

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

Кафедра нелинейной физики

Исследование явления когерентного резонанса при воздействии шумового

наименование темы выпускной квалификационной работы полужирным шрифтом
сигнала на параметрическую систему с взаимодействием трех мод

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 4011 группы
направления (специальности) 03.03.01 Прикладные математика и физика
код и наименование направления (специальности)
Институт физики
наименование факультета, института, колледжа
Курицына Алина Насуровна
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель
Старший преподаватель
должность, ученая степень, уч. звание

[Подпись]
подпись, дата

Романенко Д.В.
Инициалы Фамилия

Зав. кафедрой нелинейной физики
полное наименование кафедры
к.ф. – м.н., доцент
должность, ученая степень, уч. звание

[Подпись]
подпись, дата

Бегинин Е. Н.
Инициалы Фамилия

Саратов 2024 год

В Введение приведены определения явления когерентного резонанса обоснована актуальность темы выпускной квалификационной работы, указаны её цели и задачи.

Явление когерентного резонанса было открыто в возбуждимых шумом модельных системах и проявлялось в существовании у шумового сигнала оптимального уровня, при котором индуцированные шумом колебания динамической системы становились более когерентными. В спектре мощности флуктуационный пик обладал оптимальными характеристиками, т.е. был наиболее выражен на фоне шумового пьедестала при некотором оптимальном уровне шума. Фактически, шум играл конструктивную роль для усиления когерентности колебаний без использования внешних периодических сигналов. Исследования когерентного резонанса при воздействии шума на автоколебательную систему, в которой в отсутствие шума уже генерировались бы собственные колебания, не проводились. В таких системах изучалось другое явление – синхронизация автоколебаний в присутствии шума. При этом автоколебания могли быть хаотическими.

Цель работы Исследование явления когерентного резонанса при воздействии шумового сигнала на параметрическую систему с взаимодействием трех мод, определить существование у шумового сигнала оптимальный уровень, при котором индуцированный шум колебаний динамической системы становились более когерентным.

В первой главе показаны основные формулы для расчета время корреляции, и отношение шума к сигналу.

Чтобы описать исследование явления когерентного резонанса при воздействии шумового сигнала на параметрическую систему с помощью одной величины, мы рассчитаем характерное время корреляции следующим образом:

$$\tau_c = \int_0^{\infty} C^2(t) dt, \quad (1)$$

Хотя время корреляции может быть легко получено численно, для удобства теоретического рассмотрения мы вводим другую величину (которая может быть интерпретирована в контексте терминология стохастического резонанса, такая как отношение шума к сигналу).

$$R_p = \frac{\sqrt{\text{Var}(t_p)}}{\langle t_p \rangle}, \quad (2)$$

где t_p можно рассматривать как последовательность импульсов с длительностью. Физически возникновение когерентного резонанса тесно связано с возбудимостью системы Фитцхью–Нагумо.

Во второй главе приведена система уравнений описывающие параметрическое взаимодействие трех мод в среде с квадратической нелинейностью под внешним воздействием.

Для исследование явления когерентного резонанса при воздействии шумового сигнала на параметрическую систему с взаимодействием трех мод, воспользуемся системой уравнений (3) описывающие параметрическое взаимодействие трех мод в среде с квадратической нелинейностью под внешним воздействием:

$$\begin{aligned} \frac{dm}{dt} &= C_0 b_1(t) b_2^*(t) e^{-i\delta t} + \gamma \left(1 - \alpha * th(m(t - \tau) + A_{ex}(t)) \right) m(t - \tau) \\ \frac{db_1}{dt} &= C_1 m(t) b_2(t) e^{i\delta t} - \eta b_1(t) \\ \frac{db_2}{dt} &= C_2 m(t) b_1(t) e^{i\delta t} - \eta b_2(t) \end{aligned} \tag{3}$$

3 моды, которые взаимодействуют в среде с квадратичной нелинейности. Правая часть уравнения добавляет обратную связь для первой моды. m - амплитуда колебательного процесса накачки, b - амплитуды параметрически возбуждаемых процессов, $A_{ex}(t)$ – белый шум

Покажем, характерные параметры внешнего шумового сигнала и гистограмму распределения вероятности.

