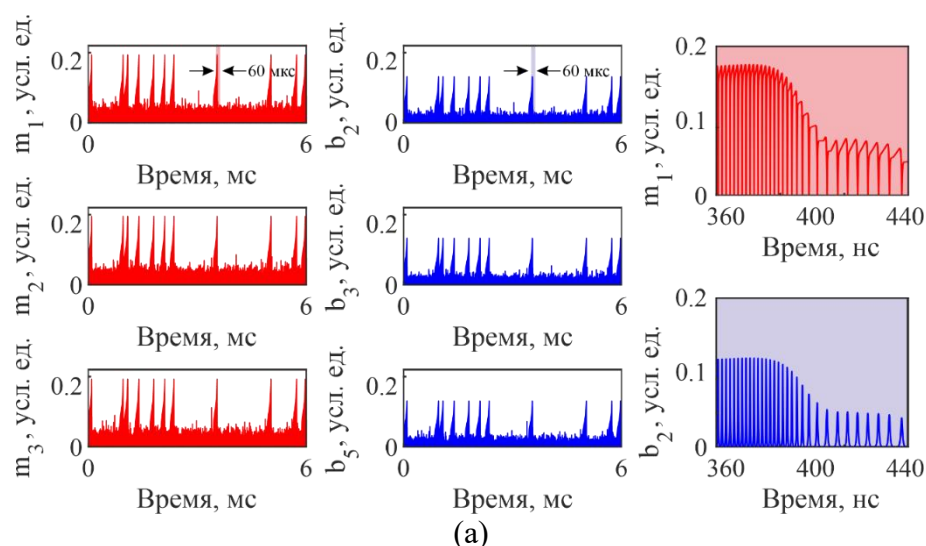
повторяет динамику одиночного параметрического осциллятора. В случае двунаправленной связи помимо указанных выше режимов (см. рис.2а, б), наблюдается новый режим генерации в виде периодических последовательностей темных и светлых импульсов огибающей (см. рис. 2в).

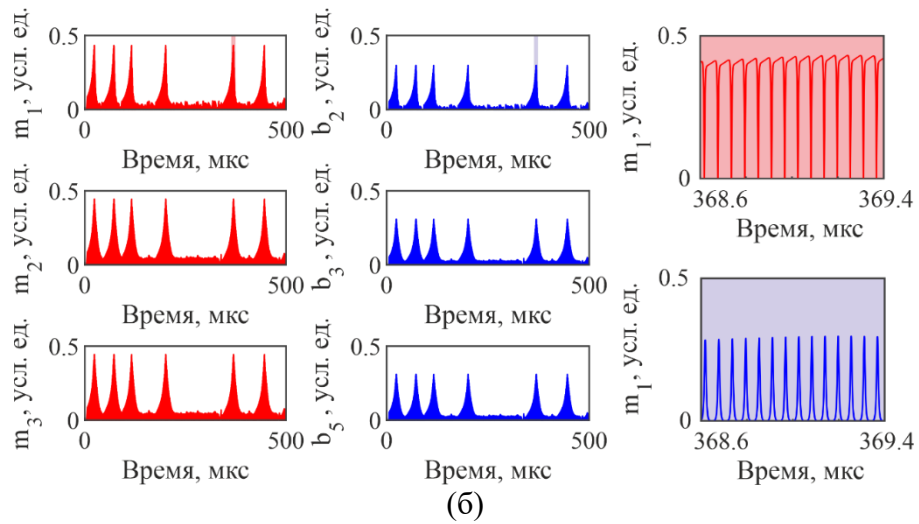
Также в случае двунаправленной связи в системе наблюдается неустойчивость решений системы уравнений при равных коэффициентах связи. Следует отметить, что такая неустойчивость решений существует не при всех равных коэффициентах связи (см. рис3в), а при таких, которые принадлежат интервалу от 0.5 до 1. Определена область темных импульсов, которая отмечена фиолетовой заливкой на рис.3а,б.



