

18-ый ЛИТОВСКО-БЕЛОРУССКИЙ СЕМИНАР
«Перспективные СВЧ приборы и системы»
г. Вильнюс, 8 декабря 2017 года

**Волоконно-оптическая линия
передачи СВЧ-сигналов
с оптическим усилением для
диапазона частот 0.1 – 40 ГГц**

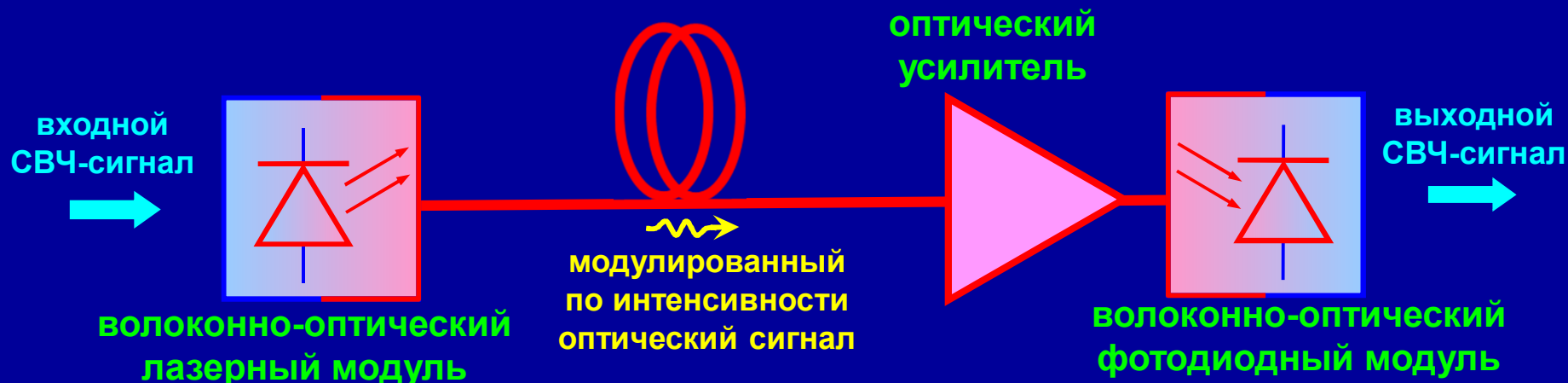
Александр ЧИЖ

*Лаборатория радиофотоники
ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»,
Национальная академия наук Беларуси*

Введение и мотивация

Замена коаксиальных кабелей волоконно-оптической линией передачи СВЧ-сигналов дает :

- ✓ Возможность передачи сверхширополосных СВЧ-сигналов на расстояние свыше 1 км (до 100 км)
- ✓ Возможность многоканальной передачи СВЧ-сигналов (мультиплексирование по длине волны)
- ✓ Возможность использования оптической обработки СВЧ-сигналов
 - оптическое преобразование частоты СВЧ-сигналов
 - оптическая фильтрация СВЧ-сигналов
 - оптическая генерация СВЧ-сигналов
 - оптическая задержка СВЧ-сигналов
 - оптическое аналогово-цифровое преобразование



Преимущества волоконно-оптических технологий в СВЧ-технике

- ☺ **Сверхнизкие потери и дисперсия** (менее 0.2 дБ/км на 1550 нм, оптическая несущая ~200 ТГц)
- ☺ **Сверхширокополосность** (доступная полоса частот оптического волокна ~50ТГц, полоса частот фотодиодов и модуляторов до 100 ГГц и выше)
- ☺ **Низкий уровень фазовых шумов** (процесс прямого оптического детектирования с помощью фотодиода не восприимчив к фазе оптического излучения (к фазе и фазовым шумам оптической несущей))
- ☺ **Высокая фазовая стабильность** (диаметр сердцевины оптического волокна ~10 мкм, возможность компенсации дрейфа времени задержки)
- ☺ **Невосприимчивость к электромагнитным помехам, не создает помехи**
- ☺ **Гальваническая развязка**
- ☺ **Малая масса и размеры оптического волокна**
- ☺ **Механическая гибкость** (облегчает установку системы)
- ☺ **Функциональность**

Проблемы:

- ☹ **Амплитудный шум** (коэффициент шума обычно 10 – 30 дБ)
- ☹ **Ограниченный динамический диапазон**
(использование активных компонентов)

Область применения волоконно-оптических линий передачи СВЧ-сигналов

- **Передача СВЧ-сигналов от удаленных антенн**
 - ✓ системы беспроводной связи с оптическими магистралями
 - ✓ радиоастрономия
 - ✓ измерительные антенные системы
- **Распределение СВЧ-сигнала гетеродина (опорных СВЧ-сигналов) в приемо-передающих системах**
 - ✓ системы радиолокации
 - ✓ системы радиовидения
 - ✓ измерительные антенные системы
- **Формирование диаграммы направленности и калибровка фазированных антенных решеток**
 - ✓ системы радиолокации
 - ✓ системы радиовидения

Волоконно-оптический лазерный модуль

Преимущества прямой модуляции

☺простая архитектура (нет необходимости в стабилизации температуры лазерного диода)

☺малый размер модуля

Недостатки прямой модуляции

☹предельная частота модуляции менее 18 ГГц

☹динамический диапазон при отсутствии интермодуляционных искажений не превышает 90 дБ·Гц^{2/3}

☹паразитная частотная модуляция (уширение спектра генерации лазерного диода с МГц до ГГц, что приводит к фазовой нестабильности при передаче СВЧ-сигнала по оптическому волокну)



Преимущества внешней модуляции

☺широкий частотный диапазон (>100 ГГц)

☺широкий линейный диапазон (>150 дБ·Гц)

☺широкий динамический диапазон при отсутствии интермодуляционных искажений (более 110 дБ·Гц^{2/3})