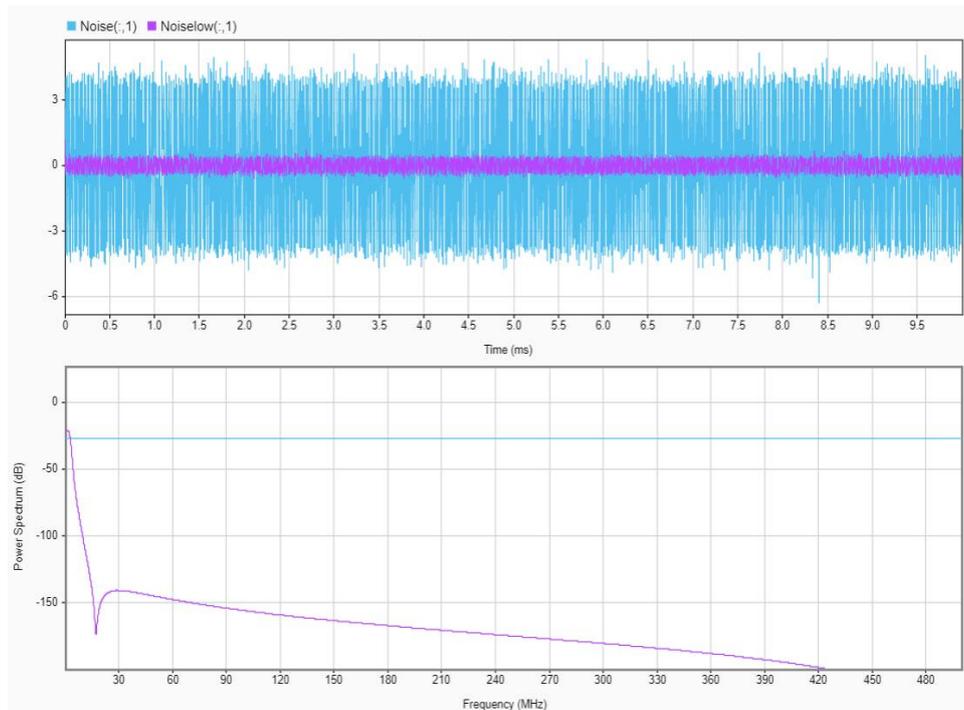


Рис.1 Временные реализации (сверху) и спектр мощности (снизу) внешнего шумового сигнала. Голубым цветом показан шумовой сигнал до фильтрации, фиолетовым после.

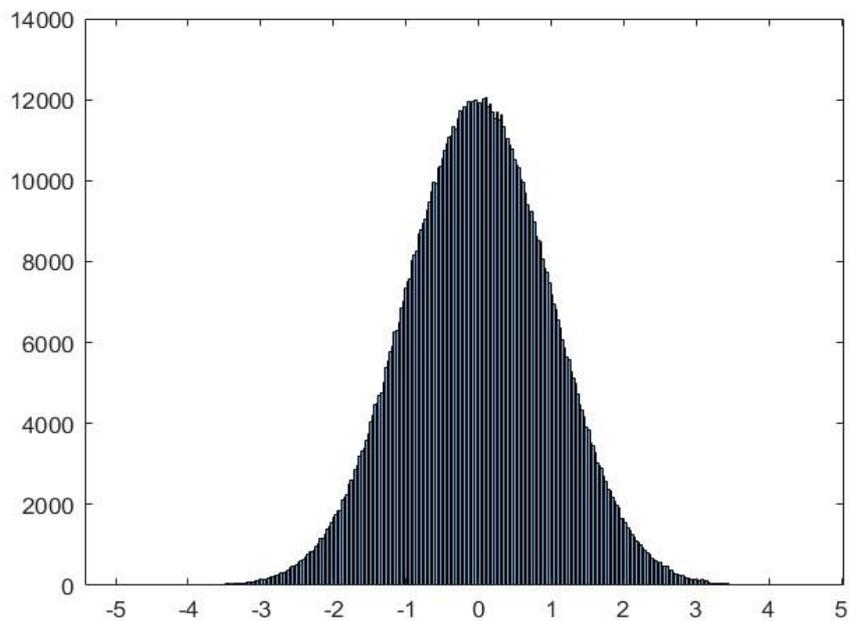


Рис.2 Гистограмма распределение вероятности для внешнего шумового сигнала

В третьей главе проведено исследование зависимости амплитуды колебательного процесса накачки; амплитуды параметрически возбуждаемых процессов; амплитуды шума от времени при ширине полосы шума $W=1$ МГц. Построили зависимость времени корреляции от амплитуды шума по временным реализация которые мы получили ранее.

