

Полина Халилова,

к.т.н., доцент, начальник отдела разработки учебных планов и программ департамента технического обучения АПК «Безопасный город» Центра информационной безопасности и содействия в обеспечении общественного порядка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан

Богдан Шкляревский,

врио начальника департамента технического обучения АПК «Безопасный город» Центра информационной безопасности и содействия в обеспечении общественного порядка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан

Возможности использования солитонных волоконно-оптических систем передачи информации в системах охранной сигнализации

Особую актуальность и практическую значимость приобретает использование высокоскоростных солитонных волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) в системах охранной сигнализации. Применение солитонной технологии, имеющей преимущества в сравнении с обычными методами оптической передачи, является перспективным при построении ВОСП и последующем возможным использованием в системах охранной сигнализации.

В настоящее время проблемы солитонной технологии находятся в стадии теоретических и экспериментальных исследований, ведущихся во многих научных центрах мира и направленных на разработку высокоскоростных солитонных ВОСП. Возможность применения солитонов для передачи информации в ВОСП, а также создания на их базе высокоскоростных ВОСП теоретически обоснована и экспериментально подтверждена в работах А. Hasegawa, F. Tappert, L. F. Mollenauer, R. Stolen и других авторов. Методы формирования оптических солитонов и условия их существования разрабатывались G. P. Agrawal, B. A. Alekshевичем,

Ф. Х. Абдуллаевым, Т. Л. Беляевой, П. А. Мишнаевским и другими [1–6].

Приведем некоторые перспективы использования солитонной технологии при построении ВОСП [7]. В настоящее время можно выделить три основных направления построения солитонных ВОСП:

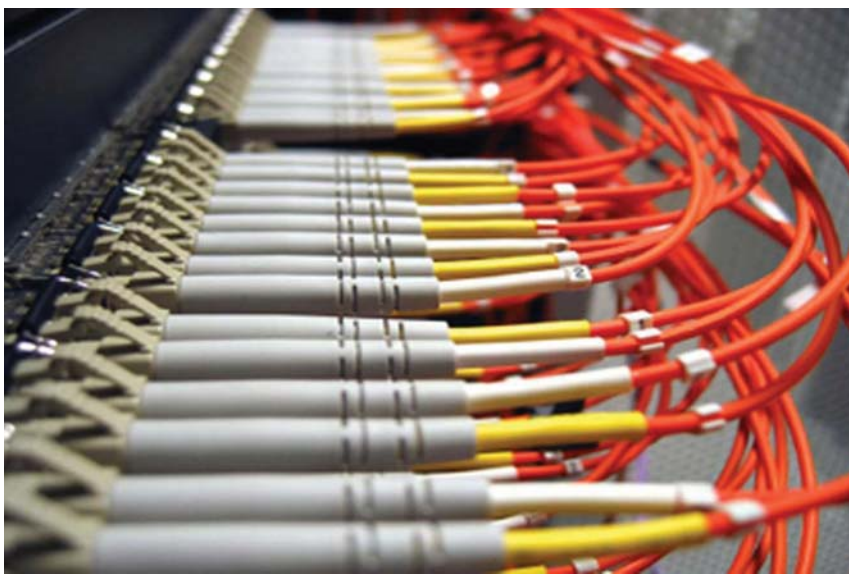
1. Применение одномодовых оптических волокон (ООВ) при очень жестких требованиях к их параметрам, т. е. коэффициент затухания и дисперсия должны быть ничтожно малы. Задача построения ВОСП при этом значительно упрощается, так как мощность солитонных лазеров невелика (порядка несколько милливатт), а в линейном

