

УДК 681.128.56

## Задача обеспечения информационной безопасности на физическом уровне с применением чирпирования

**И.Л. Виноградова\*, А.Н. Набиуллина**

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», ул. К. Маркса, 12, Уфа, 450008, Россия

\*E-mail: vil-4@mail.ru

**Аннотация.** Предложена оптическая схема применения чирпированного импульсного сигнала для переноса информационной метки. Рассмотрена возможность передачи метки информационной безопасности. Изучен чирп, создаваемый модуляцией полупроводникового лазера. Изучен характер изменения чирпа импульса, передаваемого по волоконной линии.

**Ключевые слова:** чирпированный импульс, волоконно-оптическая линия передачи хроматическая дисперсия

## The task of ensuring information security at the physical level using chirping

**I.L. Vinogradova, A.KN. Nabiullina**

Ufa State Aviation University, 12, Karl Marx street, Ufa, 450008, Russia

\*E-mail: vil-4@mail.ru

**Abstract.** An optical scheme for using a chirped pulse signal for transferring an information label is proposed. The possibility of transferring an information security label has been considered. The chirp produced by the modulation of a semiconductor laser has been studied. The nature of the change in the chirp of a pulse transmitted through a fiber line has been studied.

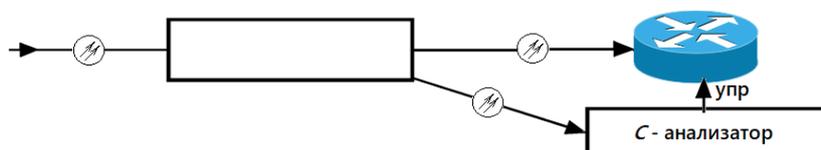
**Keywords:** chirped pulse, fiber optic transmission line chromatic dispersion

## 1. Введение

В настоящее время активно развиваются системы информационной защиты на физическом уровне сетей, отличающиеся существенностью выполняемой функции и сложностью нарушения их работоспособности. Поэтому предлагается в качестве метки информационной безопасности, не читаемой существующим телекоммуникационным оборудованием, использовать chirпирование оптического импульсного сигнала по схеме рис. 1. Предложенная схема относится к стеганографическим методам [1].

## 2. Предложенная схема включения телекоммуникационного оборудования с анализом скрытого chirпирования

Для того, чтобы не нарушать процесс работы традиционных телекоммуникационных протоколов, предлагается перед считывающим оборудованием включать в оптическую линию ответвитель, ответвляемый сигнал с которого отправлять на специализированный блок анализа chirпирования, рисунок 1 (С-анализатор). Управляющий сигнал от последнего следует направлять вновь на узловое оборудование в виде служебного сигнала, обеспечивающего прохождение/непрохождение принимаемых пакетов к абоненту в зависимости от считываемого chirпа – по принципу «свой/чужой».

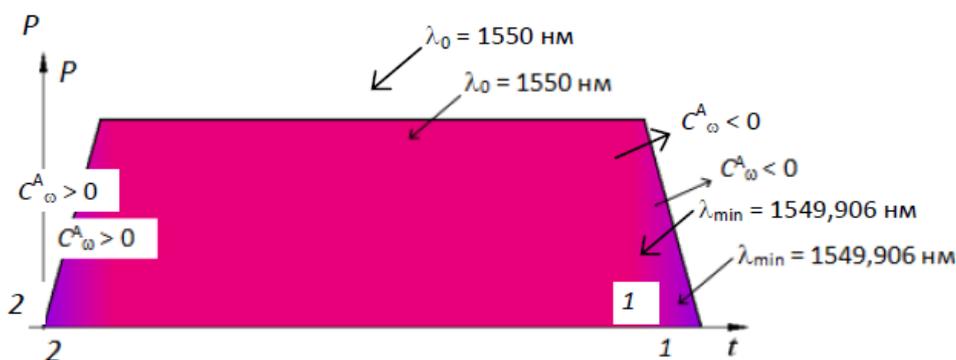


**Рисунок 1.** Схема включения традиционного оборудования в задаче использования chirпа как метки информационной защиты.

## 3. Анализ параметра chirпирования, переносимого информационным импульсом

Чирп – это изменение частоты  $\omega$  (или тоже самое – длины волны излучения  $\lambda$ ) на протяжении длительности импульса  $T$  [1], и является неизбежным свойством оптического сигнала, получаемого в результате модуляции тока накачки полупроводникового лазера [2]. Последнее связано с дрейфом спектральных характеристик резонатора и активной среды лазера (температурным изменением геометрических размеров резонатора под действием протекающего тока накачки). Так, когда через резонатор протекает малый ток (соответствующий низкому уровню излучаемой мощности  $P$ ), резонатор, можно считать, не «разогрет», и обладает

