

16 Литовско-Белорусский семинар  
«Перспективные СВЧ приборы и системы»  
г. Вильнюс, 4 декабря 2015 г.

# Влияние внешних воздействий на оптоэлектронные генераторы СВЧ на линиях задержки

*К. Б. Микитчук*

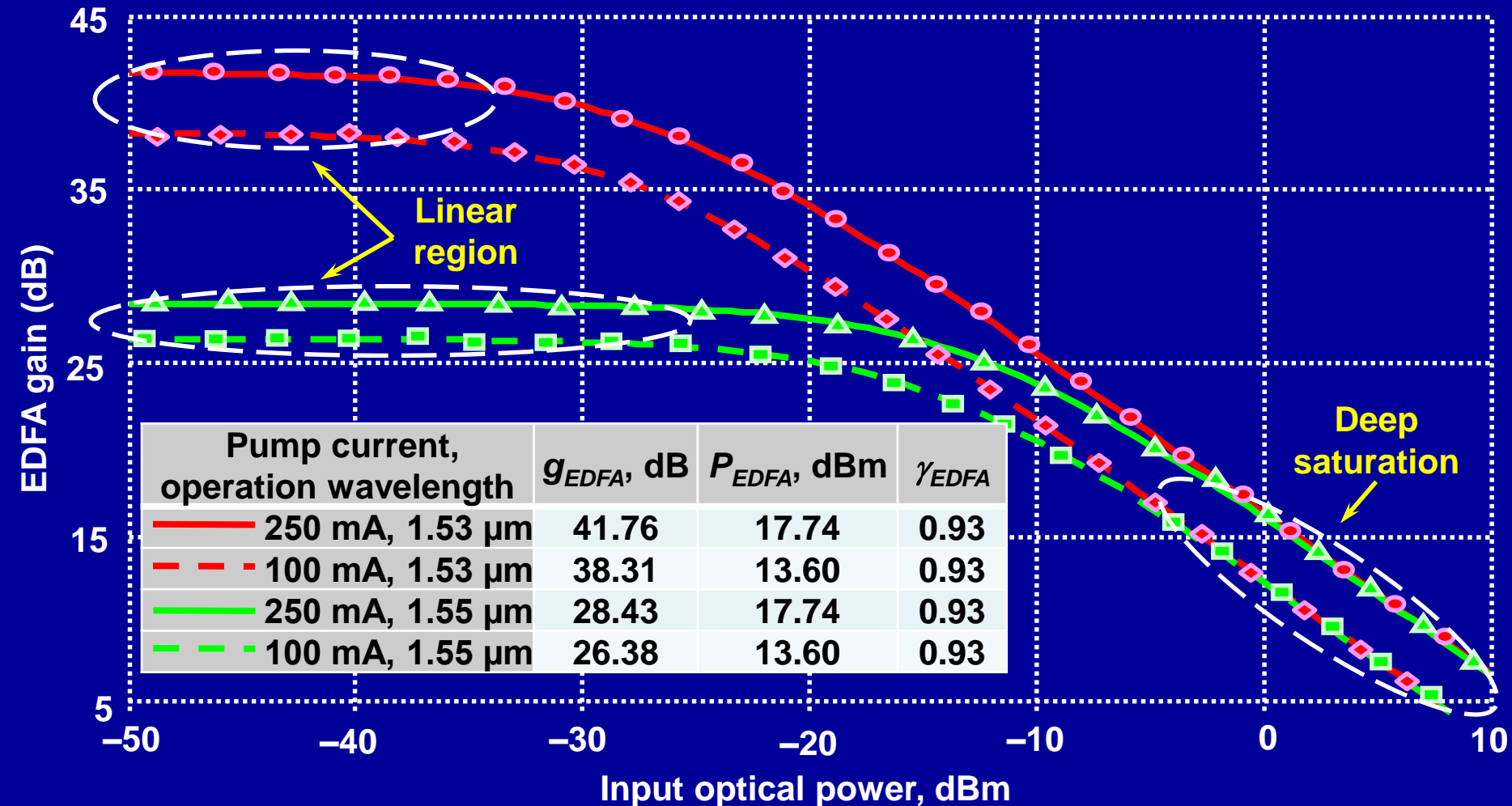
Лаборатория полупроводниковой оптоэлектроники  
Институт физики НАН Беларуси (г. Минск)

