

- [3] Topical Meeting on Photorefractive Materials, Effects and Divices. Technical Digest, 1987, v. 17 (OSA, Washington, D.C., 1987).
- [4] Белиничер В.И., Стурман Б.И. - УФН, 1980, т. 130, с. 415-441.
- [5] Галстян Т.В., Зельдович Б.Я., Немкова Е.А., Сухов А.В. - ЖЭТФ, 1987, т. 93, с. 1037-1949.
- [6] Сидорович В.Г. - ЖТФ, 1976, т. 46, с. 1306-1312.
- [7] Мамаев А.В., Оразов К., Филипецкий Н.Ф., Шкунов В.В. - Квантовая электроника, 1987, т. 14, с. 413-415.

Институт проблем механики
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
19 ноября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 9

12 мая 1988 г.

САМОСЖАТИЕ И АВТОМОДУЛЯЦИОННАЯ
НЕУСТОЙЧИВОСТЬ СЛУЧАЙНОМОДУЛИРОВАННЫХ
МНОГОСОЛИТОННЫХ ИМПУЛЬСОВ
В ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ

В.А. Выслоух, Н.А. Сухотскова

Предметом настоящего письма являются результаты численного анализа динамики N -солитонных импульсов в волоконных световодах (ВС) при наличии малых стохастических возмущений амплитуды и фазы, в ходе которого выявлена возможность распада исходного импульса вследствие автомодуляционной неустойчивости (АМН) на последовательность импульсов на расстоянии, меньшем оптимальной длины самосжатия.

Актуальность данного исследования обусловлена следующими обстоятельствами. Самосжатие многосолитонных импульсов в оптическом волокне в области аномальной дисперсии рассматривается как один из перспективных путей получения сверхкоротких импульсов с большой пиковой мощностью. Экспериментально реализовано 27-ми кратное сжатие 13-ти солитонного импульса длительности 7 пс [1], а также 100-кратное сжатие 30-ти пикосекундного импульса [2]. С другой стороны, известно, что квазимонохроматическая волна в ВС неустойчива по отношению к малым возмущениям и распадается на последовательность импульсов [3]. И если для импульсов фемтосекундного диапазона длительностей основным механизмом, ограничивающим предельную степень сжатия, является ВКР [4], то для импульсов с длительностью в несколько десятков пикосекунд с ростом N можно ожидать возрастания роли АМН импульса по отношению к возмущениям, вызываемым шумами в реальных источниках.