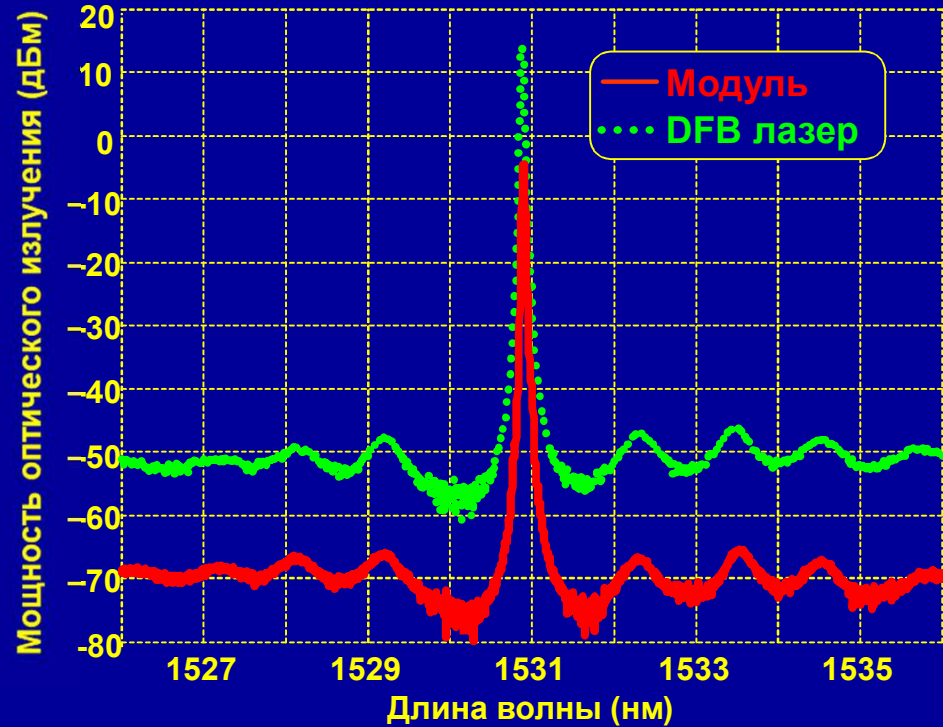
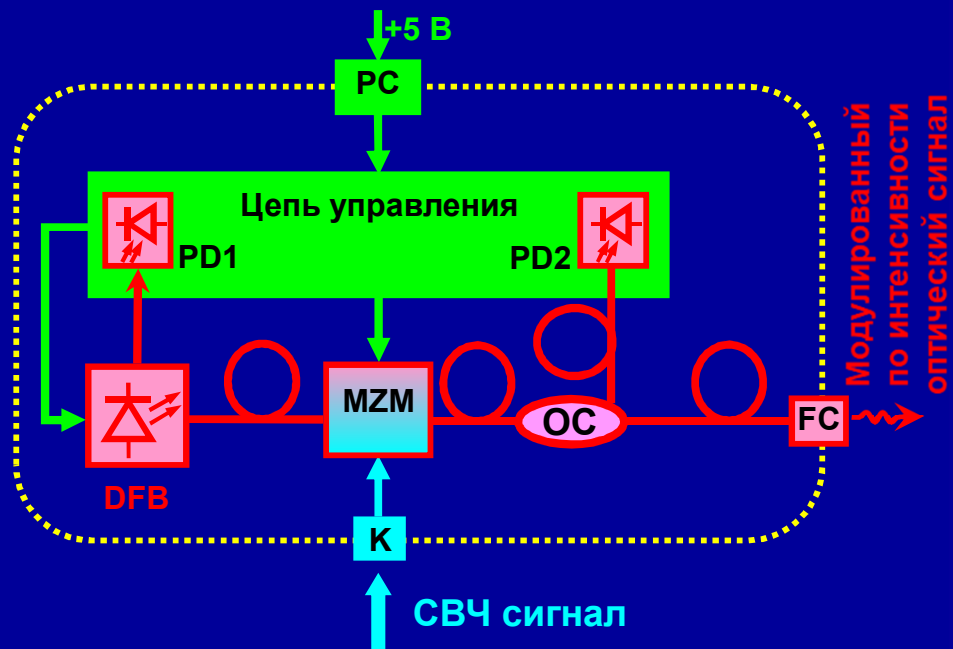
Недостатки внешней модуляции

☹более сложная архитектура

☹большой размер модуля



Волоконно-оптический лазерный модуль с внешней модуляцией: конструкция

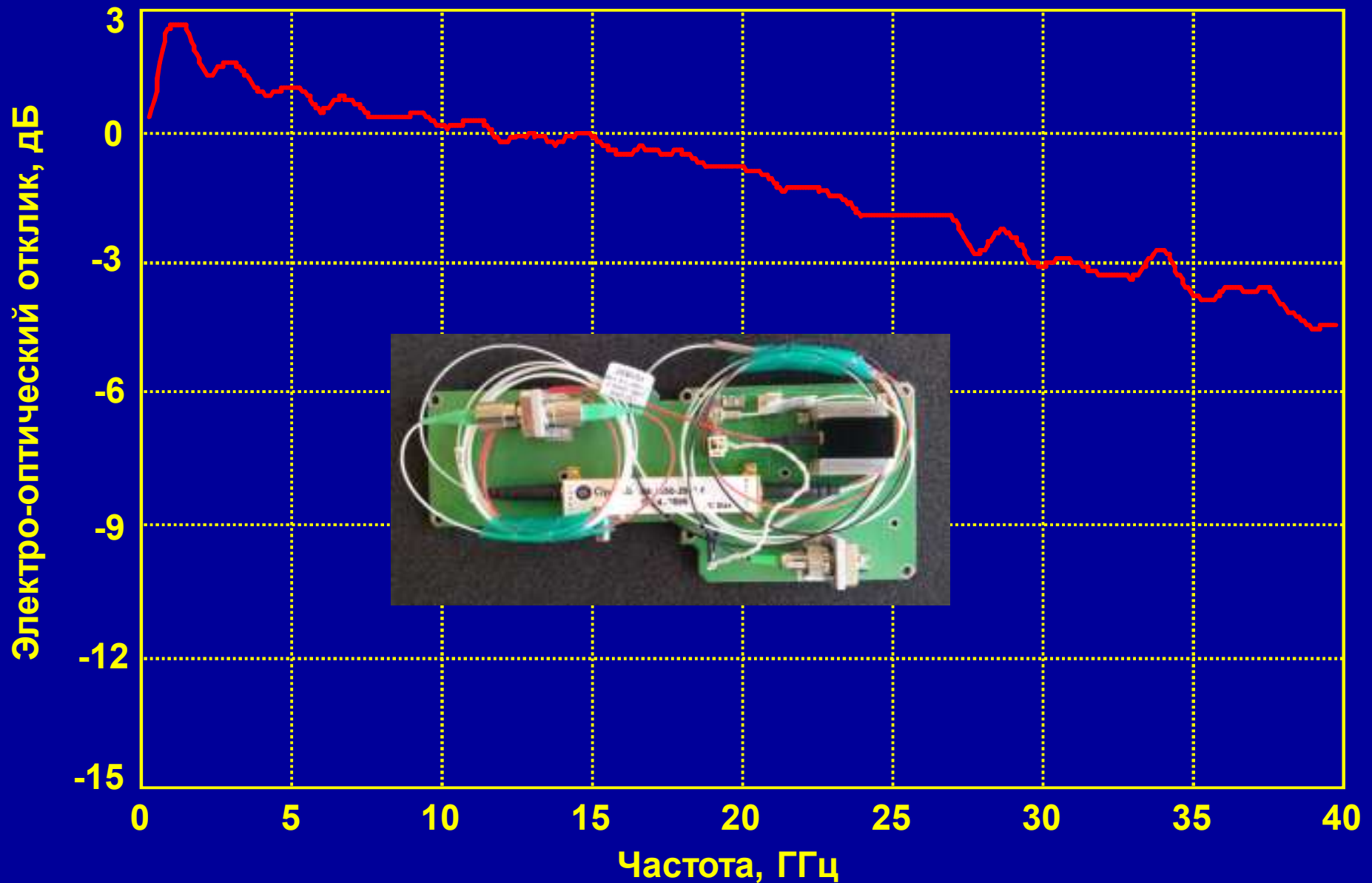


DFB – лазер с распределенной обратной связью
MZM – оптический модулятор Маха–Цендера
ОС – волоконно-оптический разветвитель 1/99%
PD1, PD2 – фотодиоды обратной связи
FC – выходной оптический разъем FC/APC
К – входной СВЧ-разъем
PC – разъем питания