# Полностью оптическое усиление в оптоэлектронном генераторе

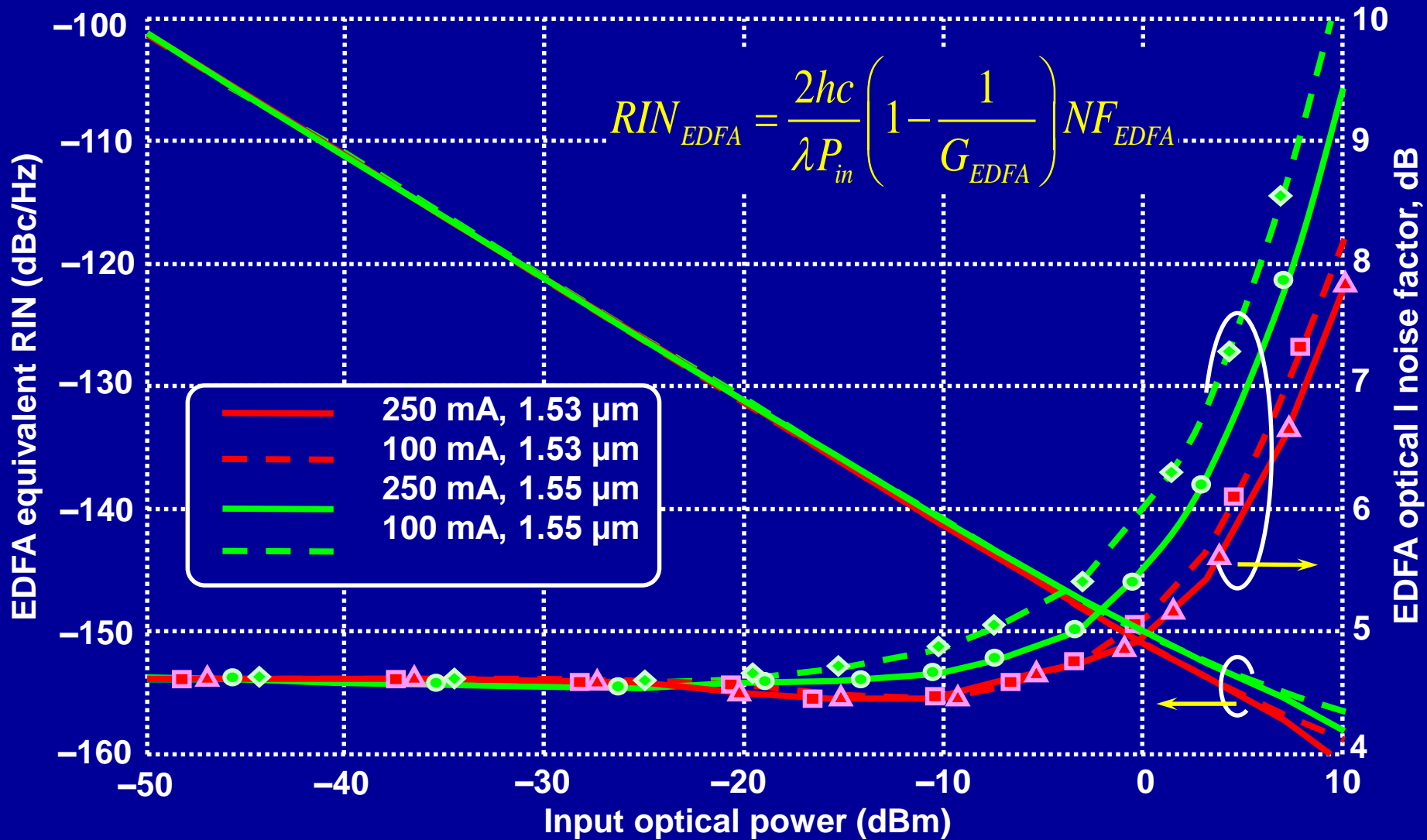


# Коэффициент усиления волоконно-оптического усилителя

$$G_{EDFA}(P_{in}, \lambda, I_p) = \frac{1}{1/g_{EDFA}(\lambda, I_p) + [P_{in}/P_{EDFA}(I_p)]^{\gamma_{EDFA}}} \Leftrightarrow G_{EDFA} = \frac{P_{EDFA}}{P_{in}} = \frac{P_{total} - P_{ASE}}{P_{in}}$$



# Шум флуктуаций интенсивности оптического излучения



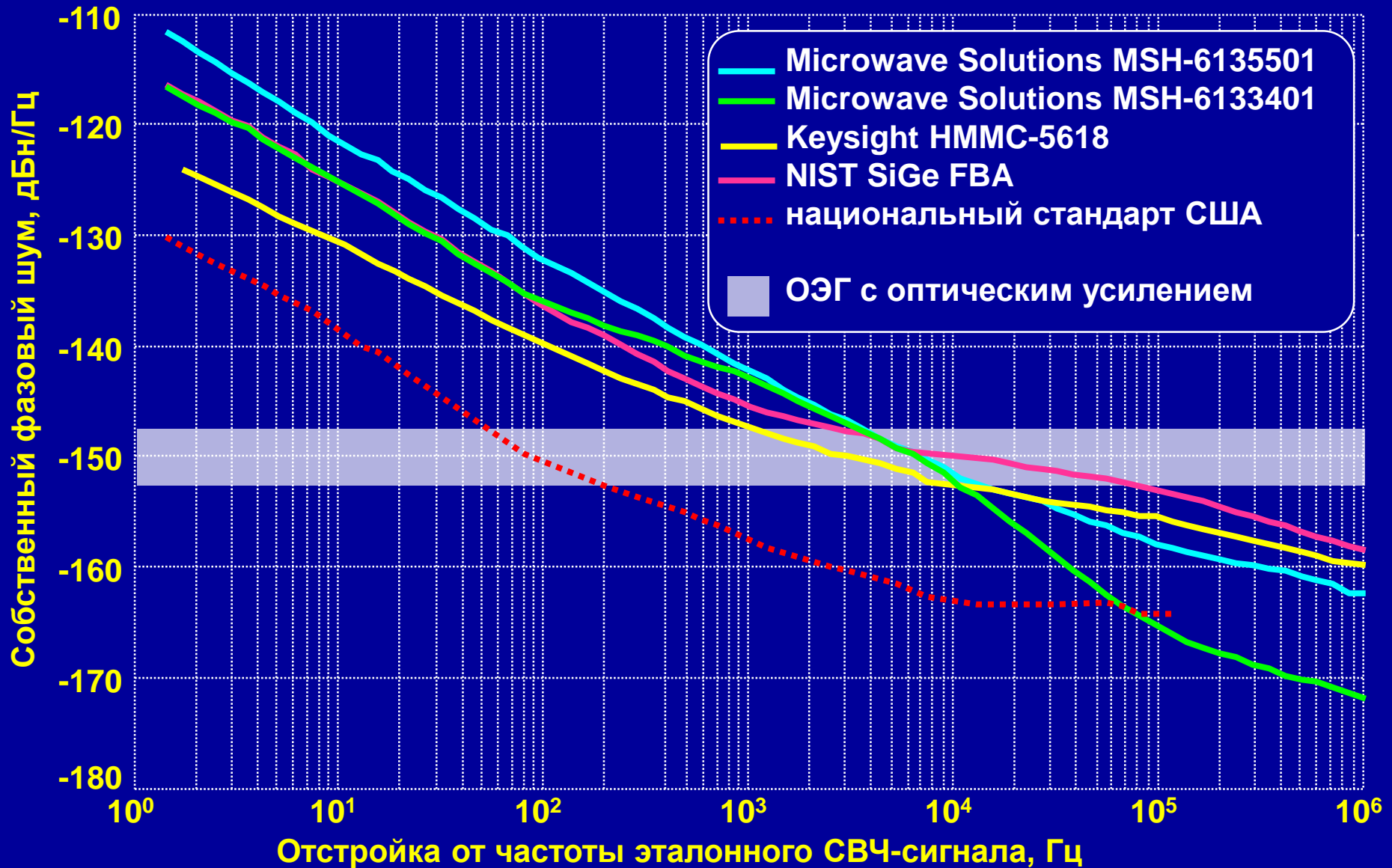
# Преимущества оптоэлектронных генераторов с полностью оптическим усилением

- оптоэлектронные генераторы являются автогенераторами
- уровень их фазового шума не зависит от частоты генерации (при условии применения оптоэлектронных компонентов с соответствующей рабочей полосой частот)
- оптоэлектронные генераторы обладают высокой устойчивостью к электромагнитным помехам, к вибрациям и ускорениям



- эквивалентные собственные шумы волоконно-оптического усилителя значительно ниже собственных шумов электронных СВЧ-усилителей
- выходной сигнал выводится с помощью волоконно-оптического разветвителя и мощного СВЧ-фотодиода, обеспечивающих полную гальваническую развязку ОЭГ с его внешней нагрузкой
- возможность реализации генератора СВЧ с множеством идентичных выходов
- возможность непосредственного распределения сигнала генерации с помощью волоконно-оптических линий