начальными (небольшими) геометрическими размерами. При увеличении тока накачки, что приводит к росту излучаемой мощности, резонатор «разогревается», а значит – неизбежно увеличивается. Это же приводит и к увеличению и длины волны излучения, рисунок 2. Следовательно, на низкой мощности излучаются более короткие волны (условно далее будем называть – «синие»), а на высокой мощности – более длинные («красные»).



**Рисунок 2.** Иллюстрация эффекта чирпирования «меандрового» импульса, получаемого в результате модуляции тока накачки лазера.

Например, если начальная длительность импульса  $T_0 \cong 0,5 \cdot 10^{-10}$  с для последовательности, передаваемой на битовой скорости  $B = 10$  Гбит/с в коде RZ (с возвратом к нулю), то, согласно [2, 3], фронты в среднем в 10 раз короче равноамплитудной части, т.е. составляют  $T_{ф,0} \cong 0,05 \cdot 10^{-10}$  с. Если допустить, что при почти линейном росте  $P(t)$  длина волны также изменяется практически линейно:  $\lambda(t) = \lambda_{min} + K_{\lambda \cdot t}$  [3], где  $K_{\lambda} \cong 1,88 \cdot 10^9$  нм/с [3] для большинства недорогих лазеров, входящих в состав распространённых SFP-модулей, то для передаваемых (в основном) импульсов на  $\lambda_0 = 1550$  нм, рисунок 2, изменение длины волны будет происходить в пределах  $\Delta\lambda \cong 0,094$  нм, а значение  $\lambda$  при минимальном токе накачки – составлять  $\lambda_{min} = 1549,906$  нм. При этом передний фронт импульса (наступающий в более ранний момент времени, на рисунке 2 обозначение 1) будет характеризоваться переходом «синих» волн на «красные», с задний фронт (2) – «красных» волн на «синие».

Для того, чтобы количественно характеризовать величину смещения  $\omega$ , в [4] введён параметр линейного смещения частоты (чирпирования), обозначим как  $C_{\omega}^A$ ; а в [5] рассматривается функция чирпа –  $C$ .

В соответствии с физическим смыслом функции chirpa, характеризующей, как представлено выше, смещение частоты на протяжении длительности импульса, можно записать [3 - 5]:

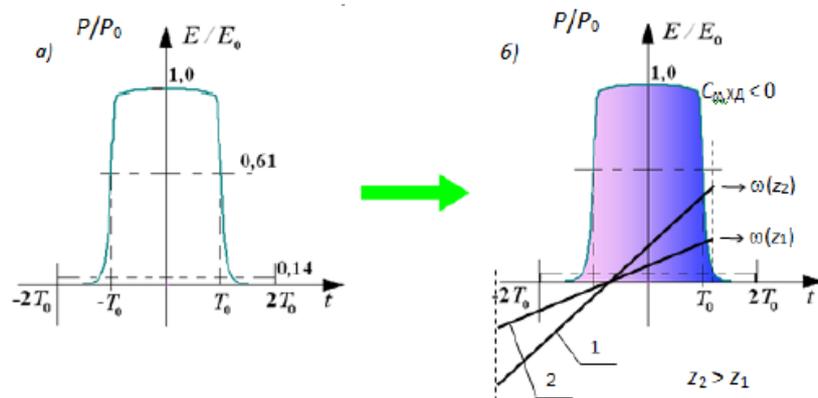
$$C_{\omega}(T) = -\Delta(\omega_{\text{мзн}}(T)) \Big|_0^{T_{\omega}} \quad (1)$$

где  $\Delta(\bullet)$  – знак дифференциала от функции;  $\omega_{\text{мзн}} = \frac{d\Psi}{dT}$ ;  $\Psi(T)$  – фаза в представлении оптического импульса в виде:  $P(T) = \text{Mod}(T) \cdot e^{j\Psi(T)}$ .  $T$  – время в системе отсчёта, связанной с импульсом.