Характеристики модуля

- Длина волны генерации: 1531 ± 1 нм
- Относительная интенсивность шума менее -155 дБн/Гц@10ГГц
- полуволновое напряжение MZM на частоте 10 ГГц: 6.5 В
- фаза смещения MZM: от 90° до 175°

Волоконно-оптический лазерный модуль с внешней модуляцией: частотная характеристика

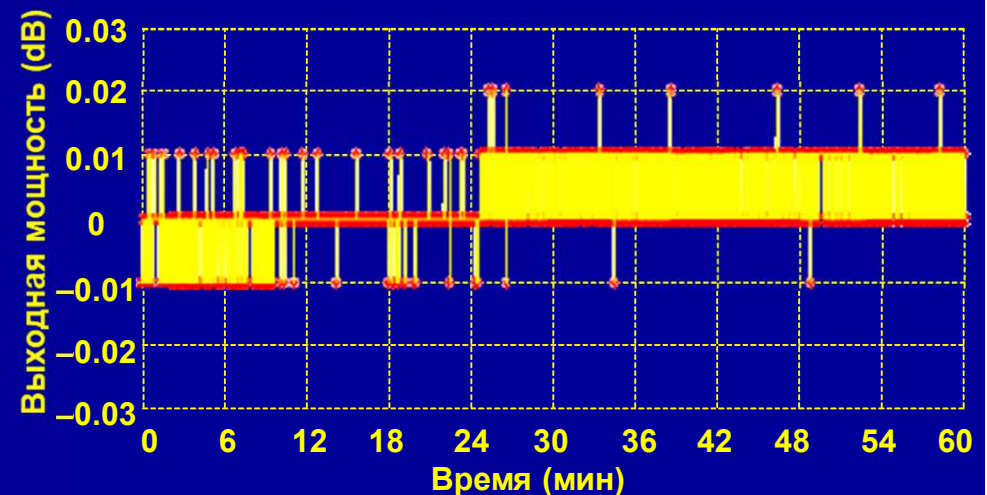
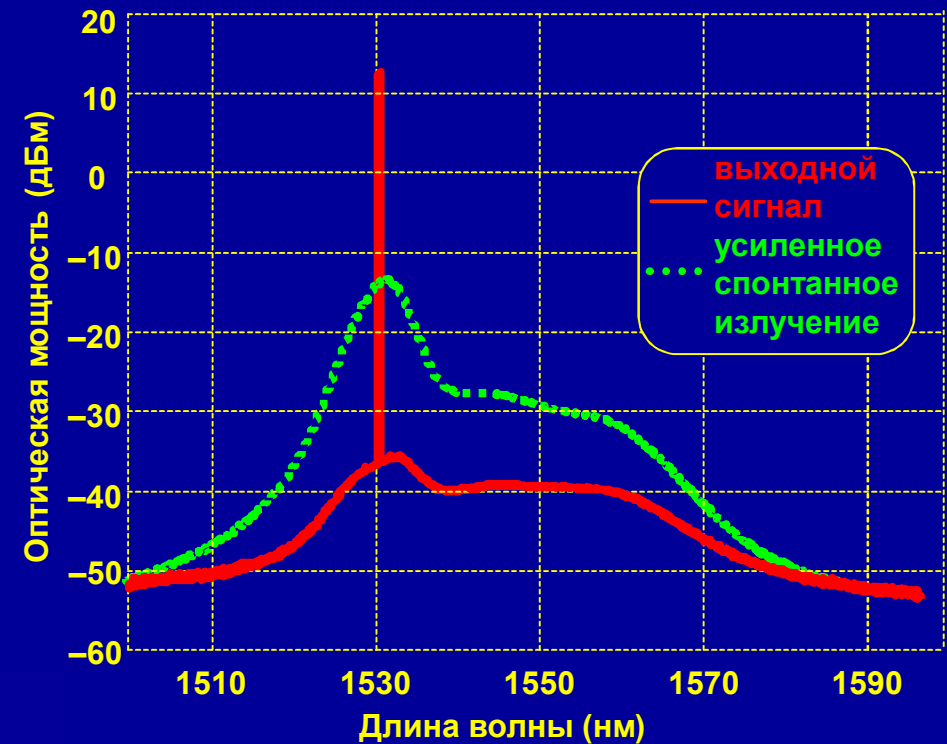


Ключевые компоненты волоконно-оптической линии: EDFA

однокаскадный EDFA с мощностью насыщения 40 мВт

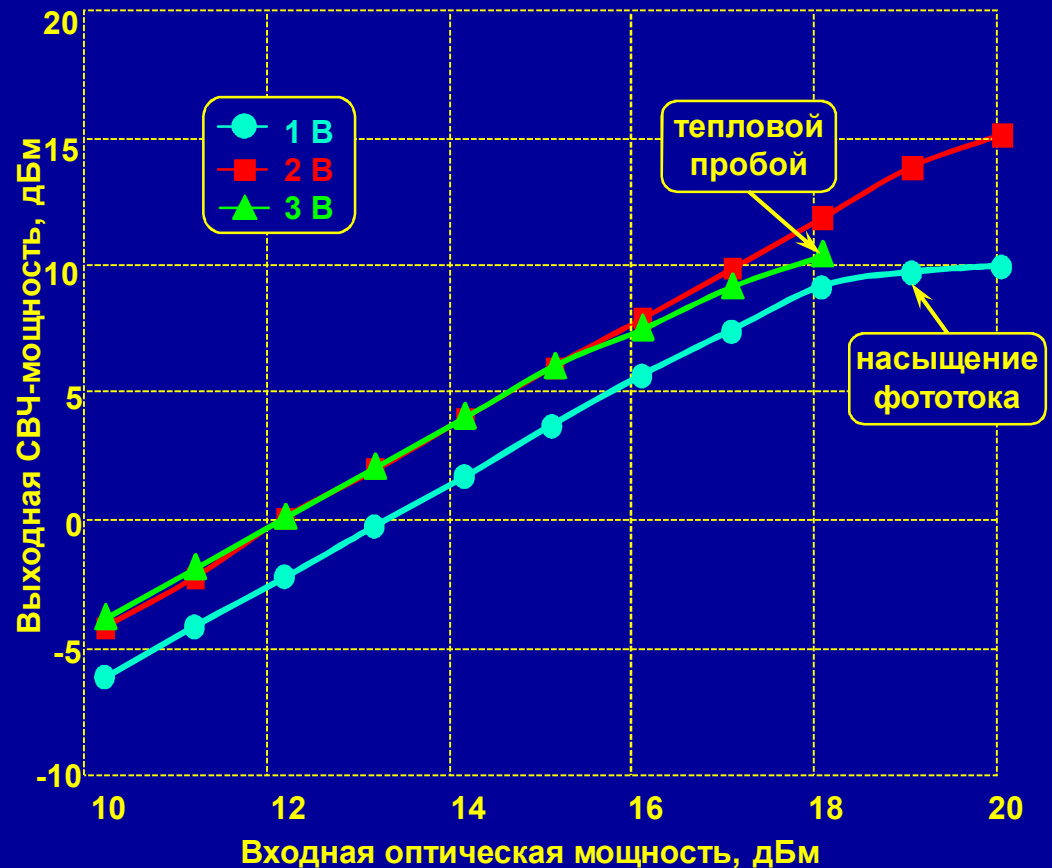
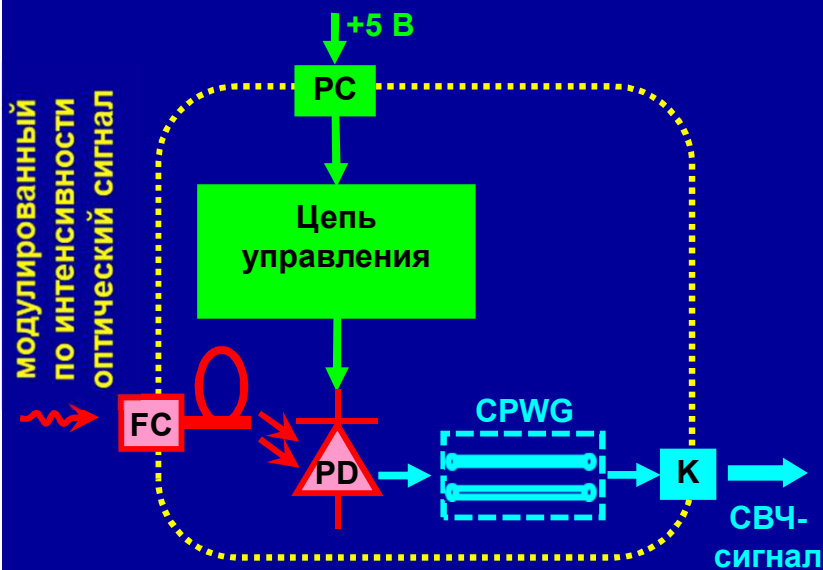