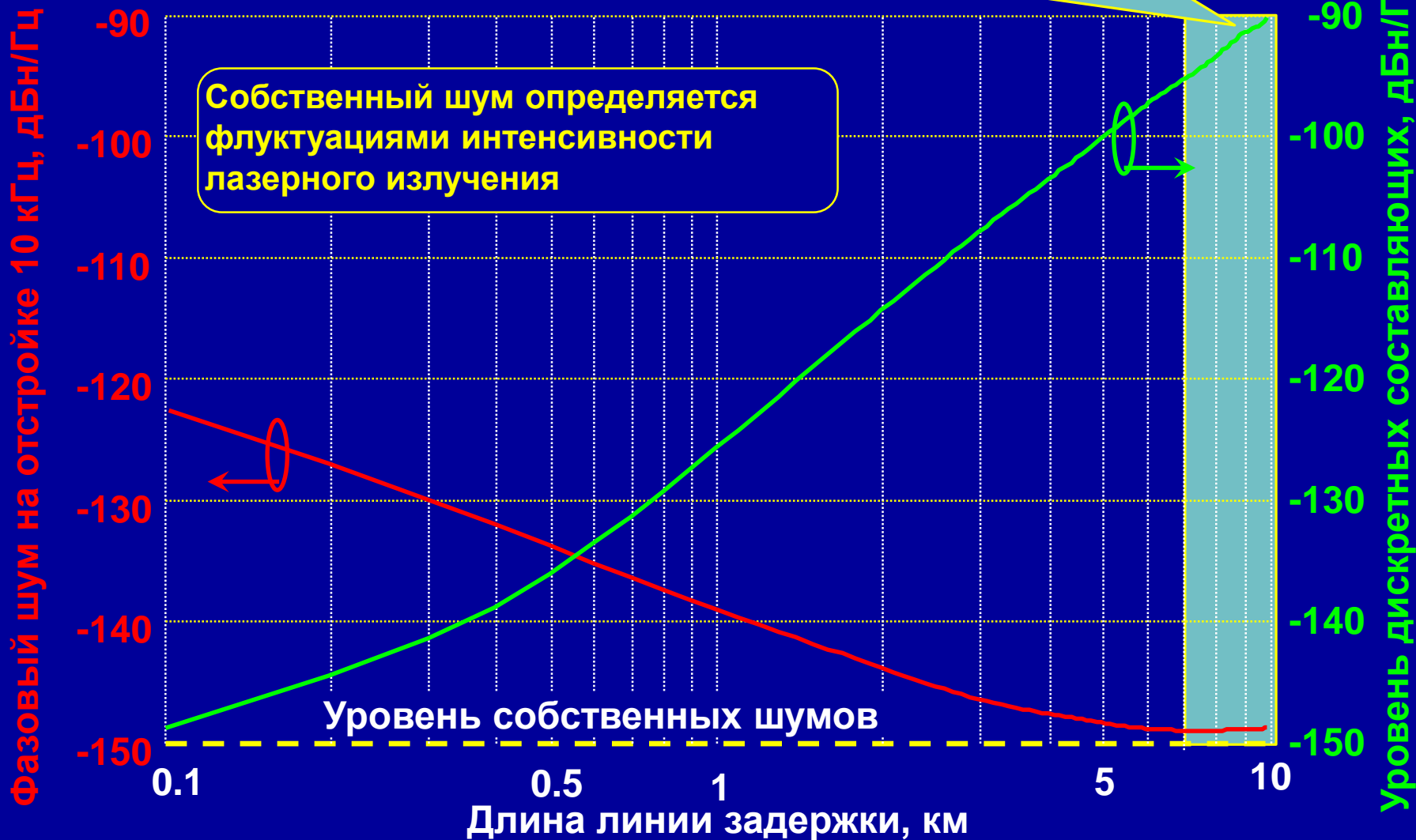
# Собственные шумы СВЧ-усилителей и ОЭГ с оптическим усилением



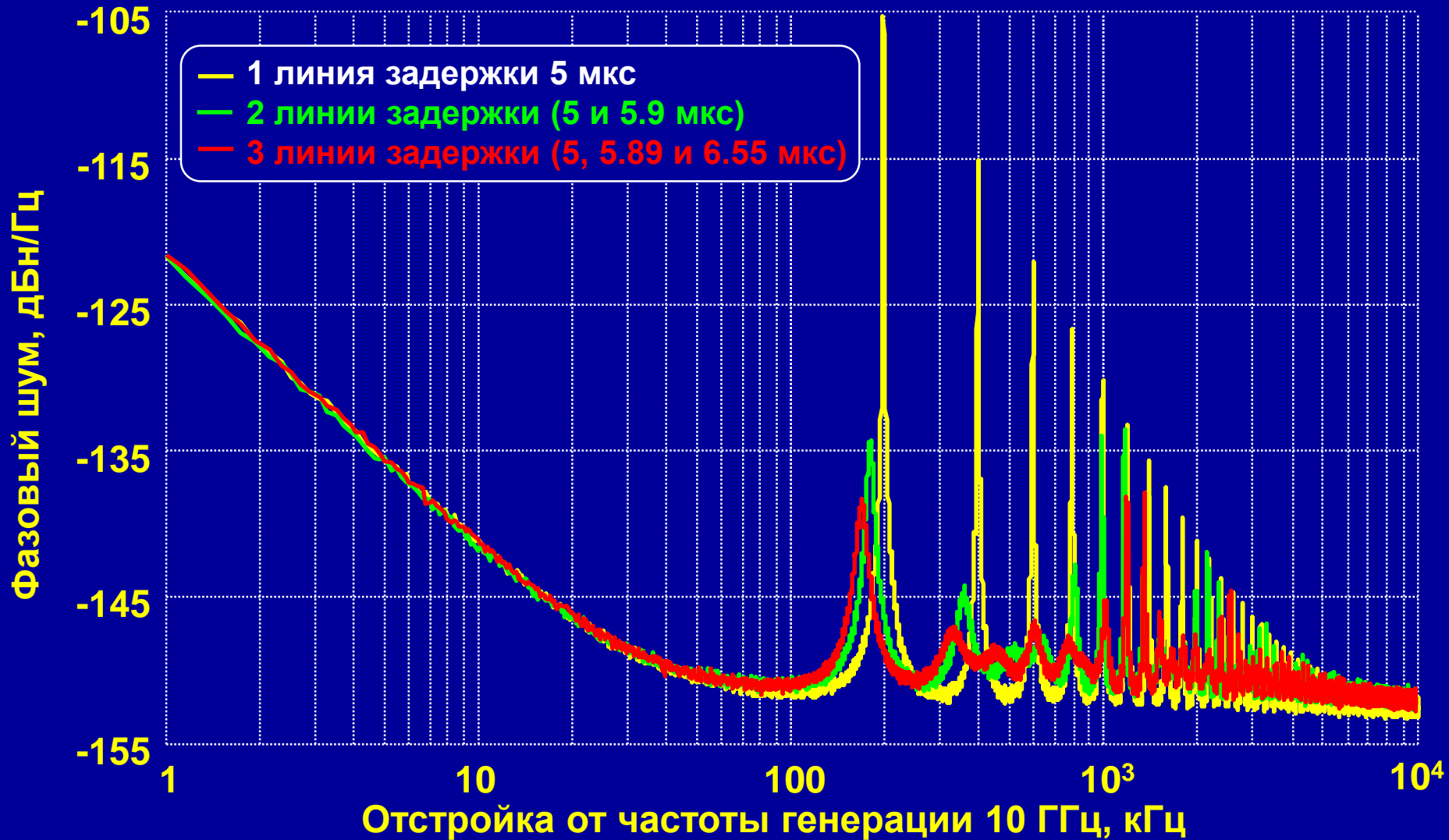
# Фазовый шум оптоэлектронного генератора СВЧ на линиях задержки с оптическим усилением

Собственный шум определяется двухкратным рассеянием Рэля в оптическом волокне

Собственный шум определяется флуктуациями интенсивности лазерного излучения



# Подавление дискретных составляющих в спектре



Снижение уровня дискретных составляющих в спектре генерации с помощью дополнительных корректирующих линий задержки



# Нелинейная нестационарная модель оптоэлектронного генератора на линиях задержки

➤ На основе метода комплексных медленноменяющихся амплитуд разработана нелинейная нестационарная модель оптоэлектронного генератора СВЧ на линиях задержки, учитывающая распределенные шумы с неравномерной спектральной плотностью мощности и нелинейности компонентов генератора, нестационарность взаимодействия сигнала генерации с шумовыми составляющими в спектре и внешние динамические и параметрические воздействия на генератор. Модель позволяет рассчитывать спектр сигнала генерации, переходные характеристики, фазовый и амплитудный шумы оптоэлектронного генератора СВЧ.

