

Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)
14.584.21.0014

Название проекта

Разработка методов регистрации и исследование динамических нелинейных режимов распространения света в длинных распределенных волоконных системах

Тематическое направление

Информационно-телекоммуникационные системы

Исполнитель

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Новосибирский национальный исследовательский государственный университет"

Цели и задачи исследования

Целью проекта является разработка экспериментальных методов характеристики временной и спектральной эволюции в динамических режимах генерации и распространения света в длинных волоконных системах. Такие методы характеристики, вкуче со созданным программным комплексом моделирования временной и спектральной динамики в длинных волоконных системах позволят экспериментально и теоретически обнаружить такие режимы и выявить особенности распространения и генерации в них. Понимание физических основ возникновения нелинейных динамических временных и спектральных режимов в различных длинных волоконных системах, в том числе в распределенных волоконных лазерах со случайной распределенной обратной связью и распределенных сенсорных системах, важно для практических применений в линиях передачи данных и линиях распределенного мониторинга распределенных объектов в нефтегазовой, строительной, железнодорожной отраслях.

Основной задачей проекта является разработка методов характеристики нелинейных режимов генерации и распространения света в длинных распределенных волоконных системах и исследование таких режимов для последующего их практического применения.

Актуальность и новизна исследования

Объем передачи данных по современным телекоммуникационным линиями связи неизменно растет, что связано в первую очередь с ростом предложения он-лайн стриминговых видео-, музыкальных сервисов, бурным развитием рынка мобильных приложений и цифровых услуг в каждом сегменте бизнеса. Удовлетворение растущего спроса достигается, в частности, за счет увеличения пропускной способности волоконно-оптических линий связи с помощью целого набора технологий. Текущая пропускная способность подходит к пределу, когда существенную роль начинает играть нелинейная динамика распространения сигнала по длинным волоконным системам. Это, с одной стороны, может приводить к нелинейным искажениям, что может ограничивать объем передаваемых данных, с другой стороны появляются потенциальные

возможности по управлению нелинейной динамикой, что может расширить возможности современных линий связи и увеличить их пропускную способность.

Вопросы управления нелинейной динамикой распространения излучения в длинных волоконных системах в первую очередь связаны с наличием адекватных методов характеристики такой нелинейной динамики. При распространении по длинным волоконным системам в нелинейных режимах может изменяться медленным эволюционным образом не только временная динамика, но и оптический спектр излучения (вдоль физической координаты вдоль волокна). Современные анализаторы оптического спектра не имеют ни достаточного разрешения по частоте, ни достаточного быстродействия для характеристики нелинейных режимов распространения. Таким образом требуется разработка и методов характеристики спектральной динамики в нелинейных режимах.

Описание исследования

Во-первых, в рамках проекта развиваются экспериментальные методы, позволяющие проводить регистрацию не только временной динамики излучения, но и изменения интенсивности вдоль медленной эволюционной координаты (физической координаты вдоль волокна) одновременно. Такая эволюционная карта излучения, в которой масштаб по быстрой временной и медленной эволюционной координатам отличается на 5-7 порядков величины, позволяет выявлять внутренние закономерности в нелинейных режимах генерации при распространения вдоль длинных волоконных систем. Для этого использованы методы кросс-корреляционного анализа в экстремально длинных временных динамиках излучения, регистрируемых в режиме реального времени, и последующего разложения экспериментальных динамик на сегменты, соответствующие различным периодам долговременных корреляций. Далее, разрабатываются методы характеристики эволюции спектра в таких режимах. Для этого используются различные методы перевода оптического спектра во временную динамику, в частности методы сканирующих интерферометров, методы гетеродинамирования, и последующее измерение эволюционных карт такой временной динамики и извлечения из нее спектральной информации. Спектральная эволюционная карта совместно с временной эволюционной картой позволяют определить физические механизмы возникновения таких режимов и возможности управления ими.

Задача экспериментального обнаружения динамических нелинейных временных и спектральных режимов в длинных распределенных волоконных системах решаются с помощью создания макетов волоконных распределенных лазеров с различными параметрами и допускающих работу в различных нелинейных динамических режимах. Излучение таких лазеров характеризуется с помощью разработанных методов, получают их временные и спектральные эволюционные карты излучения.

Другим важным направлением работ в рамках данного проекта является разработка программного комплекса по численному моделированию нелинейных спектральных и временных режимов генерации и распространения света в длинных волоконных системах и построению эволюционных карт временной и спектральной динамики. Возможность изменения параметров системы (нелинейный и дисперсионный коэффициенты, длина, мощность,

наличие/отсутствие распределенного усиления, наличие/отсутствия случайной распределенной обратной связи, наличие/отсутствие вводимого фазового беспорядка) позволяет последовательно выяснить физические механизмы возникновения того или иного нелинейного режима. Кроме того, с помощью программного комплекса возможны оптимизация нелинейных режимов генерации и распространения, а также определения параметров систем для получения заданных режимов с желаемыми свойствами и последующая экспериментальная реализация таких систем.

Задачи, решаемые иностранным партнером в рамках проекта, связаны в первую очередь с практическим использованием различных распределенных волоконных систем и нелинейных режимов генерации и распространения в них в индустриальных применениях. Работы иностранного партнера будут сфокусированы на исследовании различных типов распределенных сенсорных систем на основе распределенных волоконных лазеров, работающих в различных нелинейных режимах, и экспериментального определения принципов применения. В рамках проекта им будут разработаны прототипы распределенных сенсорных систем длиной более 100 км.

Результаты исследования

Разработаны методы спектральной и временной характеристики динамических нелинейных режимов генерации и распространения света в длинных волоконных системах, использующие метод оптического гетеродинамирования и сканирующей интерферометрии

Экспериментально обнаружены нелинейные динамические режимы в генерации солитонных волоконных лазеров, а именно динамическое изменение спектра излучения на масштабах времени порядка 100-300 времен обхода резонатора.

Экспериментально обнаружены локализованные спектральные состояния в длинном волоконном лазере с распределенной обратной связью за счет беспорядка показателя преломления; величина обратной связи за счет беспорядка показателя преломления на уровне 0.1%, ширина спектральных состояний – менее 0.05 нм.

Экспериментально обнаружены локализованные состояния в циклических волоконных системах с фазовым беспорядком; варьирование величины фазового беспорядка в пределах от 0 до 2π .

Разработан программный комплекс математического моделирования пространственно-временной и спектральной нелинейной динамики в длинных волоконных системах, в том числе с учетом вводимого/случайного беспорядка

Практическая значимость исследования

Методы характеристики временной и спектральной нелинейной динамики в длинных волоконных системах, соответствующее устройство характеристики и программный комплекс моделирования такой динамики в длинных волоконных

системах и построения эволюционных карт временной и спектральной динамики могут быть востребованы в телекоммуникационными и приборостроительными компаниями, разработчиками и производителями волоконных лазеров, волоконных сенсорных систем, систем передачи данных.

Распределенные волоконные сенсорные системы на основе волоконных распределенных лазеров, работающих в нелинейных динамических режимах, востребованы в нефтегазовой отрасли, железнодорожной отрасли, строительстве, пограничных и охранных службах.

Возможные потребители данных научных результатов – телекоммуникационные компании и компании рынка длинных распределенных сенсорных систем, как российские, так и зарубежные. Также среди потребителей следует отметить организации сектора научных исследований. По результатам проекта будет проведен цикл консультаций с представителями компаний о возможности внедрения разработанных технических решений в продукцию данных компаний.