

МАТЕРИАЛЫ СЕМИНАРА

6й Российской
семинар
по волоконным
лазерам

НОВОСИБИРСК,
АКАДЕМГОРОДОК

2014

Russian Fiber Lasers

Критическая мощность излучения при усилении фемтосекундных импульсов в полностью волоконной системе

С.В. Кукарин, С.В. Смирнов, С.М. Кобцев*, С.К. Турицын

Новосибирский государственный университет

* E-mail: kobtsev@lab.nsu.ru

Для получения мощных ультракоротких импульсов излучения в лазерных системах традиционно используется схема усиления импульсов с их предварительным времененным растягиванием (для уменьшения пиковой мощности излучения и минимизации нелинейных эффектов при усилении) перед усилителем и временной компрессией после усилителя. В волоконных лазерных системах временную компрессию часто осуществляют с помощью дискретных элементов (призм, дифракционных решёток), в то время как остальная часть системы может быть полностью волоконной. В данной работе мы исследовали возможности и ограничения временной компрессии усиленных и растянутых по времени импульсов в волокне с аномальной дисперсией.

Необходимо отметить, что создание полностью волоконной схемы для генерации мощных ультракоротких импульсов представляет собой нетривиальную задачу, что связано с большой суммарной нелинейностью волоконных систем, обусловленной большой длиной взаимодействия излучения с веществом, относительно большой дисперсией среды и высоким уровнем пиковой мощности генерируемых импульсов.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. В качестве задающего генератора использовался эрбийевый волоконный лазер с пассивной синхронизацией мод на основе полупроводникового насыщающегося поглотителя. Лазер генерировал последовательность импульсов с периодом 63 нс (а также 32 нс и 21 нс в случае гармонической синхронизации мод) на длине волны 1560 нм при средней мощности выходного излучения 5 мВт. Спектр лазерных импульсов имел характерную П-образную форму, ширина спектра составляла 12 нм (соответствует спектрально-ограниченному импульсу с огибающей sech^2 длительностью ~ 210 фс). Автокорреляционная функция (АКФ) импульсов имела ширину на полувысоте 5 пс, что соответствует длительности на полувысоте импульсов с огибающей sech^2 3.2 пс и свидетельствует о значительной частотной модуляции лазерных импульсов. Далее выходные импульсы задающего генератора растягивались во времени в волокне длиной 112 м с нормальной дисперсией $D = 6.4$ пс/нм/км и диаметром сердцевины 8 мкм. Растянутые импульсы, длительность которых была приблизительно в два раза больше длительности импульсов на выходе из задающего генератора, усиливались вплоть до уровня средней мощности излучения 1 Вт, после чего пропускались через компрессирующую волокно с аномальной дисперсией и диаметром сердцевины 25 мкм.

При относительно низких уровнях выходной мощности на выходе из волоконно-оптического компрессора регистрировалась последовательность приблизительно спектрально ограниченных импульсов с длительностью 250 фс, имеющих гладкую колоколообразную АКФ. При повышении уровня мощности импульсов до 150 мВт при частоте повторения 47.6 МГц в центре АКФ импульсов появлялся характерный пик [1,2], свидетельствующий о наличии

стохастического заполнения (суб-импульсов) вследствие распада лазерного импульса под действием модуляционной неустойчивости в оптическом компрессоре. Сделанные выводы подтверждаются результатами численного моделирования распространения лазерных импульсов (диссипативных солитонов) в компрессирующем оптическом волокне с аномальной дисперсией.

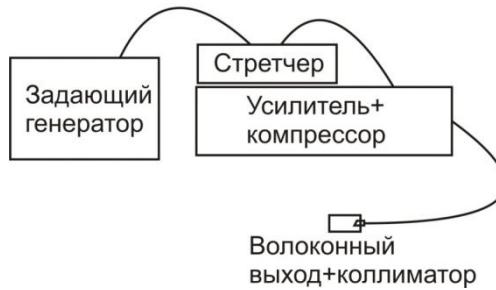


Рис. 1. Схема полностью волоконной лазерной системы.

Кроме того, в работе была получена аналитическая оценка для порядка величины предельной мощности диссипативных солитонов с огибающей sech^2 и П-образным спектром, которые могут быть сжаты в волокне с аномальной дисперсией до предела Фурье:

$$P_{\text{avg}} \leq \frac{53 \cdot c\nu \beta_2 \Delta\lambda}{\lambda^2 \gamma \ln \frac{2c\tau\Delta\lambda}{\lambda^2}} \quad (1)$$

где c – скорость света в вакууме, ν – частота следования импульсов, β_2 и γ – дисперсионный и нелинейный коэффициенты компрессирующего волокна, λ и $\Delta\lambda$ – средняя длина волны и ширина спектра сжимаемых импульсов, τ – ширина на полувысоте АКФ сжимаемых импульсов с огибающей sech^2 . Численные коэффициенты в выражении (1) приведены для диссипативных солитонов с П-образным спектром и огибающей sech^2 , генерируемых в лазерах с нормальной дисперсией. Аналитическая оценка получена в приближении фиксированного значения критического набега нелинейной фазы в компрессирующем волокне $\delta\varphi_{\text{max}}^{NL} \sim 10$, точность данного приближения проверялась в численном счёте и составляет порядка 1/4 порядка величины. Для использованных в работе параметров оценка (1) даёт значение критической средней мощности 120 мВт, что хорошо согласуется с экспериментом и результатами численного моделирования. Выше этой критической средней мощности излучения энергия импульса преобразуется в широкий пьедестал, не увеличивая энергию сжатой части импульса.

Авторы благодарны за государственную поддержку ведущих научных школ и молодых учёных РФ (гранты Президента НШ-4447.2014.2, МК-4683.2013.2), поддержку со стороны Минобрнауки РФ (соглашение 14.B25.31.0003; базовое финансирование), а также за поддержку в рамках программы Marie Curie FP7 (проект IRSES).

Литература

- [1] S.V. Smirnov, S.M. Koltsev, et al. Mode-Locked Fibre Lasers with High-Energy Pulses. In book "Laser Systems for Applications", pp. 39-58, ISBN 978-953-307-429-0, InTech, 2011, 308 pages.
- [2] S. Koltsev, S. Kukarin, et al, "Generation of double-scale femto/pico-second optical lumps in mode-locked fiber lasers," *Optics Express*, **17**, 20707-20713 (2009).