➤ Создано прикладное программное обеспечение, позволяющее проводить численный анализ режимов работы и характеристик оптоэлектронных генераторов СВЧ при внешних воздействиях температуры, ускорения и электромагнитного излучения.

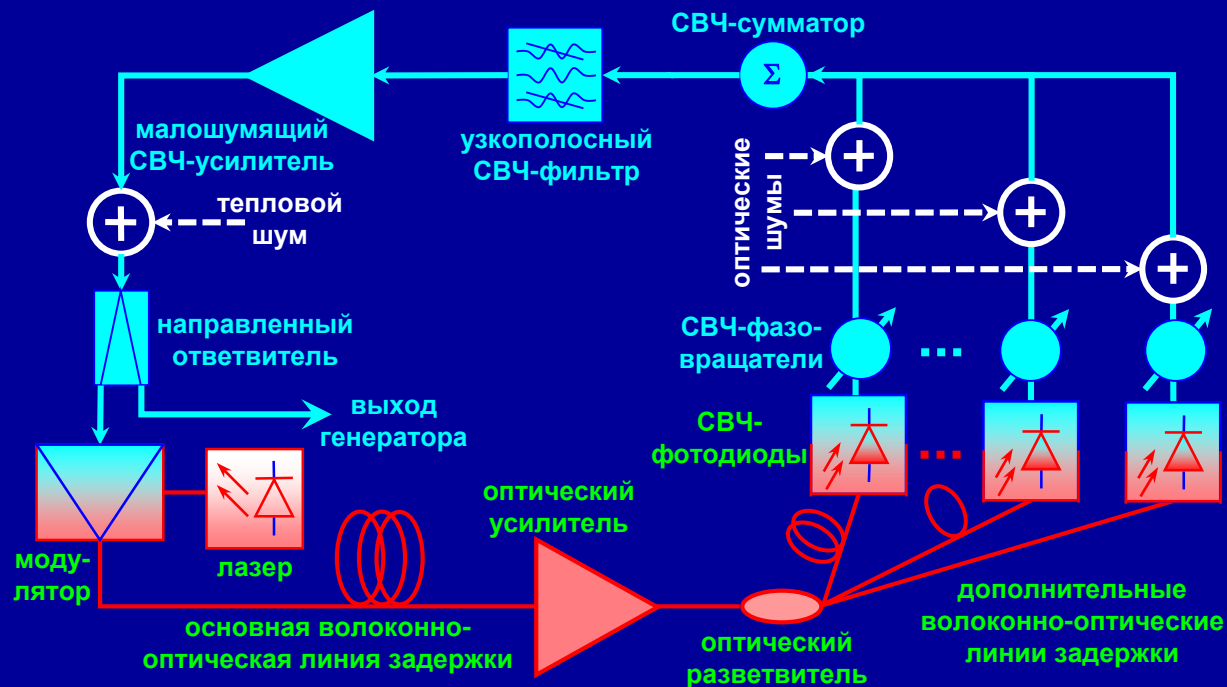
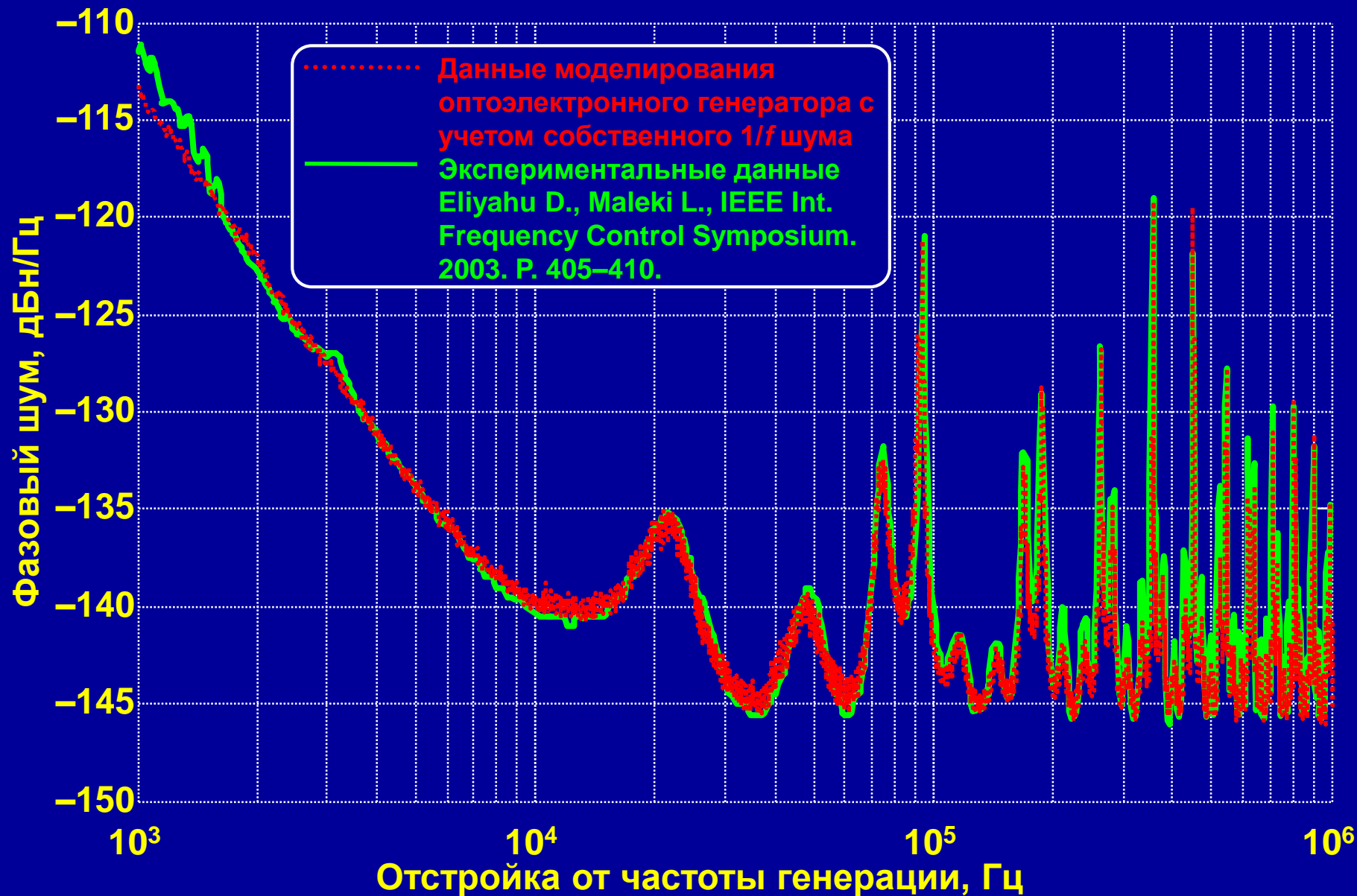
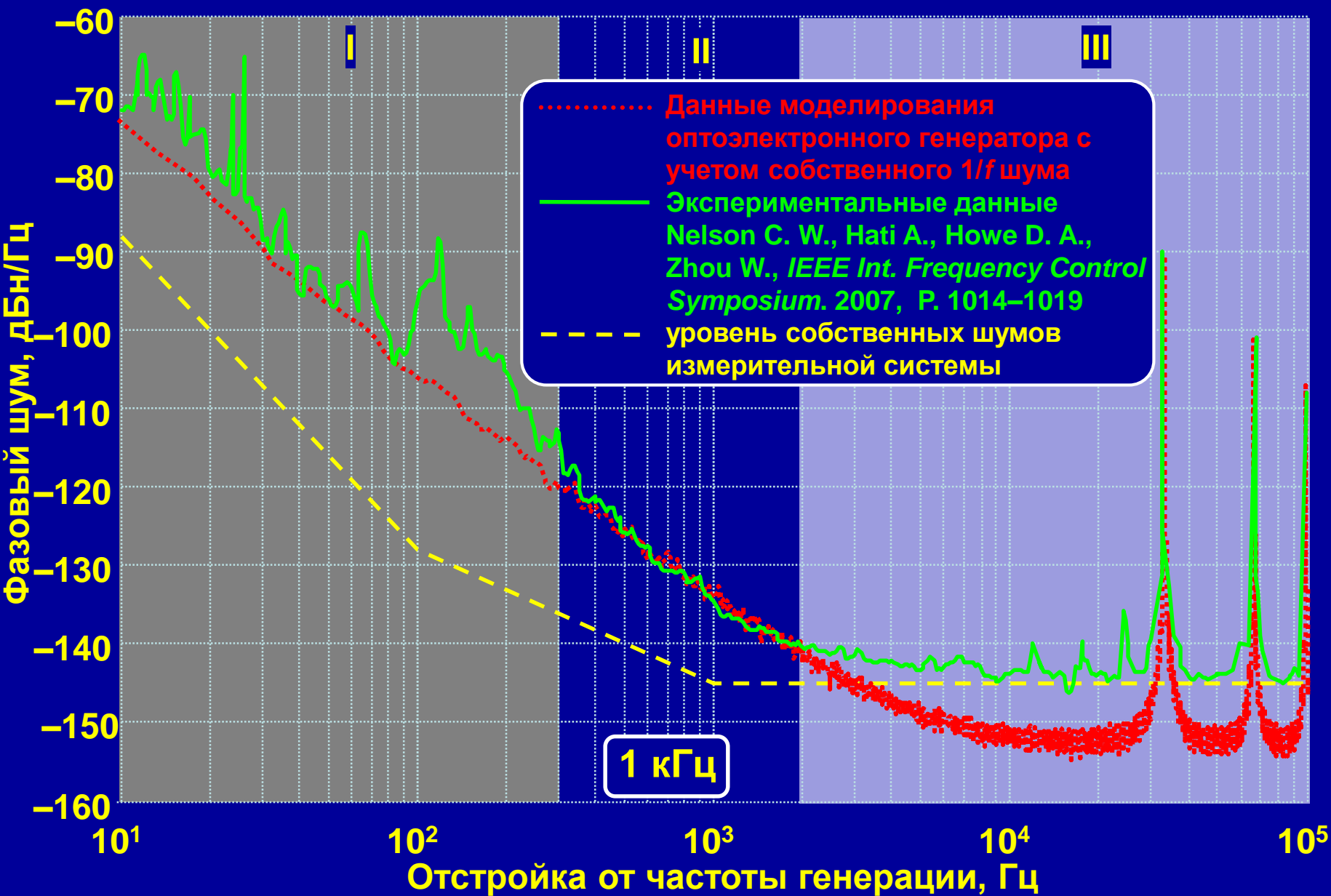


