

Зависимость порога модовой нестабильности волоконного иттербиевого усилителя от длины волны встречного лазерного излучения

Д.А. Алексеев^{1,2}, В.А. Тыртышный¹, М.С. Кузнецов³, О.Л. Антипов^{3,4}

¹НТО «ИРЭ-Полус»

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

³Институт прикладной физики РАН

⁴Нижегородский государственный университет

Интерес к модовой нестабильности (МН) обусловлен тем, что этот эффект ограничивает выходную мощность волоконных усилителей. При усилении излучения до некоторого порогового значения мощности происходит перекачка энергии из основной моды LP_{01} в высшую моду LP_{11} [1]. Возникновение эффекта связывается с тем, что основная мода интерферирует с небольшой долей моды LP_{11} в сердцевине активного волокна. Это приводит к образованию решётки показателя преломления вдоль волокна [2]. Рассеиваясь на этой решётке, мода LP_{01} перекачивается в моду LP_{11} .

Одним из факторов, влияющих на порог МН в волоконном усилителе, являются обратные отражения. Доля усиленного сигнала, отразившись от элементов оптической схемы, распространяется в обратном направлении по активному волокну. В [3] показано, что с увеличением мощности обратных отражений порог МН сильно снижается. Кроме того, в [4] было обнаружено, что встречное к основному сигналу излучение вынужденного рассеяния Мандельштама – Бриллюэна (ВРМБ) способно провоцировать появление МН. Мы предположили, что встречный сигнал даже со смещённой длиной волны относительно основного сигнала, может снижать порог МН.

Мы исследовали влияние длины волны встречного излучения от независимого лазерного источника на порог МН. В качестве входного сигнала в усилитель использовалось непрерывное линейно-поляризованное излучение задающего лазера с длиной волны 1064 нм и мощностью 43 мВт. Оно усиливалось в активном иттербиевом волокне, поддерживающем состояние поляризации излучения (PANDA), с диаметром сердцевины 10 мкм (рис. 1а) Непрерывное линейно-поляризованное одночастотное излучение DFB лазера подавалось с выхода усилителя. Ввод встречного сигнала осуществлялся посредством ответвителя, использование которого позволяло измерять выходную мощность усилителя и мощность встречного сигнала. Изоляторы защищали задающий и DFB лазеры от усиленных сигналов.

Длина волны DFB лазера перестраивалась более чем на 2 нм. При совпадении поляризаций и длин волн входного и встречного сигналов зависимость порога МН от мощности последнего оказывается такой же, как и в случае обратных отражений (рис. 1б). Отличие в зависимостях при малых мощностях встречных сигналов обусловлено неустранимыми обратными отражениями от элементов оптической схемы. При наличии расстройки по длине волны между входным и встречным сигналами влияние последнего на порог МН уменьшается. При отличии длин волн более 1 нм порог соответствует значениям, наблюдающимся в отсутствие встречного сигнала (рис. 2а).

Зависимость порога МН от длины волны встречного сигнала также была измерена для случая одночастотного входного сигнала (рис. 2б). При нулевой расстройке наблюдается локальный максимум порога. На расстоянии от него около 0,2 нм расположены два минимума. При разнице длин волн более 0,6 нм порог также выходит на уровень, соответствующий отсутствию встречного сигнала. Результат численного моделирования качественно согласуется с экспериментом (рис. 2б). По нашей модели, представленной в [3], встречный сигнал, усиливаясь в активном волокне, изменяет глубину решётки показателя преломления, созданной основным сигналом. Это приводит к изменению порога МН.

Был проведён эксперимент, когда входной и встречный сигналы имели ортогональные линейные поляризации в активном волокне. При этом влияния встречного сигнала на порог МН не наблюдалось. Этот результат согласуется с нашей и другими моделями МН, основанными на интерференции основной и высшей мод.

Таким образом, в волоконном усилителе важно контролировать наличие отражений от выходных элементов, которые снижают порог МН. Кроме того, уменьшить порог МН может встречный сигнал с длиной волны близкой к длине волны основного, например ВРМБ.