Добавляем генерацию белого шума и его фильтрацию фильтром низких частот (частота в МГц). Расчет отфильтрованного шума выполнен в программном пакете Matlab, расчет времени автокорреляции выполнен по формуле (1). Нормированное время корреляции есть отношение времени корреляции измеряемого сигнала к времени корреляции прямоугольного импульса той же длительности.

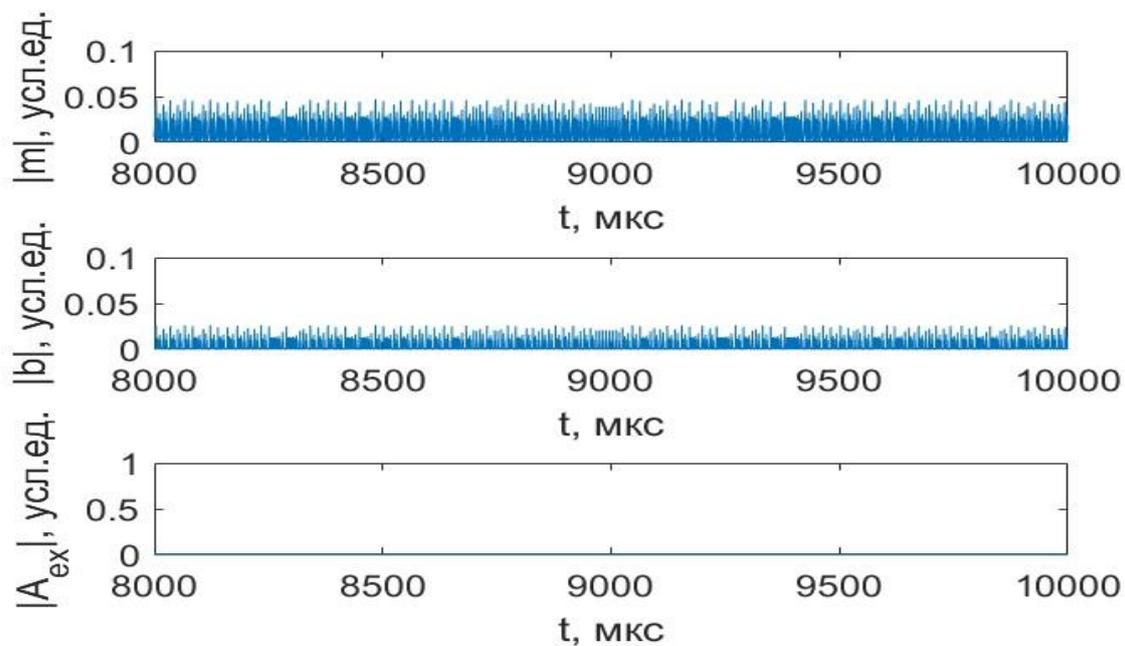


Рис.3 Зависимости амплитуды колебательного процесса накачки (сверху); амплитуды параметрически возбуждаемых процессов (посередине); амплитуды шума от времени (снизу) при ширине полосы шума $W=1$ МГц и амплитуде шума $A_{ex}=0$