Схема моделирования оптоэлектронного генератора СВЧ на линиях задержки

# Верификация: оптоэлектронный генератор с электронным усилением

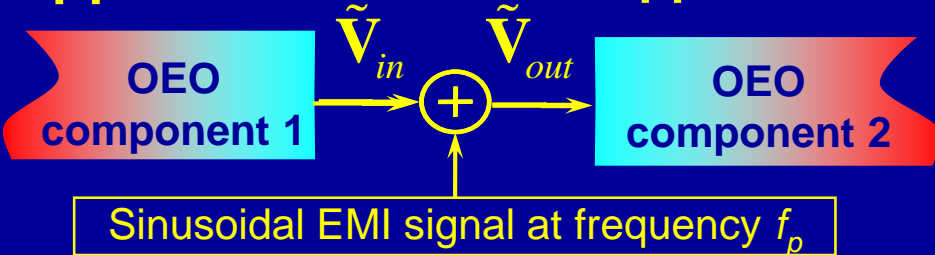


# Верификация: оптоэлектронный генератор с оптическим усилением



# Моделирование внешних воздействий

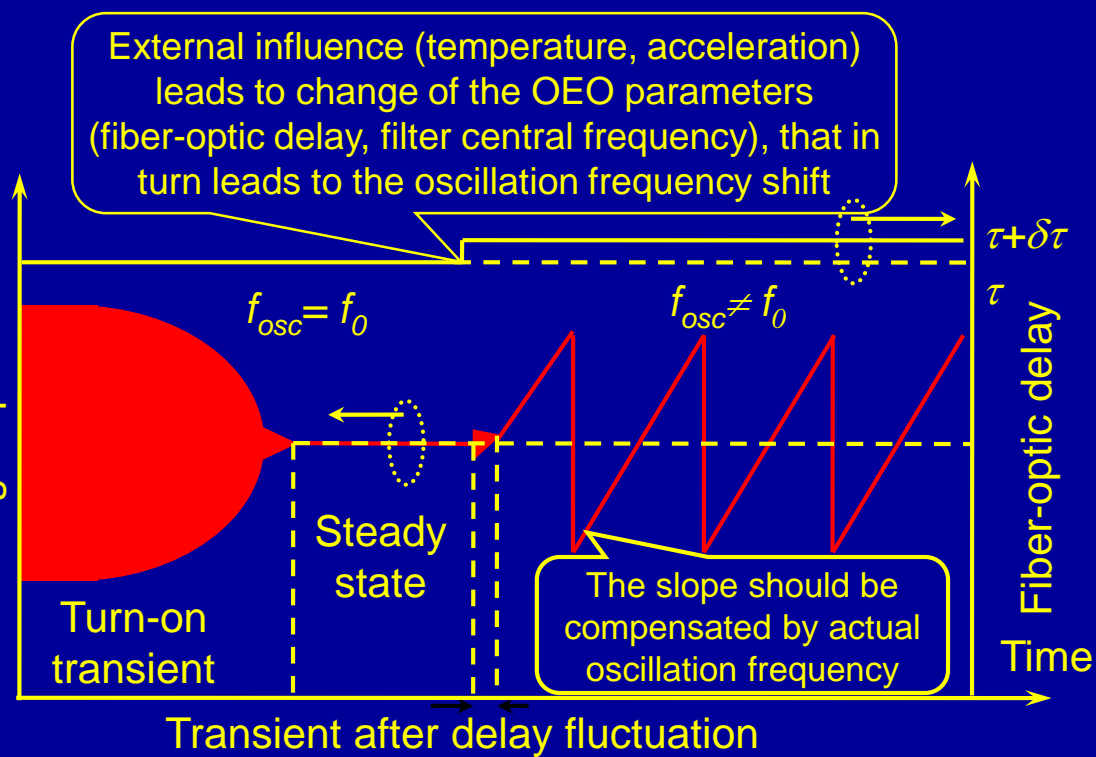
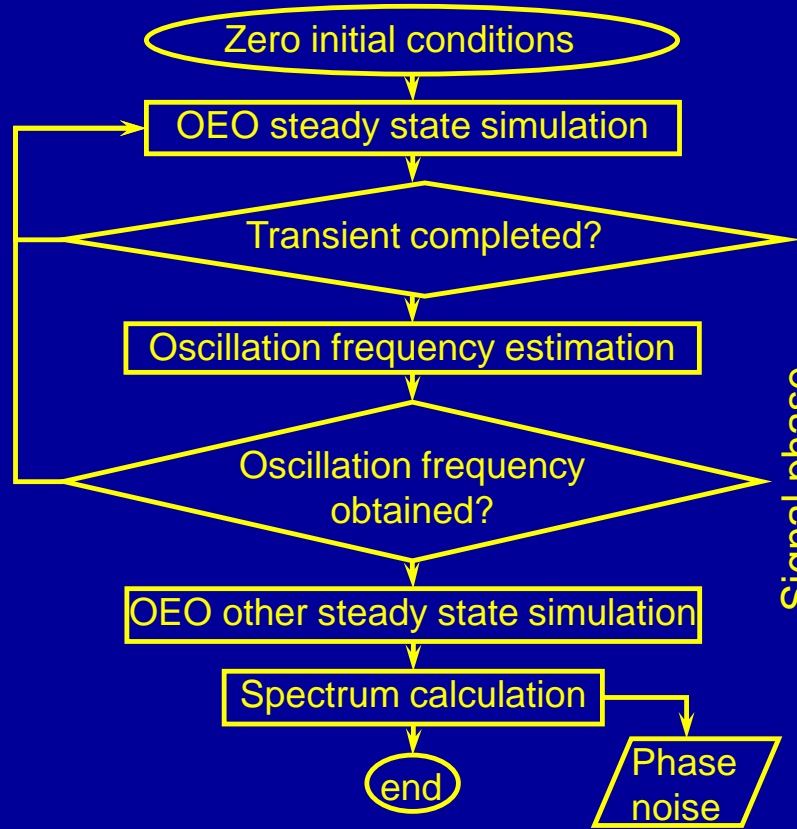
## Динамические воздействия (электромагнитные помехи)