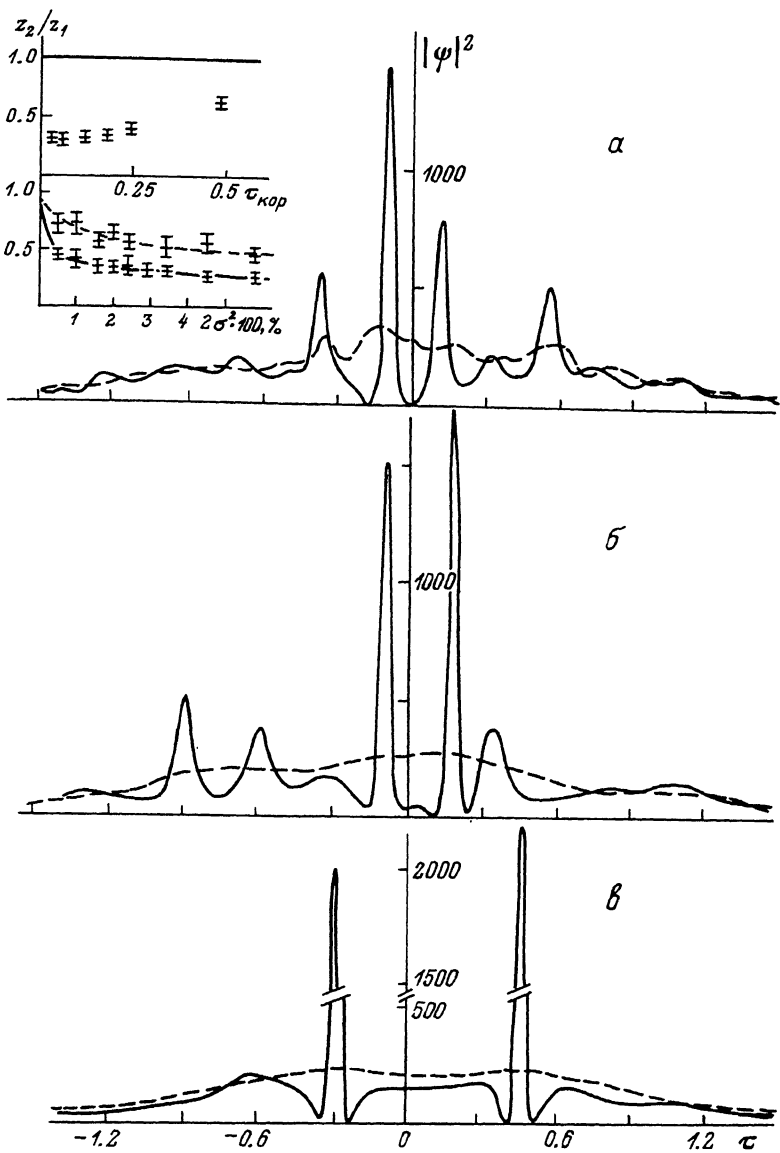


Рис. 1. Временные профили интенсивности импульса на входе в ВС (штриховая линия) и последовательности импульсов, сформировавшейся в результате распада (сплошная линия): а - $\tau_{кор} = 0.06$, $\sigma = 0.1$, $z_2 = 0.29 \cdot z_1$; б - $\tau_{кор} = 0.24$, $\sigma = 0.08$, $z_2 = 0.59 \cdot z_1$; в - $\tau_{кор} = 0.48$, $\sigma = 0.09$, $z_2 = 0.71 \cdot z_1$; на вставке - зависимость «длины фокусировки» z_2 импульсной последовательности от $\tau_{кор}$ ($\sigma = 0.1$) и зависимости z_2 от уровня шумов σ при $\tau_{кор} = 0.18$ (сплошная линия) и $\tau_{кор} = 0.48$ (пунктирная) (указаны стандартные отклонения).

В качестве источников в экспериментах по самосжатию [2] и солитонному режиму распространения оптических импульсов в ВС [5] применяются параметрические генераторы пикосекундных импульсов, их стабильность недостаточно высока; в этой связи при построении математической модели процесса представляется интересным учесть влияние шумов.

Исследование конкуренции АМН и самосжатия в процессе эволюции N -солитонных импульсов в ВС проводилось на основе уравнения для комплексной амплитуды временной огибающей $\psi(z, t - z/v_{gr})$:

$$i \frac{\partial \psi}{\partial z} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \tau^2} + |\psi|^2 \psi \quad (1)$$

с начальными условиями в виде

$$\psi(0, \tau) = N \cdot \operatorname{sech}(\tau) \cdot [1 + f(\tau)].$$

Здесь $f(\tau)$ характеризует тип возмущения. Остальные обозначения совпадают с теми, что введены в [6].

В результате численного решения уравнения (1) выяснилось, что малые гармонические возмущения вида

$$f(\tau) = A_M \cdot \cos(\Omega_M \tau) \quad (A_M \ll 1) \quad (2)$$

в определенном диапазоне частот Ω_M приводят к распаду N -солитонного импульса на последовательность импульсов на расстоянии z_2 , меньшем оптимальной длины самосжатия z_1 . Область неустойчивости импульса близка к области неустойчивости монохроматической волны

$$\psi_0 = N \exp(iN^2 z) \quad (3)$$

(N - максимум амплитуды невозмущенного импульса на входе в ВС). Определим как критическую амплитуду $A_M = A_{кр}$, при которой возмущение (2) на частоте $\Omega_M = \Omega_0(N) = N\sqrt{2}$, соответствующей максимальному инкременту для волны (3), вызывает 10-15% уменьшение пиковой интенсивности сжатого импульса по сравнению с невозмущенным случаем. Оказалось, что $A_{кр}$ экспоненциально спадает с ростом N от $2.5 \cdot 10^{-3}$ при $N = 8$ до 10^{-8} при $N = 28$. Даже такая упрощенная модель шума вскрывает возможность распада многосолитонного импульса.