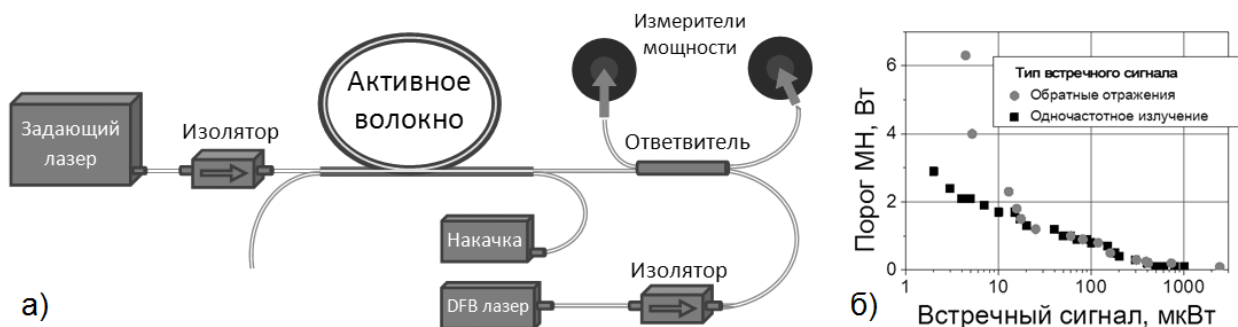


Рис. 1. а) Оптическая схема установки б) Сравнение влияния двух типов встречного сигнала на порог МН. Ширина спектра входного сигнала $\Delta\lambda = 0,14$ нм.

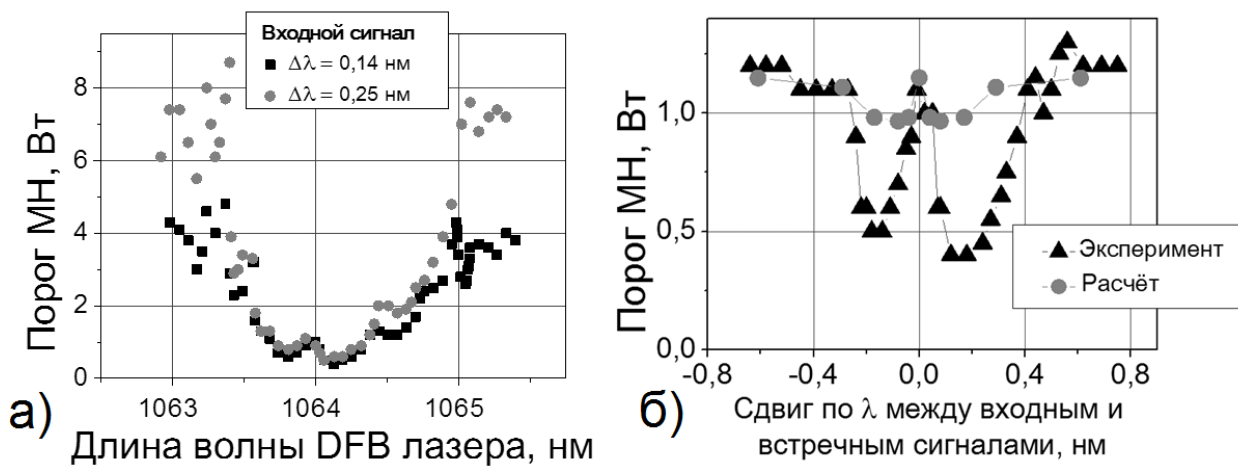


Рис. 2. Порог МН от а) длины волны λ встречного сигнала б) расстройки по λ между одночастотными входным и встречным сигналами. Мощность встречного сигнала 50 мкВт.

Литература

1. *Eidam T.* [et al.] Experimental observations of the threshold-like onset of mode instabilities in high power fiber amplifiers // *Optics express*. 2011. V. 19, N 4. P. 13218-13224.
2. *Smith A. V., Smith J. J.* Mode instability in high power fiber amplifiers // *Optics express*. 2011. V. 19, N 11. P. 10180-10192.
3. *Antipov O.L., Kuznetsov M.S., Alekseev D.A., Tyrtyshtnyy V.A.* Influence of a backward reflection on low-threshold mode instability in Yb³⁺-doped few-mode fiber amplifiers // *Optics express*. 2016. V. 24. N 13. P. 14871-14879.
4. *Lee K.* [et al.] Transverse mode instability induced by stimulated Brillouin scattering in a pulsed single-frequency large-core fiber amplifier // *Applied optics*. 2015. V. 54. N 2. P. 189-194.