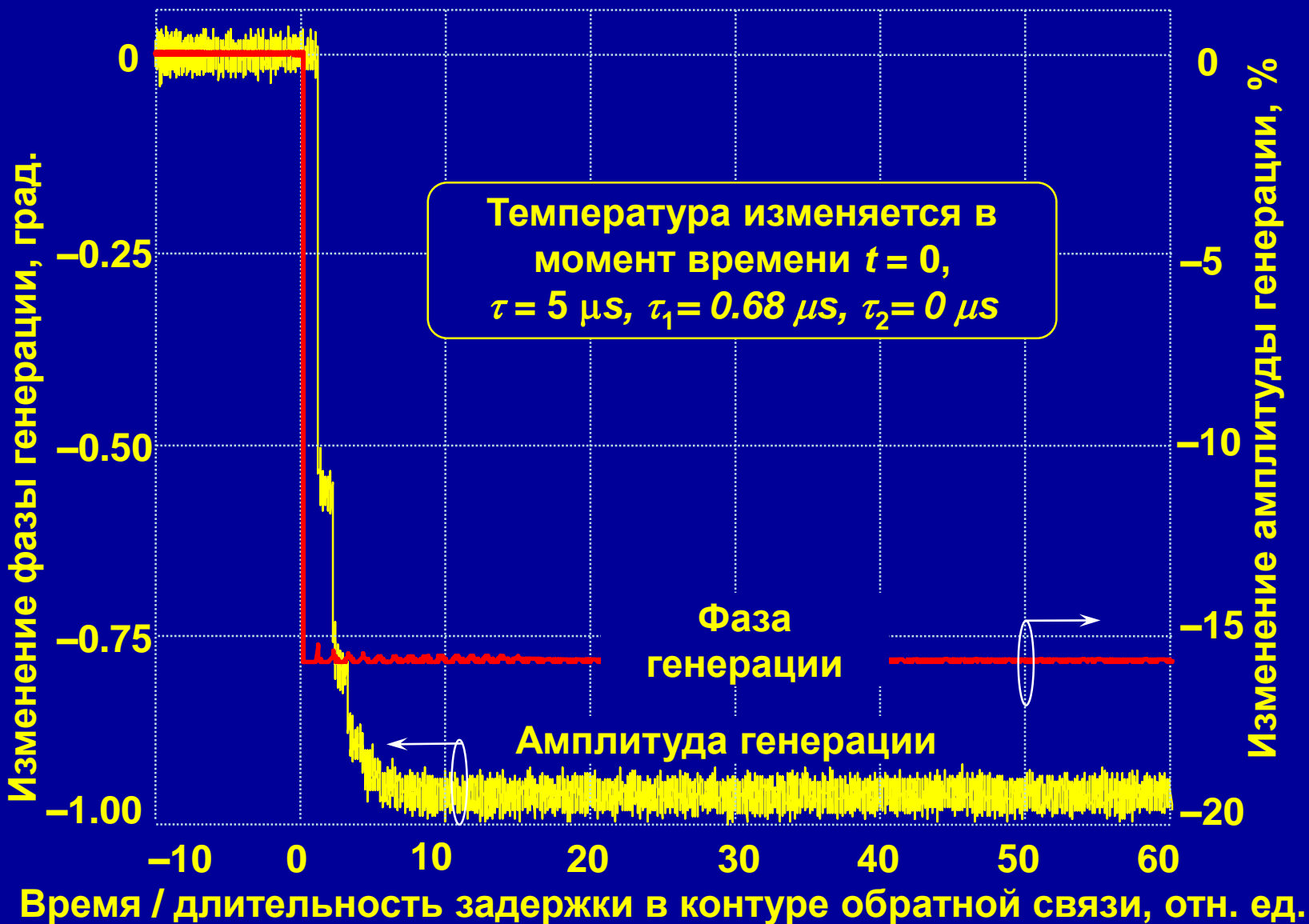
$$\tilde{V}_{out}(t) = \tilde{V}_{in}(t) + e^{j(f_p - f_{osc})t + j\phi_{EMI}} V_{EMI}$$