### 3. Характер изменения chirpa при прохождении волоконной линии

В результате распространения импульса вдоль ВОЛП происходит изменение его формы и chirpa [4, 5]. Так под действием хроматической дисперсии (ХД) со стороны оптоволоконна SMF-28, обладающего отрицательным характеристическим дисперсионным параметром  $\beta_{2,\text{SMF}} \approx -22$  пс<sup>2</sup>/км (соответственно дисперсионным коэффициентом  $\cong 17$  пс/нм·км [4]) в области длин волн магистральной передачи  $\lambda_0 \cong 1550$  нм изначально неchirпированный импульс приобретает отрицательный chirp по мере прохождения расстояния  $z$  вдоль ВОЛП, рисунок 3, в результате чего коротковолновые («синие») компоненты сосредотачиваются в области переднего фронта, а длинноволновые («красные») компоненты – в области заднего фронта.

Представленная на рисунке 3, б, форма импульса на расстоянии  $z$  от входа ВОЛП в действительности должна выглядеть искажённой. Тем не менее на рисунке показана неискажённая (начальная) форма – для наглядности появления приобретённого chirpa.



**Рисунок 3.** «Синие» компоненты уходят вперёд, а красные отстают при  $\beta_2 < 0$  и  $D > 0$ ; 1 и 2 – линейные функции чирпа для различных точек на ВОЛП.

Чем дальше распространяется импульс, тем больше происходит разделение спектральных составляющих. При дальнейшем распространении «синие» составляющие «уходят» дальше, чем полуширина импульса, что и приводит к его уширению во временной области. К изменению функции чирпа (относительно его входного или начального состояния) приводят и другие эффекты, действующие на ВОЛП:

- нелинейные оптические эффекты, связанные с повышением мощности излучения (Керровское преломление, приводящее к фазовой самомодуляции излучения и фазовой кроссмодуляции двух или более видов излучения, а также связанные с вынужденными видами рассеяния и параметрическими процессами [5]);
- спектральная избирательность компонентов ВОЛП (усилители с неравномерной спектрально-усилительной характеристикой [4]; спектрально-избирательные элементы – интерферометры [4, 5], резонансные структуры – в том числе фотонные кристаллы [5] и т.п.);
- статистические дисперсионные эффекты – поляризационно-модовая дисперсия; при её совместном действии с поляризационно-зависимым коэффициентом потерь приводит к поляризационно-модовому искажению второго порядка, оказывающее влияние в том числе и на чирп излучения; а также эффекты, проявляющиеся для коротких ( $T_0 \leq 1 \cdot 10^{-12}$  с) импульсов:
- ХД третьего порядка [5];
- нелинейный дисперсионный эффект, связанный с неравномерностью (биением) профиля показателя преломления вдоль ВОЛП (для треугольно профилированных оптоволокон типа DSF, NZDSF).

В [5] показано, что изменение функции chirpa неизбежно приводит и к изменению формы импульса и наоборот.

#### 4. Выводы

В ходе выполнения исследований была спроектирована система анализа сигнала и chirпирования, а также было изучено применение эффекта chirпирования при передаче сигналов на ВОЛП. Была рассмотрена, проанализирована и рассчитана возможность применения методик и рекомендаций по строительству сегментов ВОЛП, ориентированных на использование chirпирования для решения телекоммуникационных задач. Был разработан метод, позволяющий применять chirп для решения телекоммуникационных задач.

Всё это говорит об актуальности разработки методик построения сегментов линий передач, основанных на применении эффекта chirпирования и показывает расширяющийся интерес к применению эффекта chirпирования при передаче сигналов на ВОЛП.

#### Список литературы

1. Гордиенко, В.Н. Многоканальные телекоммуникационные системы / В.Н. Гордиенко, М.С. Тверецкий. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 416 с.
2. Султанов, А.Х. Построение и эксплуатация полностью оптических сетей. / А.Х. Султанов, И.Л. Виноградова. – Уфа: УГАТУ, 2008. – 136 с.
3. Волоконно-оптическая техника: история, достижения, перспективы / Сборник статей под ред. Дмитриева С.А., Слепова Н.Н. – М.: Издательство «Connect», 2000. – 376 с.
4. Моделирование резонансных интегральных устройств / А.Б. Андросик, С.А. Воробьёв, С.Д. Мировицкая // Вестник МГОУ. – 2011. – № 4. – С. 81-87.
5. Иванов, А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А.Б. Иванов. – М.: Компания Сайрус-Системс, 1999. – 670 с.