В качестве лазер накачки используется лазерный диод с распределенной обратной связью на основе квантоворазмерных гетероструктур InGaAsP/InP с длиной волны излучения 1.49 мкм.



Волоконно-оптический фотодиодный модуль на основе мощного фотодиода Шоттки

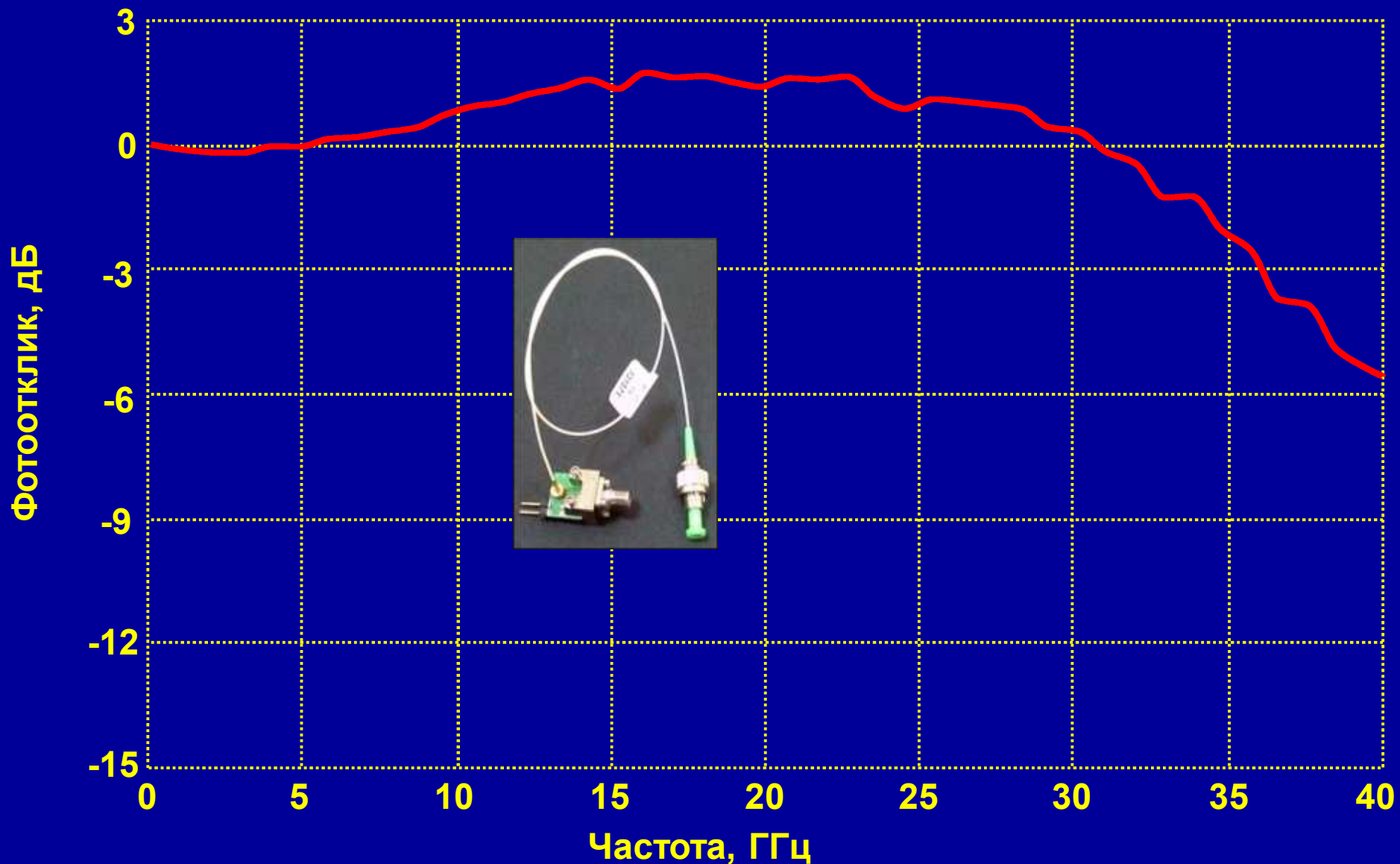
Волоконно-оптический фотодиодный модуль предназначен для преобразования модулированного по интенсивности оптического сигнала в СВЧ-сигнал в широкой полосе частот



Характеристики модуля:

- ✓ токовая чувствительность на длине волны 1550 нм: 0.4 А/Вт
- ✓ предельная частота: 40 ГГц
- ✓ предельная выходная мощность: 15 дБм