injection level:  $\eta_{EMI} = \left( V_{EMI} / |\tilde{V}_{in}| \right)^2$

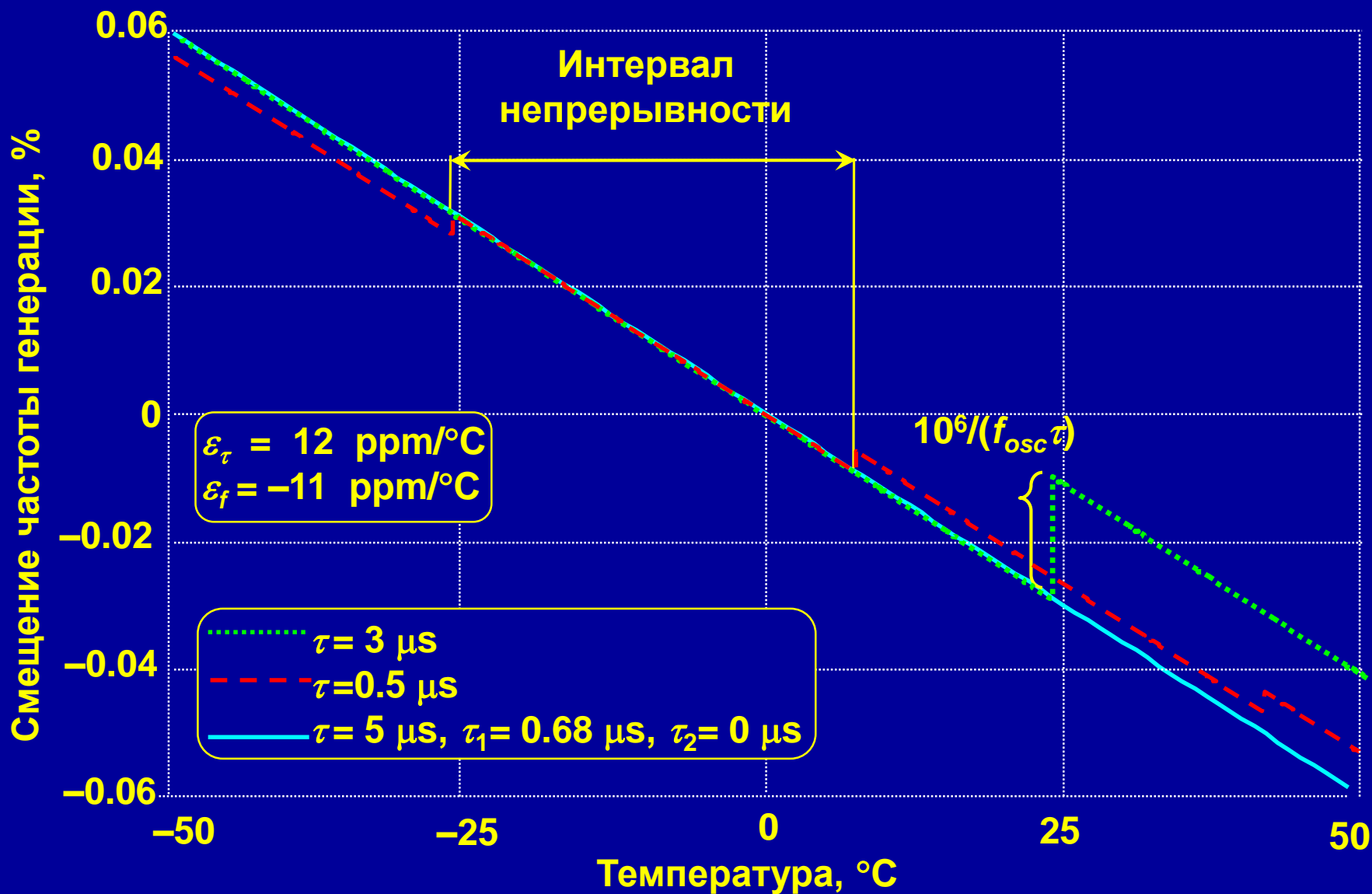
## Параметрические воздействия (температура, ускорение)



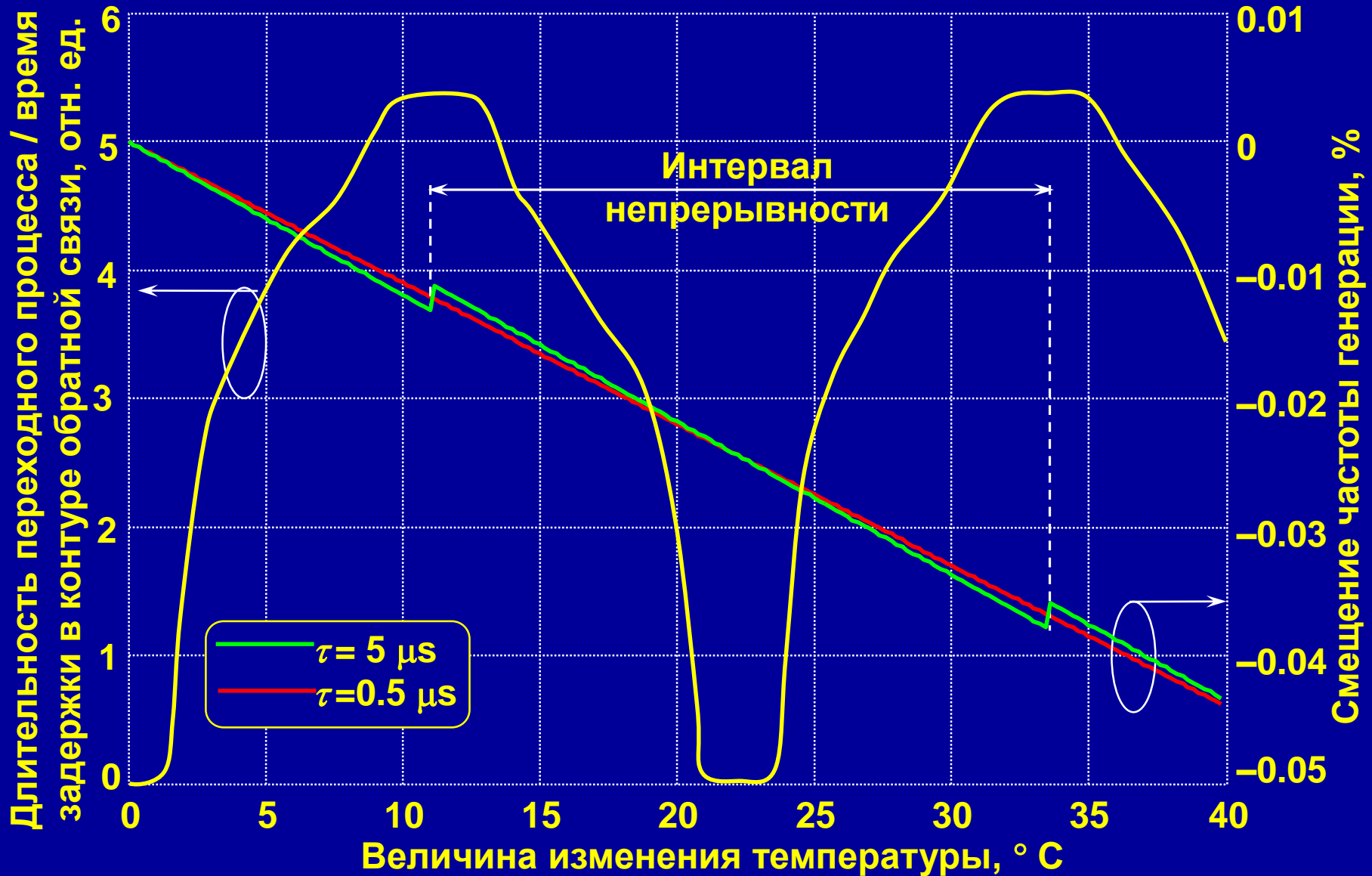
# Переходные процессы при изменении температуры