Уравнение (1) решалось также численно в случае стохастических амплитудно-фазовых возмущений N -солитонного импульса ($N = 16$) на входе в ВС:

$$f(\tau) = \tilde{\sigma} \xi(\tau).$$

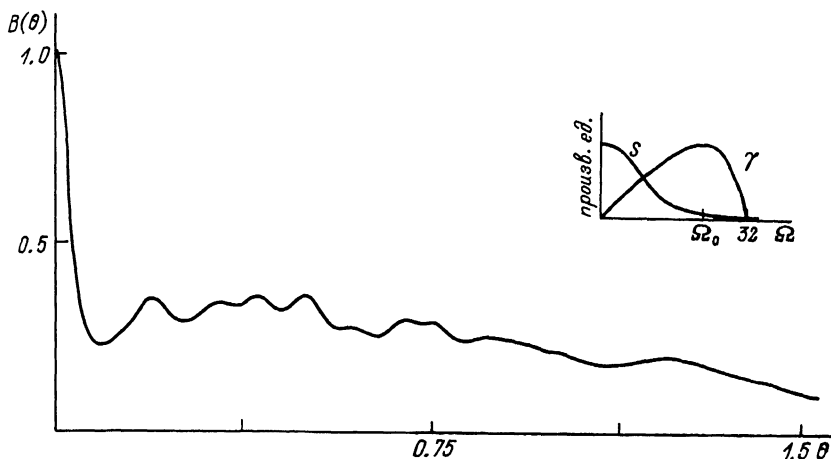


Рис. 2. Нормированная автокорреляционная функция интенсивности $B(\theta)$ ($N = 16$, $M = 6$, $\tau_{кор} = 0.18$, $\sigma = 0.1$); на вставке — качественный вид спектральной плотности шума S ($\tau_{кор} = 0.18$) и инкремента неустойчивости $\gamma(\Omega)$ монохроматической волны (3) ($N = 16$).

Здесь $\xi(\tau) = \xi_R + i\xi_I$ — случайный процесс, квадратурные компоненты которого распределены по нормальному закону с нулевым средним значением и единичной дисперсией; автокорреляционная функция предполагалась гауссовской ($\tau_{кор}$ — время корреляции); параметр σ характеризует уровень шума. Приведем основные результаты.

Во всем диапазоне изменения параметров ($\tau_{кор} = 0.03-0.48$; $\sigma = 0.05-0.17$, что соответствует примерно 0.5–6% уровню шума) динамика случайно-модулированного импульса существенно отличалась от динамики N -солитонного импульса в отсутствие шумов; в большинстве случаев наблюдался распад исходного импульса на импульсную последовательность.

При увеличении времени корреляции от 0.03 до 0.48 ($\sigma = 0.1$) частота следования импульсов в пути снижается; при $\tau_{кор} = 0.48$ иногда образуется один узкий импульс с искаженными крыльями, но при этом „длина фокусировки“ z_2 намного меньше „длины фокусировки“ $z_1 \approx 0.0386$ детерминированного 16-ти солитонного импульса. На рис. 1, а, б, в приведены типичные временные профили интенсивности импульсов на входе в ВС и импульсных последовательностей, сформировавшихся в результате распада. На вставке к рис. 1 представлены зависимости z_2 от $\tau_{кор}$ при фиксированном уровне шума и $z_2(\sigma)$ при заданных $\tau_{кор}$.

В реальных физических экспериментах длительности импульсов определяются с помощью автокорреляционной функции (АКФ) интенсивности, которая измеряется путем усреднения по временному интервалу, содержащему большое число импульсов. Рассмотрим следую-

щую модель: выберем длину волоконного световода равной оптимальной длине самосжатия Z_1 ; на вход в ВС подаем последовательность из M случайномодулированных N -солитонных импульсов; на выходе регистрируем АКФ интенсивности $B(\theta)$. Рассчитанная для этой модели АКФ представлена на рис. 2. С одной стороны, в связи со случайным характером интервалов между субимпульсами в каждом цуге усреднение по времени приводит к однородности пьедестала. С другой, наблюдаемая контрастность (~ 3) выше, чем для гауссовского случайного процесса. Выбор системой случайных частот определяется интегралом перекрытия спектральной плотности шумов и инкремента, характеризующего АМН (вставка к рис. 2); видимо, это и придает процессу частичную регулярность. В [1] наличие высокого аморфного пьедестала авторы связывают с флуктуациями параметров импульсов, приводящими к неточной „фокусировке“.