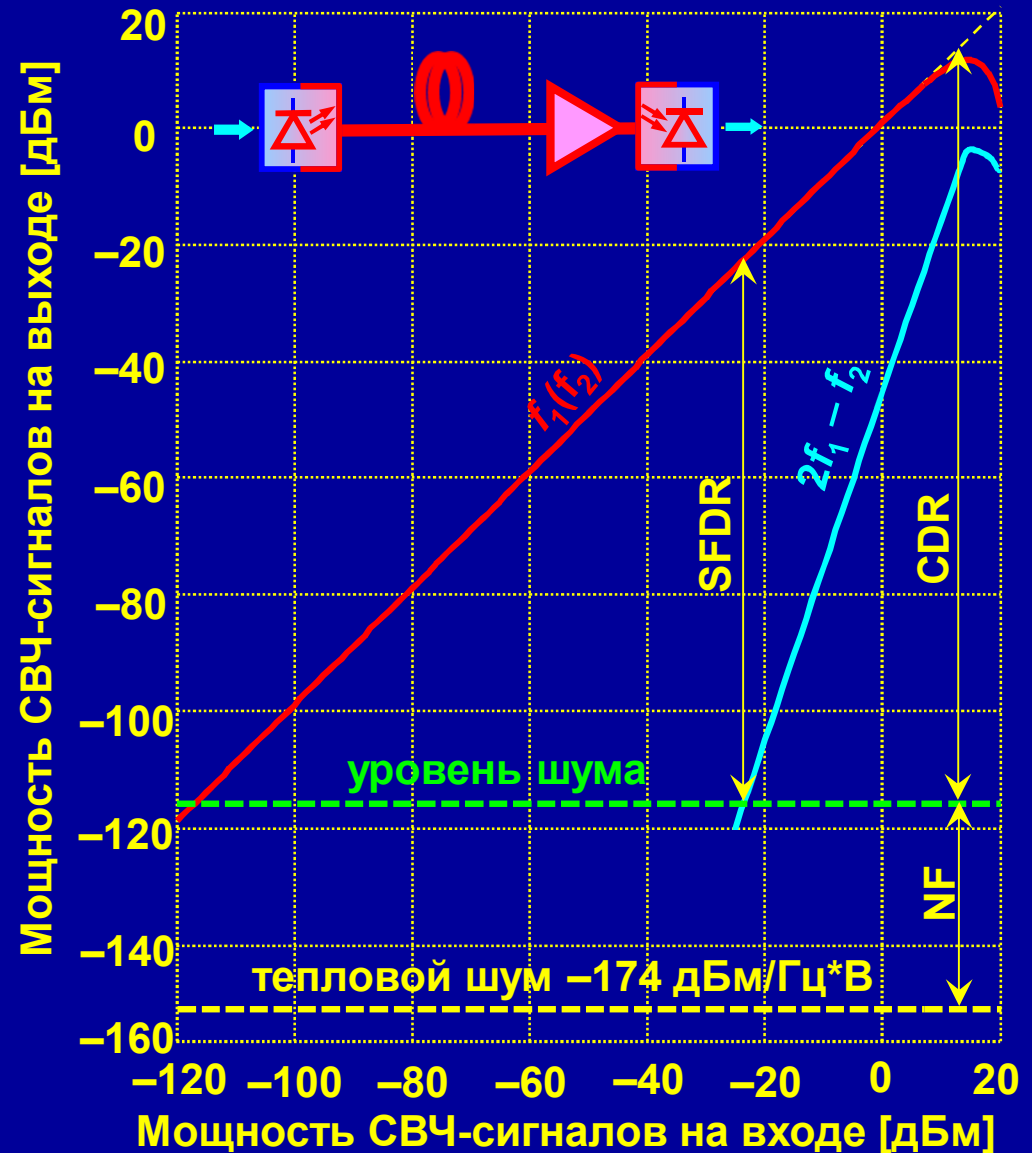
Волоконно-оптический фотодиодный модуль: частотная характеристика



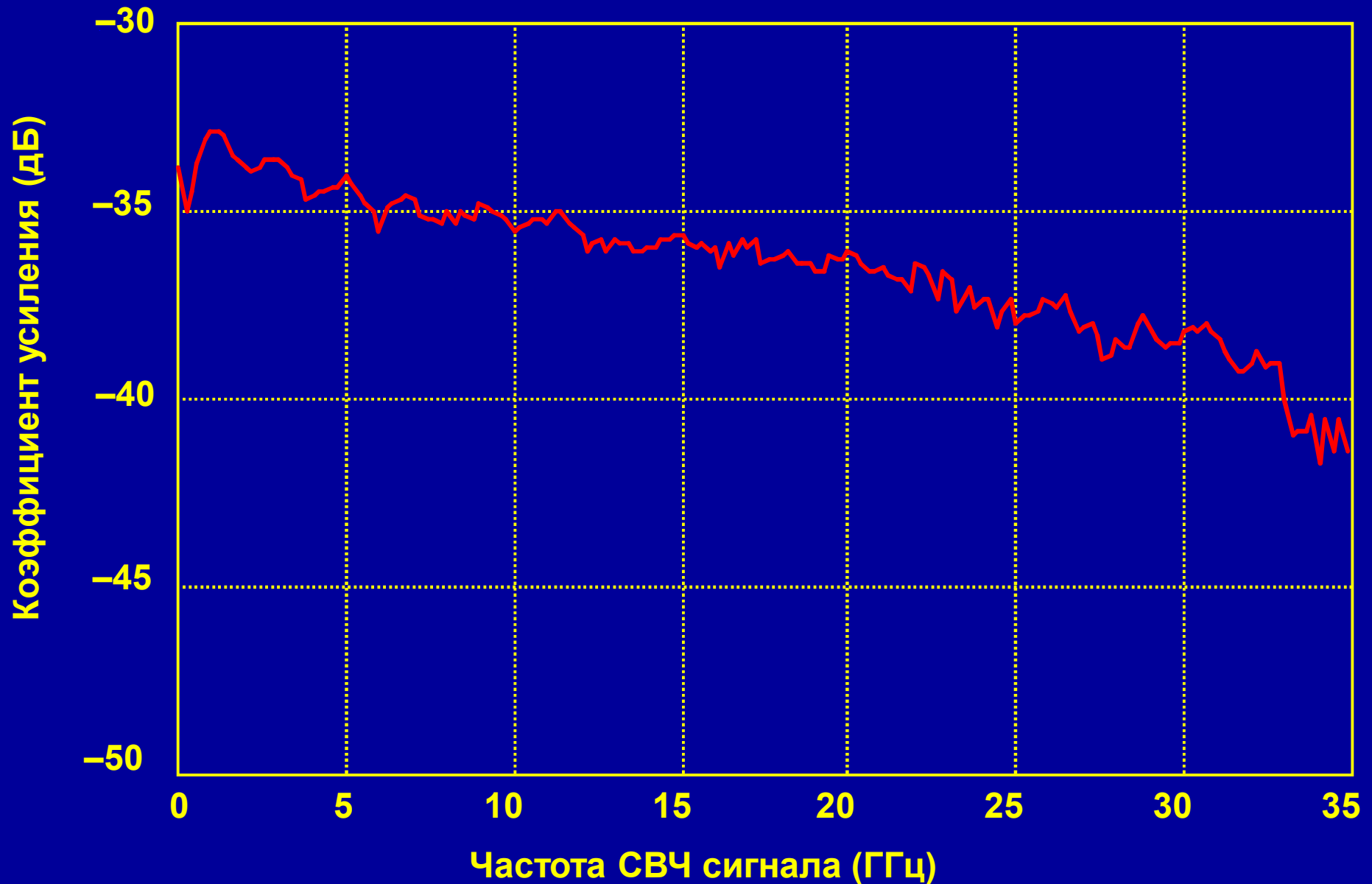
Характеристики и параметры волоконно-оптической линии передачи СВЧ-сигналов