тракте не требуется установки волоконно-оптических усилителей (ВОУ). Но, несмотря на интенсивные разработки и исследования дальней инфракрасной области длин волн 2,0–10,6 мкм, где $\alpha = 10^{-4} - 10^{-2}$ дБ/км, подобных ООВ пока создать не удалось. Поэтому для реализации передачи солитонов на основе ООВ используется диапазон вблизи 1,55 мкм, где потери в кварцевых оптических волокнах (ОВ) наименьшие и составляют 0,2 дБ/км (также начато освоение близких к нему диапазонов: 1,31 мкм, 1,46 мкм, 1,535 мкм, 1,54 мкм, 1,564 мкм, 1,67 мкм). Исследуются

и другие механизмы компенсации затухания: рамановское усиление, распределенное по всей длине ООВ. Рамановское усиление можно реализовать, если одновременно с обоих или одного конца ООВ вместе с распространением оптического сигнала вводить оптическое излучение на длине волны, меньшей, чем длина волны передающего лазера, и отличающейся от нее на величину стоксовой компоненты. Уже имеются макеты солитонных ВОСП, в которых накачка производится при длине волны 1,48 мкм, а информационный оптический сигнал передается на длине волны минимальных потерь 1,55 мкм. Так как оптическое излучение накачки имеет затухание в ООВ существенно большее, чем для информационного оптического сигнала, эффективное использование рамановского усиления может быть только в ограниченной области длины ООВ, поэтому участок усиления для современных ООВ не превышает 42 км, и ВОСП должна состоять из многих идентичных участков.

2. Практически полная компенсация потерь в ООВ и в пассивных оптических элементах (электрооптических модуляторах, волоконно-оптических фильтрах, изоляторах и др.) осуществляется применением как распределенного рамановского усиления по всей длине ООВ, так и ОВ, легированных редкоземельными элементами (РЗЭ), например, эрбием. В этом случае предъявляются высокие требования к идентичности используемых участков усиления и возникает ряд других технологических осложнений, в частности, обработки — легирования ОВ РЗЭ.
3. Некоторое снижение требований к солитонному режиму, существенно облегчающее построение ВОСП. Например, может быть значительно уменьшено число лазеров накачки, но в этом случае на последнем участке усиления передаваемые оптические импульсы могут утратить форму солитонов.

Несмотря на большую популярность данного направления и продолжительный период его изучения, до сих пор существует ряд вопросов и нерешенных задач. Дальнейшее совершенствование солитонных систем заключается в переходе к использованию сверхкоротких импульсов,



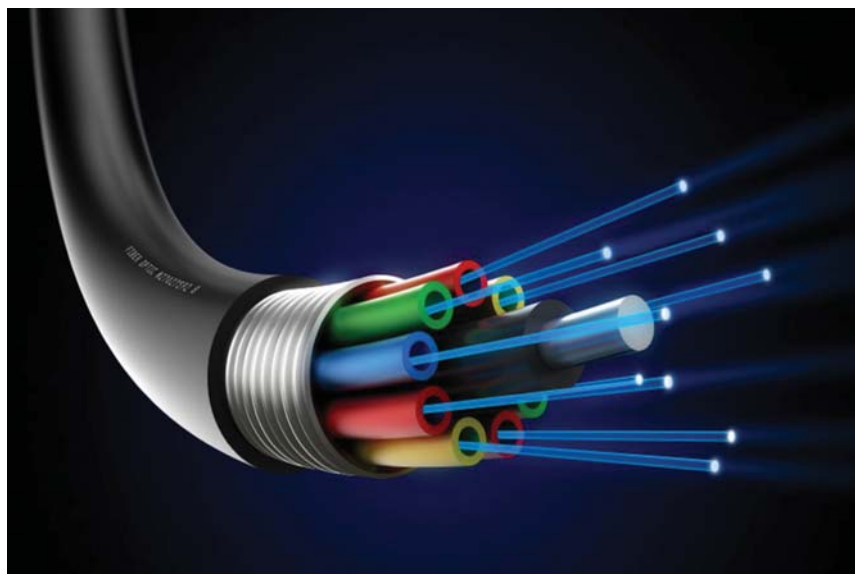
на распространение которых оказывают влияние нелинейные и дисперсионные эффекты высших порядков ОВ. Таким образом, повышение эффективности применения солитонной технологии в скоростных ВОСП непосредственно связано с изучением теоретических основ закономерностей процессов прохождения солитонов в оптических волокнах с учетом влияния легирующих примесей, дисперсионных и нелинейных эффектов (НЭ) [7].