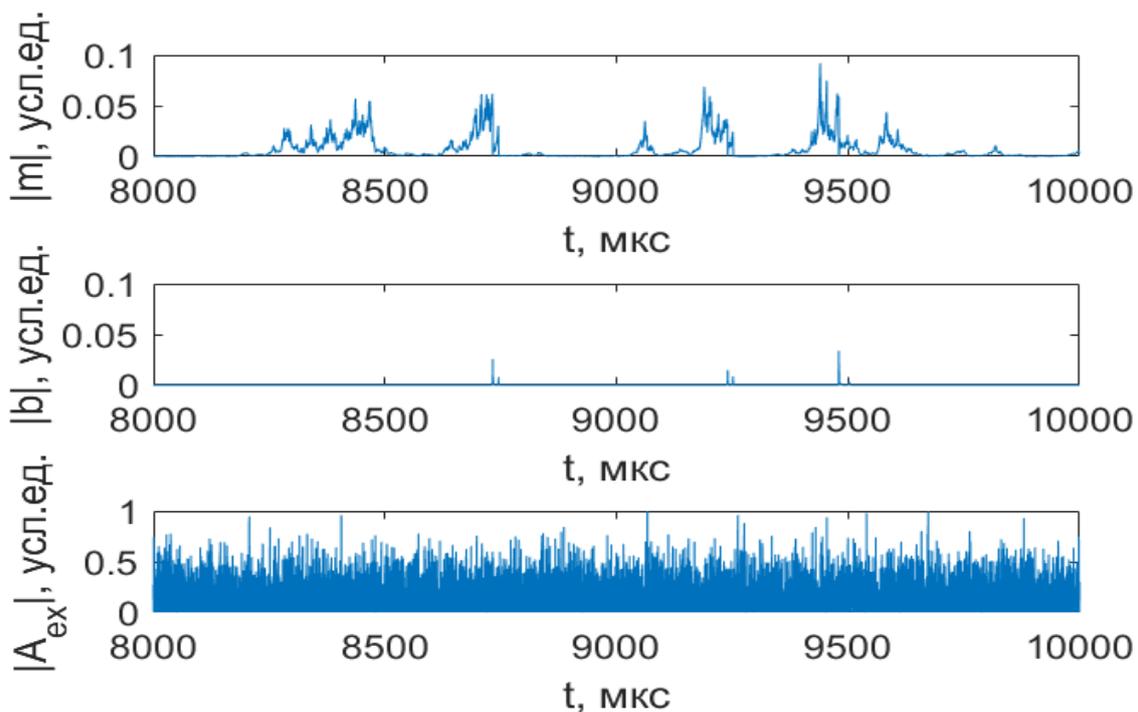


Рис.4 Зависимости амплитуды колебательного процесса накачки (сверху); амплитуды параметрически возбуждаемых процессов (посередине); амплитуды шума от времени (снизу) при ширине полосы шума $W=1$ МГц и амплитуде шума $A_{ex}=5$

При увеличении амплитуды белого шума до $A_{ex} = 5.0$, наблюдается практически полное подавление собственной динамики системы за исключением некоторых временных интервалов, где амплитуда шума не достаточна. При дальнейшем увеличении амплитуды внешнего шумового сигнала собственная динамика системы полностью подавляет. На рисунке 2 представлены зависимости амплитуды моды накачки от времени (сверху), параметрически возбуждаемых мод (по центру) и внешнего шумового сигнала (снизу). Можем наблюдать пилообразную форму у амплитуд колебательного процесса накачки и амплитуд параметрически возбуждаемых процессов.

Построим зависимость времени корреляции от амплитуды шума по временным реализация которые мы получили ранее.