С точки зрения теории СВЧ-цепей волоконно-оптическая линия передачи СВЧ-сигналов является **линейным четырехполюсником**, основными параметрами которого являются:

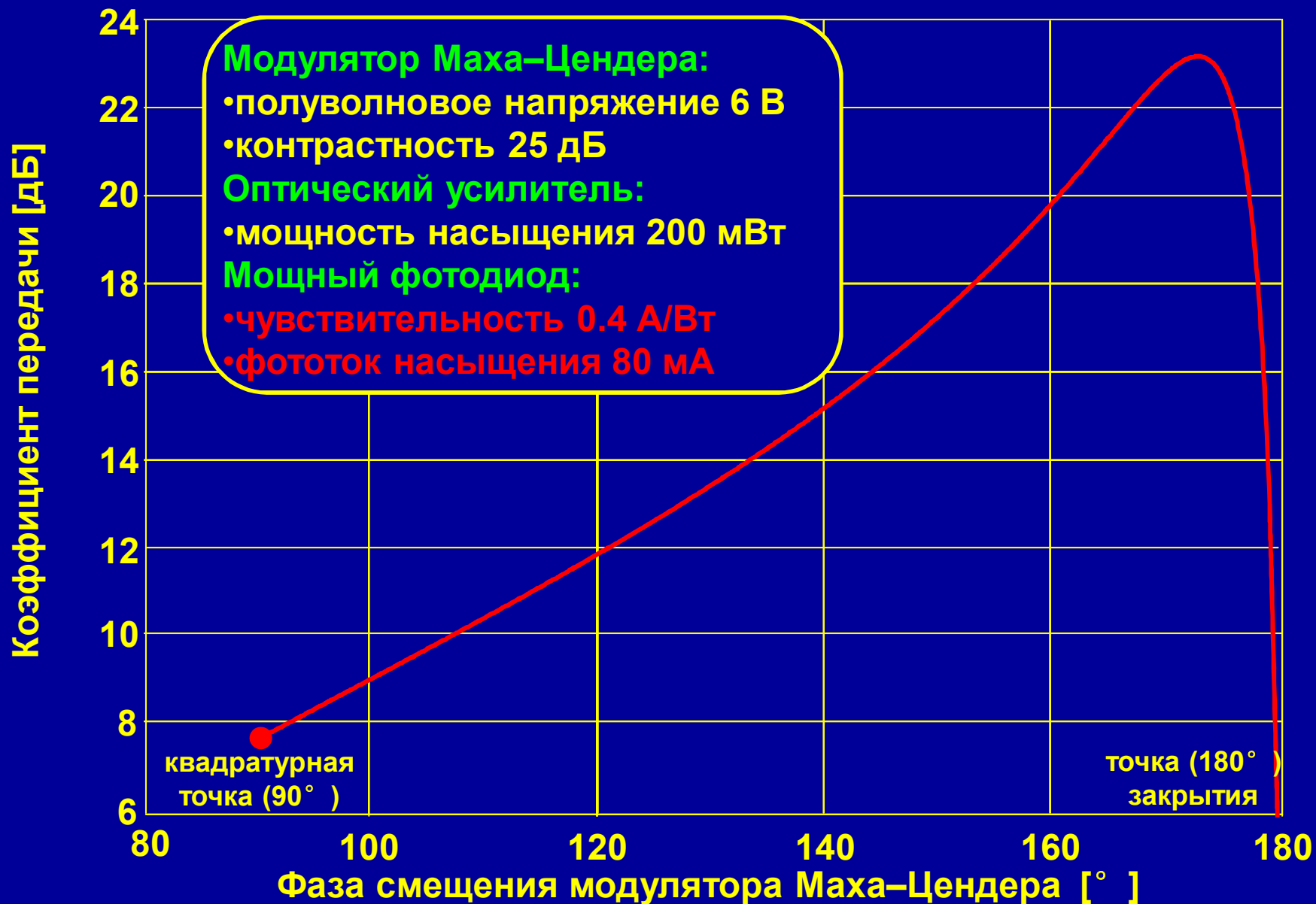
- коэффициент передачи **G [дБ]**
- коэффициент шума **NF [дБ]**
- линейный динамический диапазон **CDR [дБ·Гц]**
- динамический диапазон при отсутствии интермодуляционных искажений **$SFDR$ [дБ·Гц^{2/3}]**



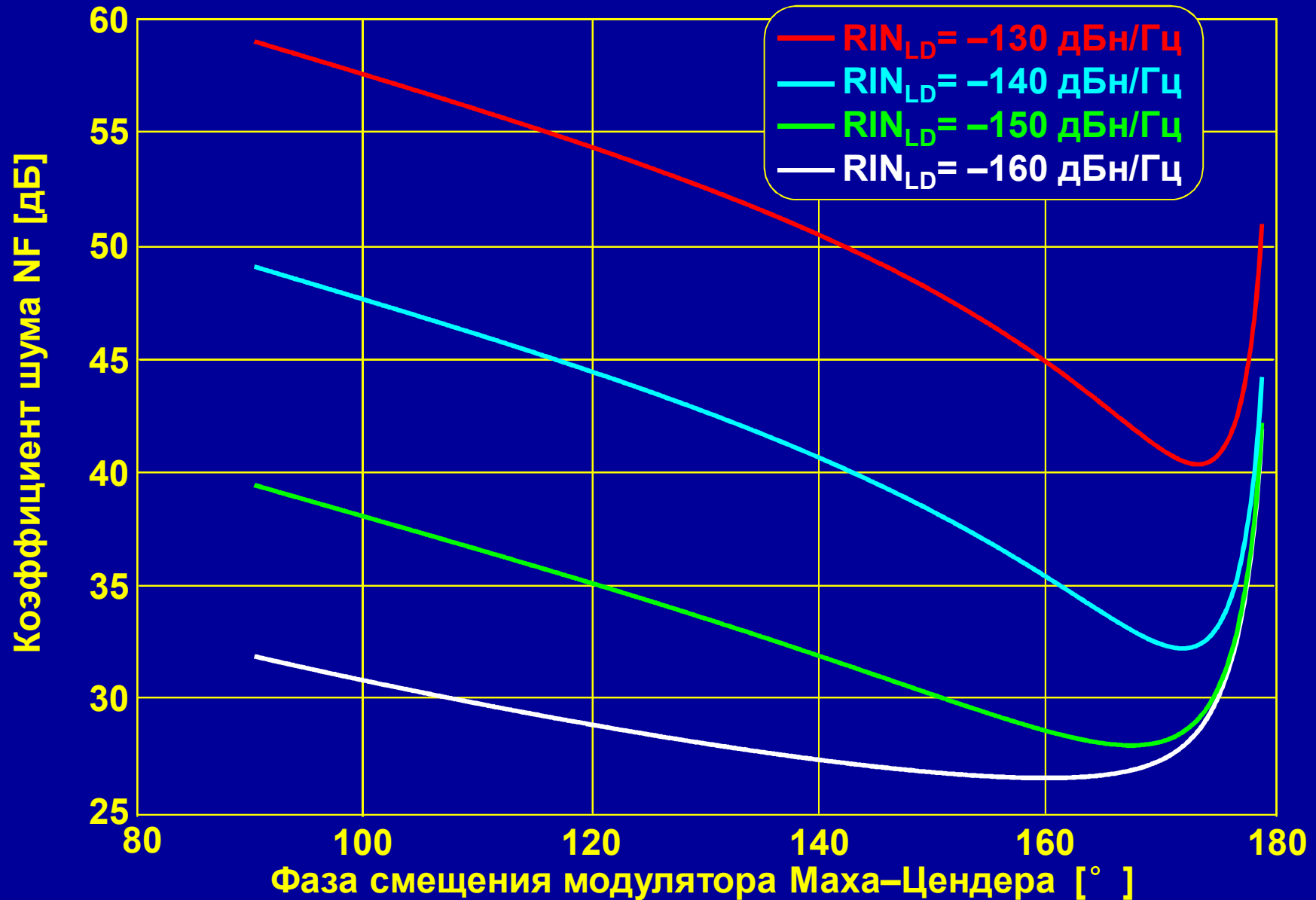
Коэффициент усиления ВОЛП при мощности излучения InGaAsP/InP лазерного диода 10 мВт