Существование солитонов связано с явлениями дисперсии ОВ, или линейной дифракции и нелинейностью среды. ОВ представляет собой среду с кубической нелинейностью. Математически распространение оптического импульса с медленно меняющимися по амплитуде параметрами аппроксимации описывается нелинейным уравнением Шредингера (Nonlinear Schrödinger Equation — NLSE) для электрического поля. Многие явления в ВОСП — рассеяние, процессы Рамана, дисперсия высшего порядка, а также усиление — можно описать как слабые возмущения NLSE. Следовательно, проведение дальнейших исследований теории возмущений [1] для объяснения явлений, имеющих отношение к солитонам в ОВ, а также в устройствах на их основе, таких, как солитонные лазеры, является новым направлением в теории связи. Эффективное использование солитонов в ВОСП ограничивается многими факторами, в частности, шумами (ВОУ). В работе [2] было показано: частотная модуляция шума усиленной спонтанной эмиссии (Amplified Spontaneous Emission — ASE) приводит к возникновению колебания

фазы солитонного импульса по Гордону-Хаусу (джиттера Гордона-Хауса), что ограничивает предельную длительность солитона и длину регенерационного участка, а, следовательно, пропускную способность солитонных ВОСП. Поэтому становится актуальной задача поиска методов улучшения их технических характеристик, решение которой даст возможность создать теоретическую базу для создания солитонных ВОСП. Также остаются нерешенными многие задачи, связанные с многомерным распространением солитонов в ОВ (взаимодействие солитонов, существование диссипативных солитонов и другие) [3–5]. В свою очередь, открытие солитонов с управляемой дисперсией (ДУ — солитоны) [6], наиболее устойчивых к воздействию колебания фазы по Гордону-Хаусу, дало новые возможности для солитонной оптической связи.

Перспективность и преимущества солитонных систем, в сравнении с обычными методами оптической передачи, оцениваются в соответствии с возможностями повышения скорости передачи и увеличения длины регенерационного участка. До начала широкого внедрения ВОСП на основе мультиплексирования с разделением по длинам волн предполагалось, что на скоростях от 10 Гбит/с солитонные системы будут иметь преимущества над обычными ВОСП. Между тем, увеличение скорости передачи затрудняется вследствие взаимодействия соседних солитонных импульсов.

Уменьшить эффект взаимодействия солитонов и, тем самым, увеличить скорость солитонных ВОСП, можно с помощью



метода сжатия солитонных импульсов, основанного на использовании дисперсии групповых скоростей (ДГС) и линейной частотной модуляции (ЛЧМ) импульсов. В оптических волокнах роль ЛЧМ может играть фазовая самомодуляция (ФСМ), а разделяет положительную и отрицательную ДГС длина волны нулевой дисперсии 0. Учитывая это, применяют компрессоры импульсов, основанные на использовании НЭ, которые делятся на: волоконно-решетчатые компрессоры (для ОВ с положительной ДГС, < 0) и компрессоры, основанные на эффекте многосолитонного сжатия (для ОВ с отрицательной ДГС, > 0).

Выбор солитонов второго-третьего порядков также обеспечивает сужение импульса в 8–12 раз. Применение солитонов высших порядков определяют, исходя из возможности достижения требуемой пиковой мощности солитона, а это достаточно сложно, если учесть, что она растет пропорционально квадрату порядка солитона. Отметим, что в пограничной области (второе спектральное окно) возможно использование обоих методов, что позволяет получить большие (до 5 тыс.) коэффициенты сжатия и импульсы длительностью в несколько фемтосекунд (1 фс = 10–15 с).