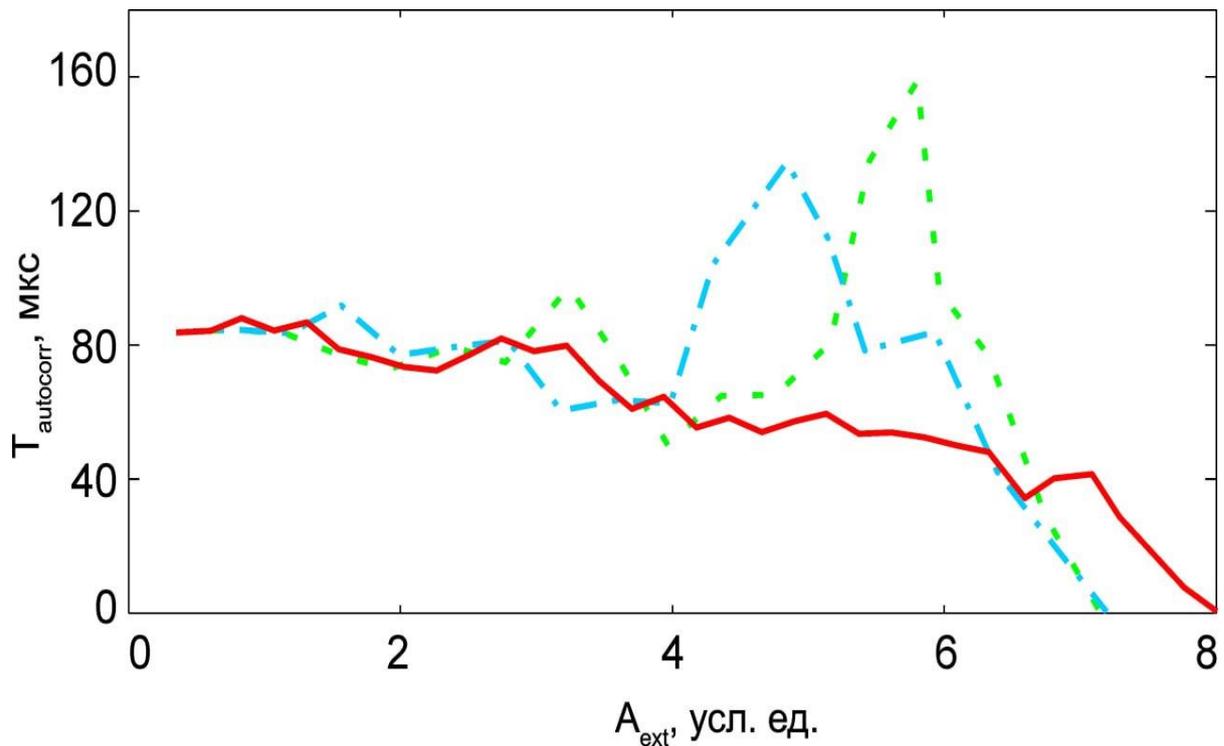


Рис.5 Зависимость времени автокорреляции от интенсивности шумового сигнала для 3 значений ширины спектра шума: Синяя кривая - 1 МГц, зеленая кривая 5 МГц, красная 10 МГц.

На рисунке 5 видно, что для синей кривой существует максимум времени автокорреляции генерируемого сигнала при амплитуде шума ~ 4.8 , соответственно можно говорить что в такой системе наблюдается существование у шумового сигнала оптимальный уровень, при котором собственная динамика хаотической динамической системы становилась более когерентной. То есть наблюдается явление когерентного резонанса.