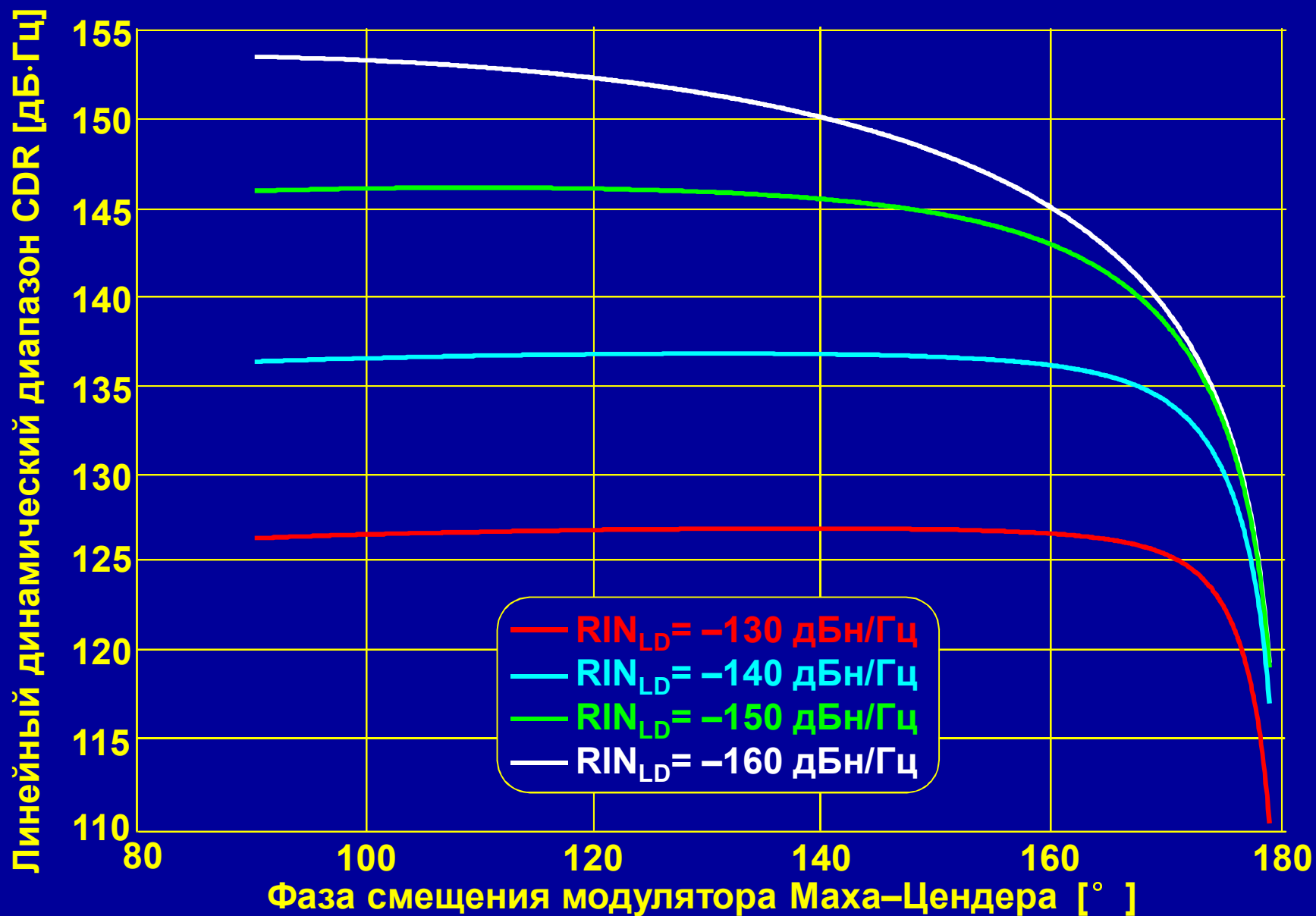
Коэффициент передачи волоконно-оптической линии с оптическим усилением