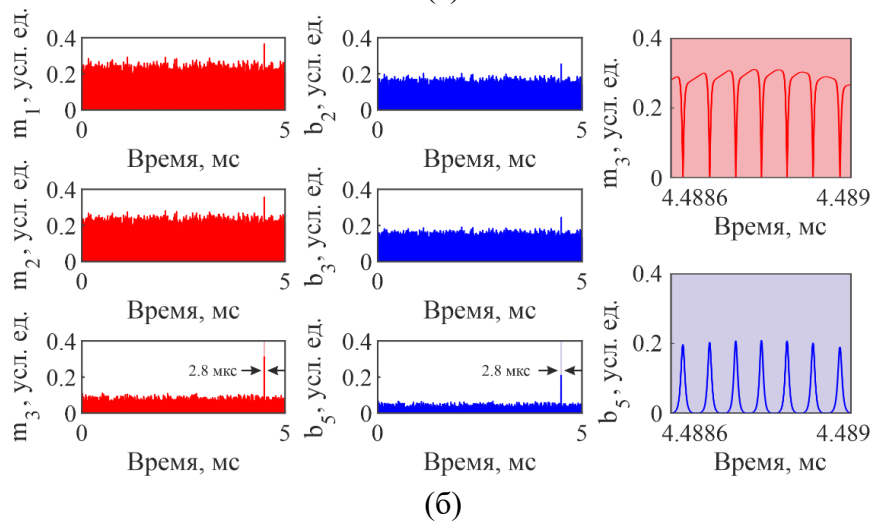
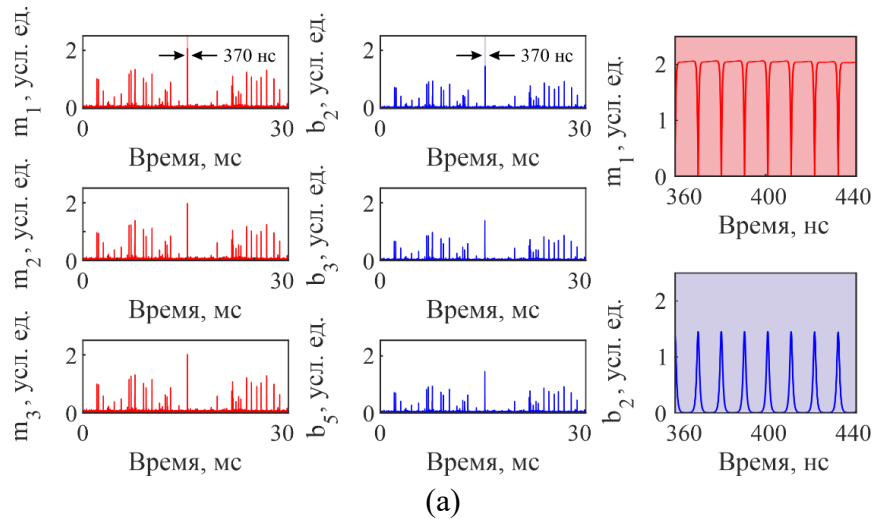
**Рисунок 3.** - Спектр показателей Ляпунова, рассчитанный для системы двух двунаправлено связанных параметрических осцилляторов Вышкинд-Рабиновича при разных фиксированных значениях коэффициента связи  $K_2$ : (а) – 0.6; (б) – 0.8; (в) – 0.3.

В третьем разделе представлены результаты численного моделирования системы трех одно- и двунаправленно связанных параметрических осцилляторов Вышкинд-Рабиновича. Помимо известных режимов генерации были получены два новых режима: режим генерации хаотических последовательностей импульсов «гигантской» амплитуды и режим генерации аналогов волн-убийц. Первый режим получен при условии, что два коэффициента связи равны между собой, а значение третьего коэффициента связи немного отличается от первых двух (см. рис.4а,б). При этом значения всех трех коэффициентов связи принадлежат области, в которой два однонаправленно связанных параметрических осциллятора имеют неустойчивые решения. Второй режим получен при условии, что все три значения коэффициентов связи немного отличаются друг от друга, и их значения больше, чем в первом режиме, но, по-прежнему, принадлежат области, в которой два однонаправленно связанных параметрических осциллятора имеют неустойчивые решения (см. рис.5а,б). Во всех гигантских импульсах на неустойчивой волне вложены темные импульсы, а в гигантские импульсы на параметрически возбуждаемой волне вложены светлые импульсы.