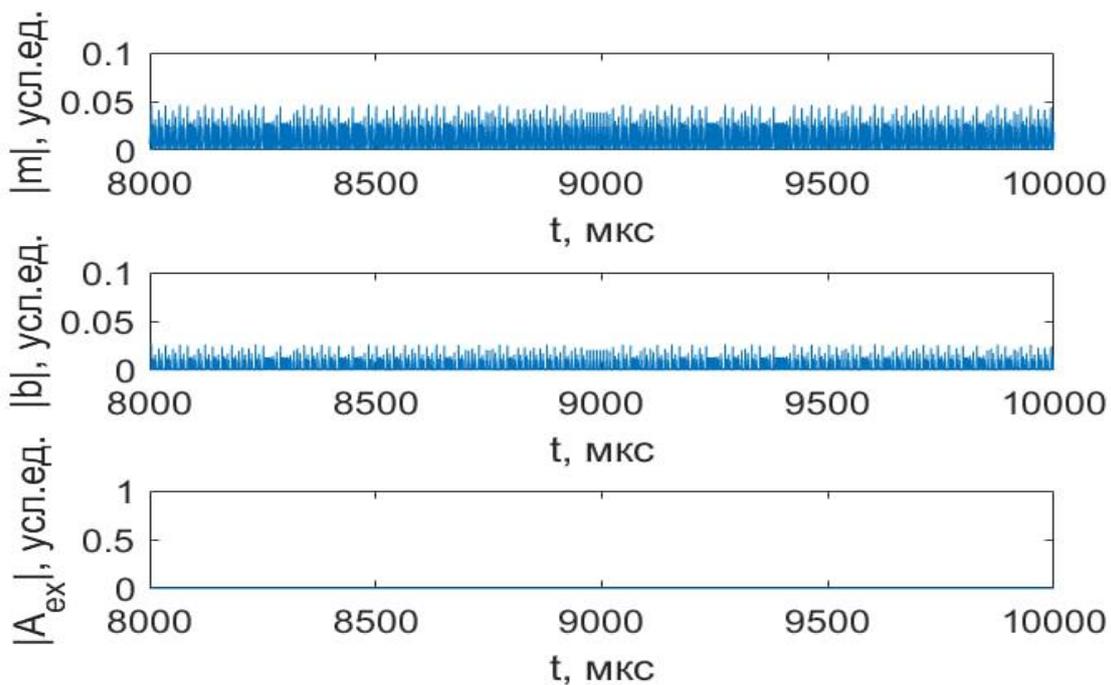


Рис.6 Зависимости амплитуды колебательного процесса накачки (сверху); амплитуды параметрически возбуждаемых процессов (посередине); амплитуды шума от времени (снизу) при ширине полосы шума $W=10$ МГц и амплитуде шума $A_{ex}=0$

На рисунке 6 представлен график зависимости амплитуды генерируемого сигнала на основной моде, параметрически возбуждаемых модах и внешнего шумового сигнала при ширине полосы спектра шума $W=10$ МГц и некоторых значениях амплитуды шума. Видно что при увеличении амплитуды качественно повторяются все процессы как и для ширины полосы 1МГц.

В Заключение приведены основные результаты, полученные в выпускной квалификационной работе.

Таким образом, на основании вышесказанного, можно сделать вывод, что явление когерентного резонанса наблюдаемое в возбудимых шумом модельных системах и проявляющееся в существовании у шумового сигнала оптимальный уровня, при котором индуцированный шум колебаний динамической системы становились более когерентными также характерно и для хаотических автоколебательных систем с внешним шумовым воздействием.

Выяснили, что исследование явления когерентного резонанса при воздействии шумового сигнала на параметрическую систему с взаимодействием трех мод, определяет существование у шумового сигнала оптимальный уровень, при котором колебания становятся более когерентными. В этом случае, очевидно, что при умеренной интенсивности шума, последовательность импульсов демонстрирует большую регулярность по сравнению с автономным случаем.

Показали, что для зависимости времени автокорреляции от интенсивности шума существует максимум при ширине полосы шума 1 МГц и амплитуде шума ~ 4.8 , соответственно можно говорить что в такой системе наблюдается существование у шумового сигнала оптимальный уровень, при котором собственная динамика хаотической динамической системы становились более когерентной. И показали зависимость времени автокорреляции от интенсивности шумового сигнала для 3 значений ширин спектра шума.

В заключении можно сказать, что цели и задачи, поставленные в этой работе, были успешно достигнуты и отражены в ее результате.

Список использованной литературы

1. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Стрелкова Г.И.. Синхронизация регулярных, хаотических и стохастических колебаний. Москва-Ижевск: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика»; 2008. 144 с.
2. Овчинников А.А., Москаленко О.И., Короновский А.А., Храмов А.Е.. Экспериментальное исследование обобщенной синхронизации хаотических колебаний в присутствии шума. Технологии. Физика. Lett. 2010;36(2):148–150. DOI: 10.1134/S1063785010020161.
3. Пиковский, А. С., & Куртс, Дж. (1997). Когерентный резонанс в возбуждаемой системе, управляемой шумом. *Physical Review Letters*, 78(5), 775-778. doi: 10.1103/physrevlett.78.775
4. Lindner, B., & Schimansky-Geier, L. (1999). Аналитический подход к стохастической системе Фитцхью-Нагумо и когерентному резонансу. *Physical Review E*, 60(6), 7270-7276. doi: 10.1103/physreve.60.7270
5. . Zakharova A., Vadivasova T., Anishchenko V., Koseska A., Kurths J. Stochastic bifurcations and coherencelike resonance in a self-sustained bistable noisy oscillator // *Phys. Rev. E*. 2010. Vol. 81. 011106.
6. Hu G., Ditzinger T., Ning C. Z., Haken H. Stochastic resonance without external periodic force// *Phys. Rev. Lett.* 1993. Vol. 71. P. 807–810.
7. . Tsyppkin A. N., Putilin S. É., Mel'nik M. V., Kozlov S. A., and Klykov S. S. The transmission of 45 bits of information by a pair of interfering femtosecond pulses with superwide spectra. *Journal of Optical Technology*. 2013. Vol. 80, Issue 7. PP. 466-469.