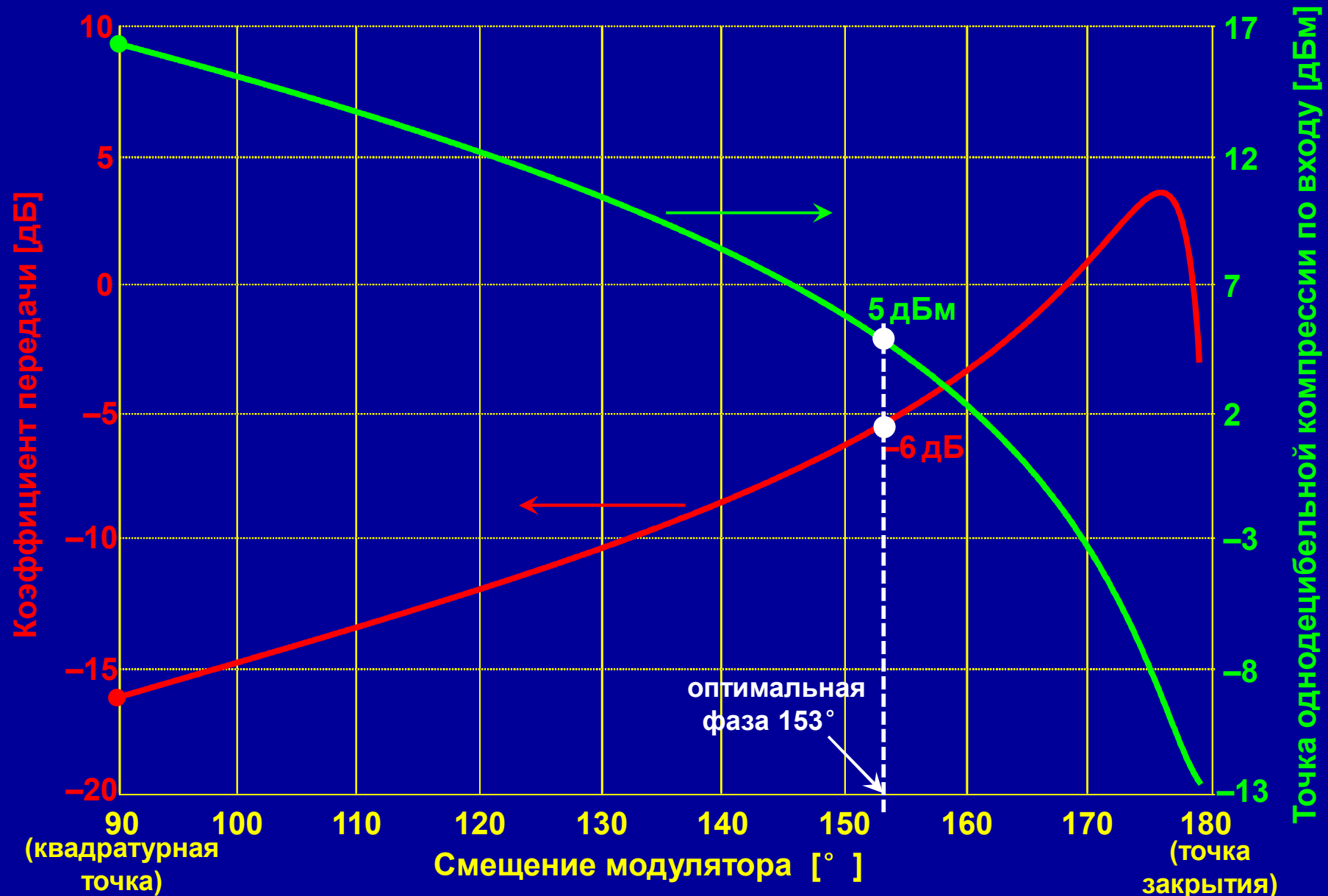
Коэффициент шума волоконно-оптической линии с оптическим усилением



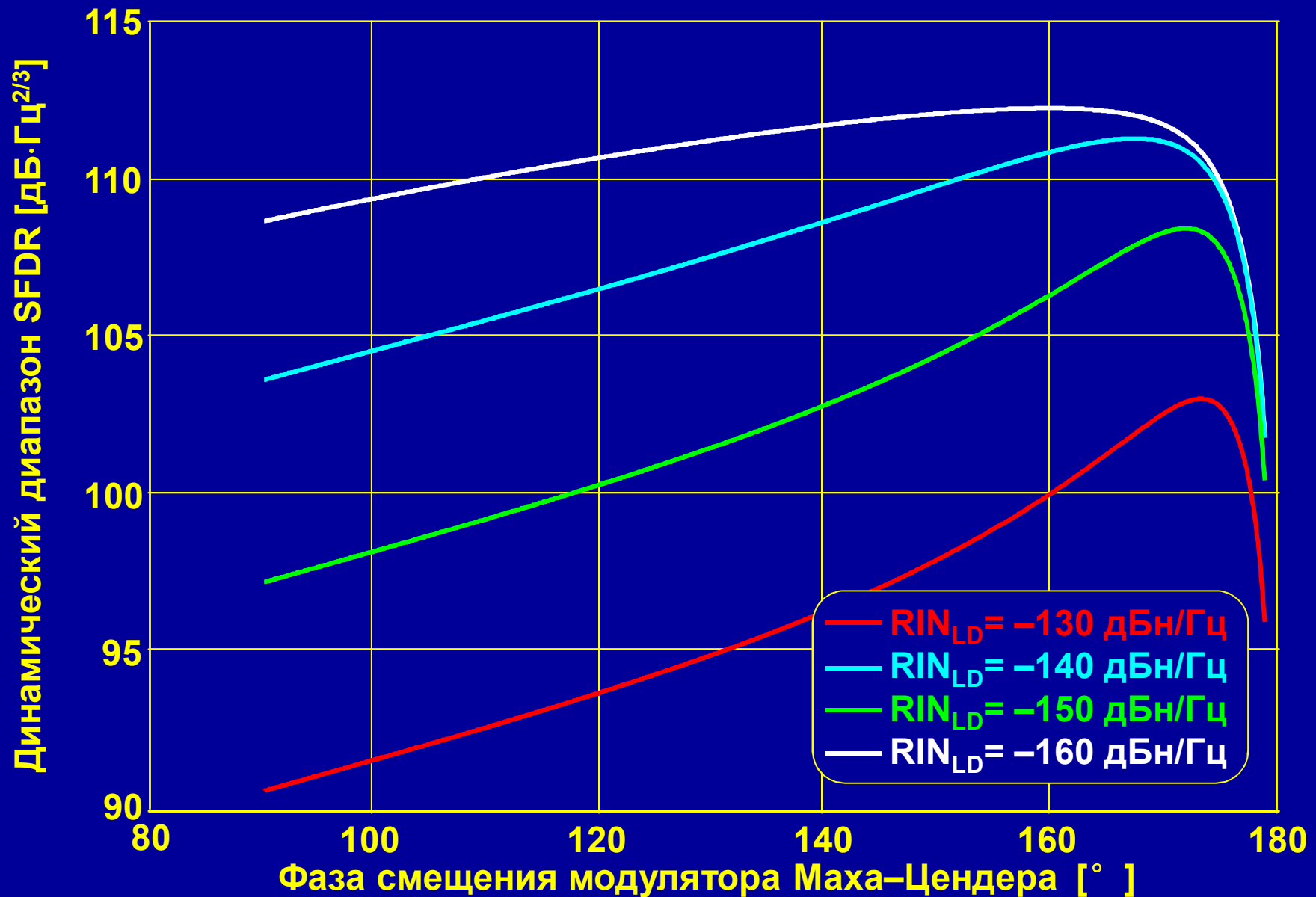
Линейный динамический диапазон волоконно-оптической линии с оптическим усилением



Рабочая тока модулятора Маха–Цендера в широкополосной волоконно-оптической линии



Динамический диапазон при отсутствии интермодуляционных искажений



Заключение

Разработанные волоконно-оптические линии передачи СВЧ-сигналов с оптическим усилением обеспечивают:

- полосу частот от 0.1 до 40 ГГц
- регулируемый коэффициент передачи, возможно даже усиление
- линейный динамический диапазон более 150 дБ·Гц
- динамический диапазон при отсутствии интермодуляционных искажений более 110 дБ·Гц^{2/3}

Использование разработанных волоконно-оптических линий передачи СВЧ-сигналов в СВЧ-системах целесообразно в следующих случаях:

- при необходимости передачи широкополосных СВЧ-сигналов на расстояние порядка 10 м и более
- при необходимости распределения опорных СВЧ-сигналов в многоканальных системах
- при необходимости распределения СВЧ-сигналов в бортовых системах (невосприимчивость к электромагнитным помехам, малая масса и размеры оптического волокна, механическая гибкость)
- при больших электромагнитных помехах
- при необходимости калибровки антенных систем (оптическое волокно не искажает излучение антенн)