

Возбуждение оптических волн-убийц в модели лазера с оптоэлектронной обратной связью

А.А. Кренц^{1,2}, Н.Е. Молевич^{1,2}, Е.А. Ярунова^{1,2}

¹Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Ново-Садовая221, Самара, Россия, 443011

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

Аннотация

В работе численно исследована динамика лазера с оптоэлектронной обратной связью, управляющей добротностью резонатора. Увеличение времени задержки приводит к кризису хаотического аттрактора и появлению оптических волн-убийц. Показано, что возможно возбуждение оптических волн-убийц с помощью кратковременного малого по амплитуде уменьшения добротности резонатора.

Ключевые слова

Волны-убийцы, оптоэлектронная обратная связь, динамический хаос

1. Введение

В последние годы интенсивно исследуются лазерные системы, в которых реализуются экстремальные оптические импульсы, часто называемы оптическими волнами-убийцами [1]. Такие лазерные системы являются отличными испытательными стендами для изучения волн-убийц в контролируемых условиях [2]. Волны-убийцы наблюдались во многих системах и первоначально были обнаружены в гидродинамике, где иногда сообщалось об огромных волнах в океанских водах, которые, в отличие от цунами или солитонов, могут возникать из ниоткуда, исчезать на короткой пространственной длине и не обязательно распространяются на большие расстояния. Оптические волны-убийцы - это импульсы сверхвысокой интенсивности, которые качественно характеризуются длинным хвостом в функции распределения вероятностей значений интенсивности.

Динамика лазера с оптоэлектронной обратной связью, управляющей добротностью резонатора описывается хорошо известными уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{\partial I}{\partial t} = GI[N - 1 + \varepsilon I(t - \tau)], \\ \frac{\partial N}{\partial t} = A - N(I + 1), \end{cases} \quad (1)$$

где I – интенсивность лазерного излучения, а N – инверсия населенности; A – параметр накачки; $G=k_0/\gamma$, k_0 – постоянная часть внутррезонаторных потерь, γ – скорость релаксации инверсии, ε – сила оптоэлектронной обратной связи, τ – время задержки. В данной модели, чем выше интенсивность излучения, тем ниже потери резонатора.

Моделирование проводилось при параметрах соответствующих Nd:YAG лазеру: $G=5000$, $A=1,2$, $\varepsilon=0,01$. Численное интегрирование системы уравнений (1) проводилось методом Рунге-Кутты 4-го порядка с шагом $h=0,0001$. В предыдущей работе нами показано [3], что при увеличении времени задержки до критического значения $\tau_{кр} \approx 0,5133$ происходит кризис хаотического аттрактора. При $\tau > \tau_{кр}$ в системе существует сразу два хаотических аттрактора, причем фазовая траектория большую часть времени находится на аттракторе с меньшей средней амплитудой. Однако иногда случайным образом фазовая траектория «перепрыгивает» на другой хаотический аттрактор с большой средней амплитудой. Именно во время таких «прыжков» лазер генерирует редкие импульсы большой амплитуды, называемы оптическими

волнами-убийцами. При $\tau < \tau_{кр}$ лазер работает в режиме динамического хаоса без генерации редких импульсов большой амплитуды.

В данной работе нам удалось показать, что при $\tau < \tau_{кр}$ возможно возбуждение волны-убийцы при помощи короткого внешнего воздействия. Для этого в систему уравнений (1) добавляется возможность изменять добротность резонатора с помощью внешнего воздействия (физически это легко реализуется с помощью подачи дополнительного напряжения на ячейку Керра). Исследована возможность возбуждения импульса большой амплитуды при помощи короткого импульса прямоугольной формы. Результаты моделирования показаны на рисунке 1.

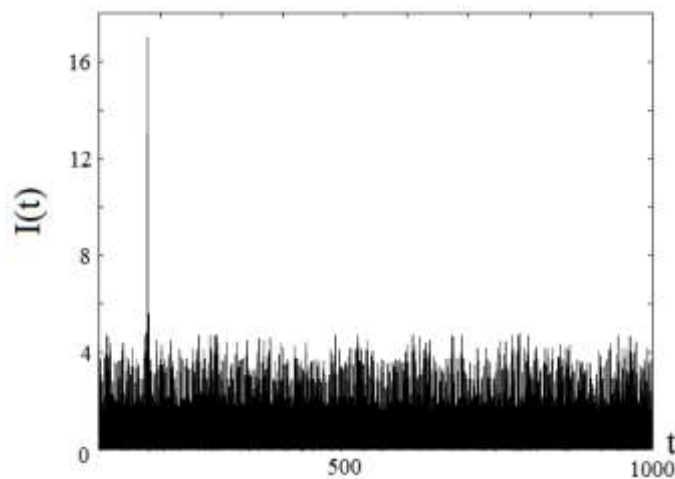


Рисунок1: Оптическая волна-убийца возбужденная прямоугольным импульсом длительностью $T=0,01$ и амплитудой $\Delta=0,001$

В работе показано, что в модели лазера с оптоэлектронной обратной связью возможно возбуждение оптических волн-убийц с помощью внешнего воздействия малой амплитуды. Данный результат открывает перспективу управления оптическими волнами убийцами.

2. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание по теме 0023-2019-0003, FSSS-2020-0014).

3. Литература

- [1] Solli, D.R. Optical rogue waves / D.R. Solli, C. Ropers, P. Koonath, B. Jalali // Nature. – 2007. – Vol. 450. – P. 1054-1057.
- [2] Pisarchik, A.N. Rogue waves in a multistable system / A.N. Pisarchik, R. Jaimes-Reategui, R. Sevilla-Escoboza, G. Huerta-Cuellar, M. Taki // Phys. Rev. Lett. – 2011. – Vol. 107. – P. 274101.
- [3] Krents, A. Optical extreme events in laser with optoelectronic feedback / A. Krents, N. Molevich, E. Yarunova // IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology. – 2020. – P. 9253300.