Исследовалась возможность априорной частотной фильтрации импульса на входе в ВС. Наложение фильтра с прямоугольной функцией пропускания $K(\Omega) = 1$ при $|\Omega| < \Omega'$, где значение $\Omega' \approx 6.1$ выбиралось предельно малым, но не вызывающим искажений при самосжатии детерминированного импульса, приводило к формированию одного узкого импульса с деформированными крыльями на расстоянии, отличном от Z_1 ; при этом степень сжатия в сечении была существенно меньше $4N$.

Таким образом, в ходе проведенного исследования выявлено, что случайная амплитудно-фазовая модуляция многосолитонного импульсов ($N \geq 8$) на входе в ВС приводит к их распаду вследствие АМН, которая является основным физическим механизмом, ограничивающим предельную степень сжатия импульсов с начальной длительностью в десятки пикосекунд.

Л и т е р а т у р а

- [1] Mollenauer L.F., Stolen R.H., Gordon J.P., Tomlinson W.T. - Opt. Lett., 1983, v. 8, N 5, p. 289-291.
- [2] Дианов Е.М., Карасик А.Я., Мамышев П.В., Онищук Г.И., Прохоров А.М., Стельмах М.Ф., Фомичев А.А. - Письма в ЖЭТФ, 1984, т. 40, в. 4, с. 148-150.
- [3] Tai K., Tomita A., Tewel T.L., Nasegawa A. - Appl. Phys. Lett., 1986, v. 49, N 5, p. 236-238.
- [4] Дианов Е.М., Никонова З.С., Прохоров А.М., Серкин В.Н. - Письма в ЖТФ, т. 11, в. 17, с. 1030-1034.
- [5] Петрунькин В.Ю., Селишев А.В., Сысоев В.М., Щербаков А.С. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 16, с. 988-991.

[6] А х м а н о в С.А., В ы с л о у х В.А., Ч и р к и н А.С. —
УФН, 1986, т. 149, в. 3, с. 449-509.

Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
5 ноября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 9

12 мая 1988 г.

СИНТЕЗ ФОКУСАТОРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ОТ ЭВМ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ МОДУЛЯТОРОВ СВЕТА

А.А. В а с и л ь е в, М.А. В о р о н ц о в,
А.Ф. Н а у м о в

Для формирования когерентных световых полей с заданным распределением интенсивности в области фокусировки в настоящее время используют элементы плоской оптики (фокусаторы излучения) [1]. Технология изготовления таких элементов включает несколько этапов: расчет на ЭВМ требуемого профиля фазы, вывод информации на фотоматериал в виде некоторого амплитудного транспаранта, получение фазового рельефа. Разработка управляемых в реальном времени фокусаторов излучения представляется важным направлением в развитии современной лазерной технологии.

В настоящей работе рассматривается возможность синтеза перестраиваемых фокусаторов излучения. Для создания светового пучка с равномерным распределением интенсивности в области фокусировки использовался жидкокристаллический пространственно-временной модулятор света (ПВМС) с оптическим управлением, состыкованный с микро-ЭВМ. Рассчитанная на ЭВМ фазовая поверхность фокусатора визуализировалась на экране телевизионной трубки в виде модуляции яркости. Изображение с экрана телевизионной трубки подсвечивало фоточувствительный слой ПВМС. Световая волна, отраженная от такого транспаранта, приобретала требуемую фазовую модуляцию.

Схема установки показана на рис. 1. В экспериментах использовался жидкокристаллический ПВМС с фотопроводником из *GaAs*, работающий на электрооптическом *S*-эффекте [2]. Транспарант и электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) соединялись посредством стекловолоконных шайб и эмерсионной жидкости (глицерина). Электронно-лучевая трубка являлась полутоновым графическим монитором микроЭВМ „Электроника-60“. Устройство вывода информации из ЭВМ позволяло формировать изображение с числом элементов 256 x 256 при 64 уровнях градации яркости [3]. При максимальном уровне яркости на экране ЭЛТ глубина модуляции фазы отраженного от ПВМС светового пучка достигала 2π рад. Источником