Возможности увеличения длины регенерационного участка значительно лучше для солитонных систем, чем для обычных оптических, даже учитывая, что в результате последних усовершенствований длина регенерационного участка обычных систем была доведена до 250–500 км при использовании волоконно-оптических

усилителей на легированных эрбием ОВ (Erbium — Doped Fiber Amplifier — EDFA). Для синхронных солитонных систем, которые могут работать на сверхдальних расстояниях без регенераторов, только с ВОУ типа EDFA, была предложена технология одновременного управления солитоном во временной и частотной областях. Данной технологии присущи два механизма управления: периодическая синхронная модуляция (ПСМ) — для управления позицией солитона во временной области; узкополосный перестраиваемый фильтр (УППФ) — для управления частотным спектром. ПСМ не только устраняет дрожание фазы солитона, вызванное эффектом Гордона-Хауса, но и значительно уменьшает уровень шума ASE ВОУ. УППФ представляет собой узкополосный следящий фильтр с полосой пропускания шириной 0,3–0,4 нм, центральная длина волны которой перестраивается, управляя контуром стабилизации энергии солитона в частотной области.

Применяя УППФ, на кольце солитонной линии связи длиной 500 км с усилителями типа EDFA, которые были расставлены через каждые 50 км, удалось добиться прохождения солитоном 180 млн. км без ошибок. Этот результат убеждает в том, что при использовании солитонов практически не существует предела длины регенерационного участка. Но в то же время, как говорилось выше, имеются ограничения, возникающие при создании систем солитонной передачи. Основными ограничениями, которые необходимо учитывать при построении солитонных ВОСП [8], являются: потери мощности

солитона в ОВ; наличие паразитной частотной модуляции (ПЧМ) в начальном импульсе; взаимодействие соседних солитонных импульсов.

Таким образом, применение ВОСП и, в частности, солитонных ВОСП, в системах охранной сигнализации, а также в других системах безопасности имеет перспективы в плане повышения эффективности функционирования вышеуказанных систем. Но, несмотря на значительные результаты, достигнутые в области создания скоростных систем передачи информации, в настоящее время в недостаточной степени исследованы возможные процессы по созданию перспективных высокоскоростных солитонных ВОСП, представляющие непосредственный научный и практический интерес. Необходимо также отметить, что наиболее важной задачей разработки ВОСП является создание активных элементов, способных обеспечивать передачу оптического сигнала на большие расстояния без затухания и с незначительными искажениями, и дальнейшая разработка ВОУ на основе таких элементов (в частности, это оптические волокна, легированные редкоземельными элементами).

Использованная литература

1. **Abdullaev F. Kb., Darmanyan S. A., Khabibullaev P. K.** Optical Solitons. — Springer — Verlag, Berlin, 1993.
2. **Gordon J. P., Haus H. A.** // Opt. Lett. — 1986. — №11. — P. 665.
3. **Abdullaev F. Kb., Baizakov B. B.** // Opt. Lett. — 2000. — №25. — P. 93.
4. **Chertkov M., Chung Y., Dyachenko A., Gabitov I., Kolokolov I., Lebedev V.** // Phys. Rev. — 2003. — №67. — 036615.
5. **Abdullaev F. Kb., Navotny D. V., Baizakov B. B.** // Physica D. — 2004. — №192. — P. 83.
6. **Gabitov I., Turitsyn S. K.** // Opt. Lett. — 1996. — №21. — P. 327.
7. **Раджабов Т. Д., Халилова П. Ю.** Перспективы использования солитонной технологии при построении волоконно-оптических систем передачи информации. «Ахборот технологиялари ва телекоммуникация муаммолари» мавзусидаги Республика илмий-техник анжумани, Тошкент, ТАТУ, 21–22 апреля 2011. — С. 320–323.
8. **Губанков В. Н.** Солитоны: новое в жизни, науке, технике. — М.: Знание, (Физика, вып. 12), 1983.