**Рисунок 4.** Генерация импульсов гигантской амплитуды в системе трех параметрических осцилляторов Вышкинд-Рабиновича связанных одно- и двунаправленной связью с коэффициентами связи (а) –  $K_1 = K_3 = 0.51$ ,  $K_2 = 0.509$ ; (б) –  $K_1 = 0.301$ ,  $K_2 = 0.3$ ,  $K_3 = 0.3001$ ..



**Рисунок 5.** – Генерация аналогов волн-убийц в системе трех параметрических осцилляторов Вышкинд-Рабиновича в случае одно- и двунаправленной связи с



коэффициентами связи: (а) –  $K_1 = 0.8, K_2 = 0.80001, K_3 = 0.801$ ; (б) –  $K_1 = 0.7, K_2 = 0.8, K_3 = 0.88$ .

Кроме того, в системе трех двунаправлено связанных параметрических осцилляторов расширяется область неустойчивых решений при равных значениях коэффициентах связи по сравнению со случаями трех однонаправлено связанных и двух двунаправлено связанных осцилляторов.

### Заключение

В ходе выполнения дипломной работы были получены следующие основные результаты:

Для параметрического осциллятора Вышкинд-Рабиновича изучены режимы генерации импульсных сигналов и построен спектр показателей Ляпунова. Проведен эксперимент с использованием одномодового кольцевого автогенератора, работающего в условиях трехволнового параметрического распада спиновых волн. Полученные в эксперименте результаты качественно совпадают с теоретическими и показано, что переход к хаосу в такой системе осуществляется по сценарию Фейгенбаума.

Исследована динамика двух однонаправлено и двунаправлено связанных параметрических осцилляторов Вышкинд-Рабиновича. Показано, что в случае однонаправленной связи здесь наблюдаются такие же режимы, как и в одиночном параметрическом осцилляторе. В случае двунаправленной связи, помимо уже известных режимов найдены новые режимы генерации в виде периодических и хаотических последовательностей темных импульсов огибающей на неустойчивой волне, которые параметрически связаны со светлыми импульсами огибающей на параметрически возбуждаемых волнах. Определены границы существования темных импульсов огибающей, а также области неустойчивых решений.

Исследована динамика трех однонаправлено и двунаправлено связанных параметрических осцилляторов Вышкинд-Рабиновича. В обоих случаях получены новые режимы генерации в виде хаотических последовательностей импульсов «гигантской» амплитуды как на неустойчивых, так и на



параметрически возбуждаемых волнах, которые формируются на хаотическом амплитудном фоне во всех трех параметрических осцилляторах. Период следования таких импульсов меняется хаотически, а пиковая амплитуды таких импульсов может либо оставаться постоянной от импульса к импульсу. Либо меняться хаотическим образом. В последнем случае такие импульсы являются аналогами волн-убийц. Отличительной особенностью импульсов «гигантской» амплитуды является то, что на неустойчивой волне они содержат квазипериодическую последовательность темных импульсов огибающей, а на параметрически возбуждаемой волне - квазипериодическую последовательность светлых импульсов огибающей. Длительность и период следования импульсов «гигантской» амплитуды на три-четыре порядка величины превосходят длительность и период следования «вложенных» в них более коротких (темных или светлых) импульсов огибающей. Кроме того, в системе трех двунаправлено связанных параметрических осцилляторов расширяется область неустойчивых решений при равных значениях коэффициентах связи по сравнению со случаями трех однонаправлено связанных и двух двунаправлено связанных осцилляторов.