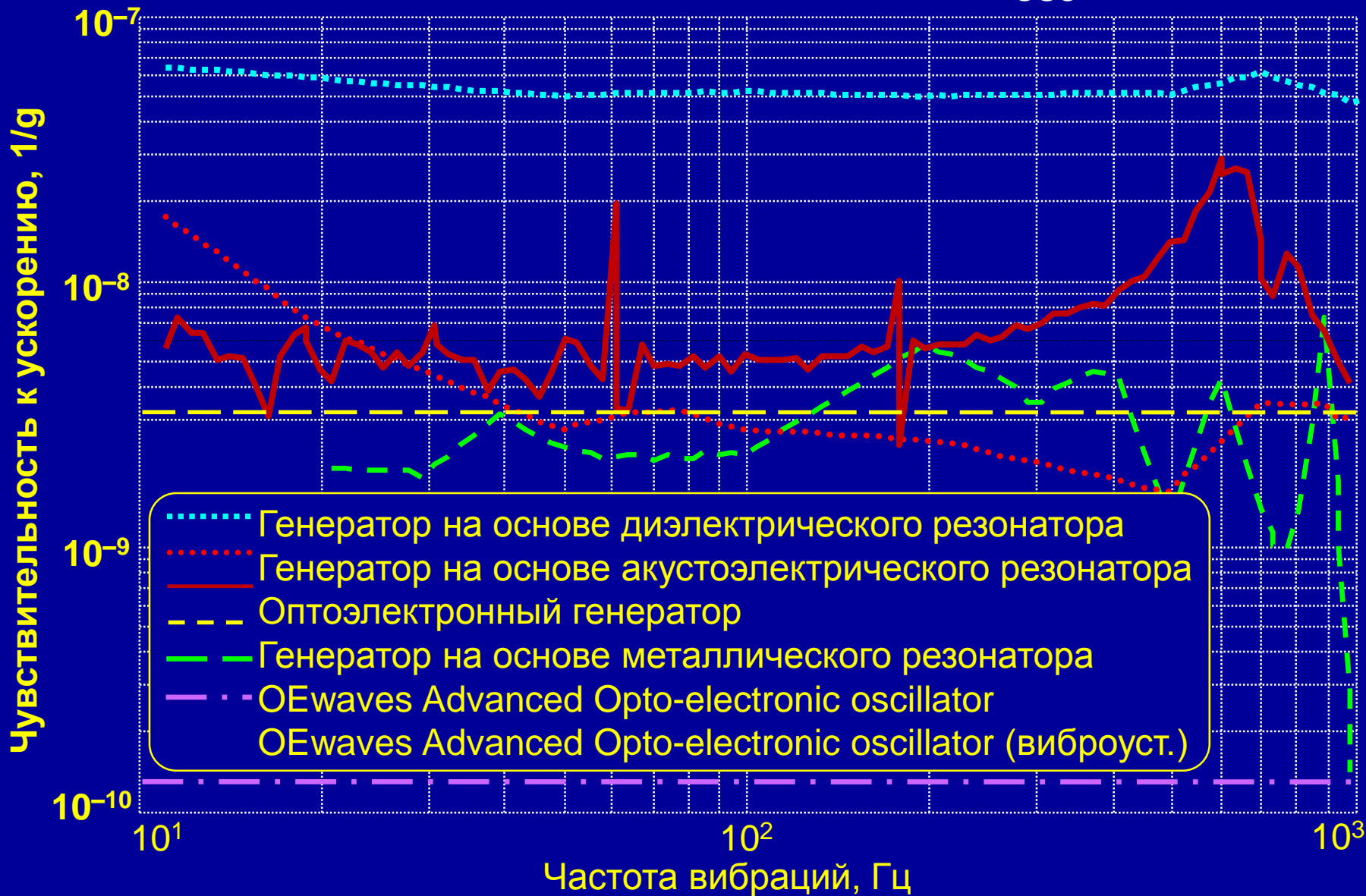
# Смещение частоты генерации при изменении температуры



# Длительность переходных процессов при изменении температуры



# Чувствительность различных типов генераторов СВЧ к вибрации ( $f_{osc}=10$ ГГц)

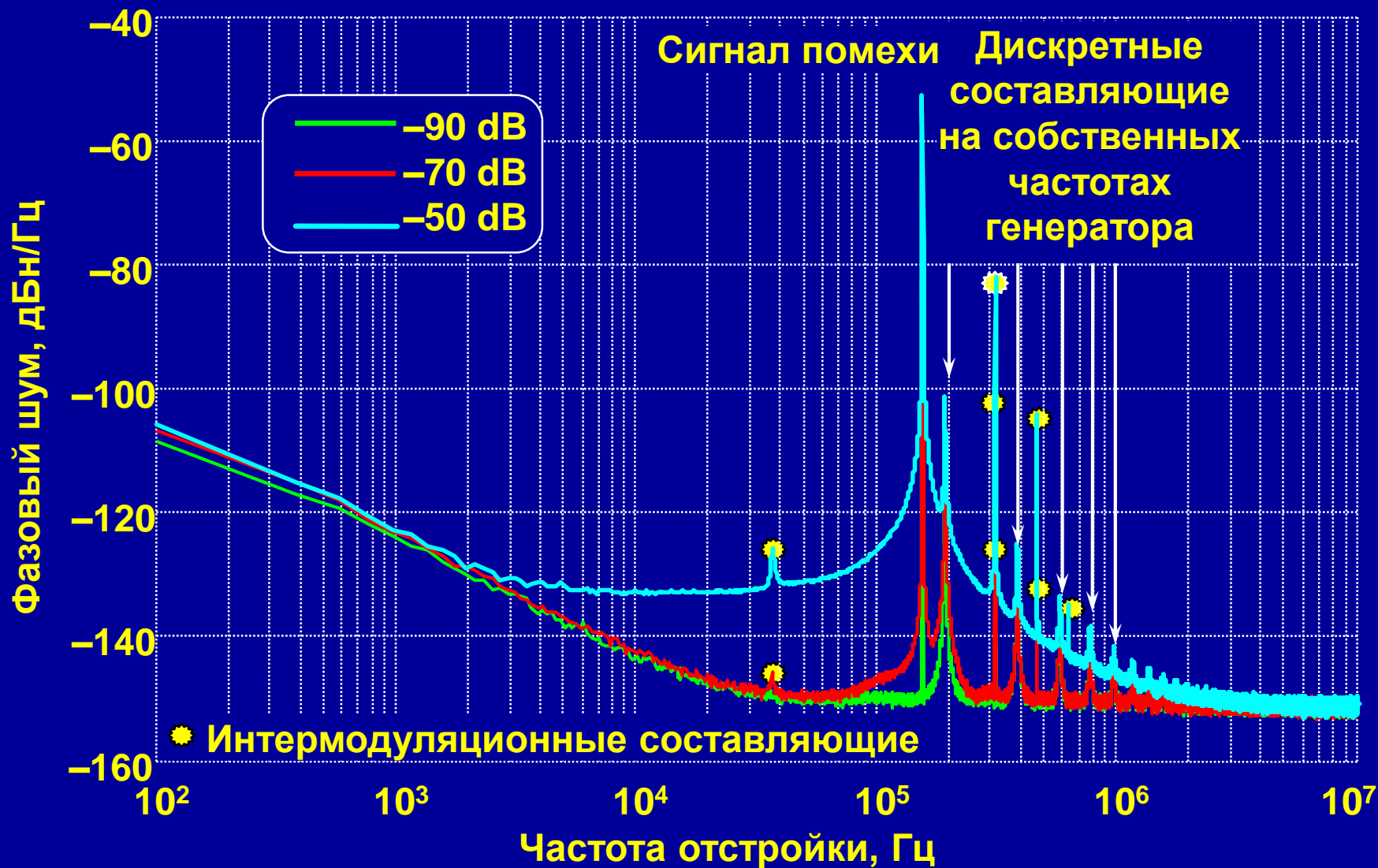




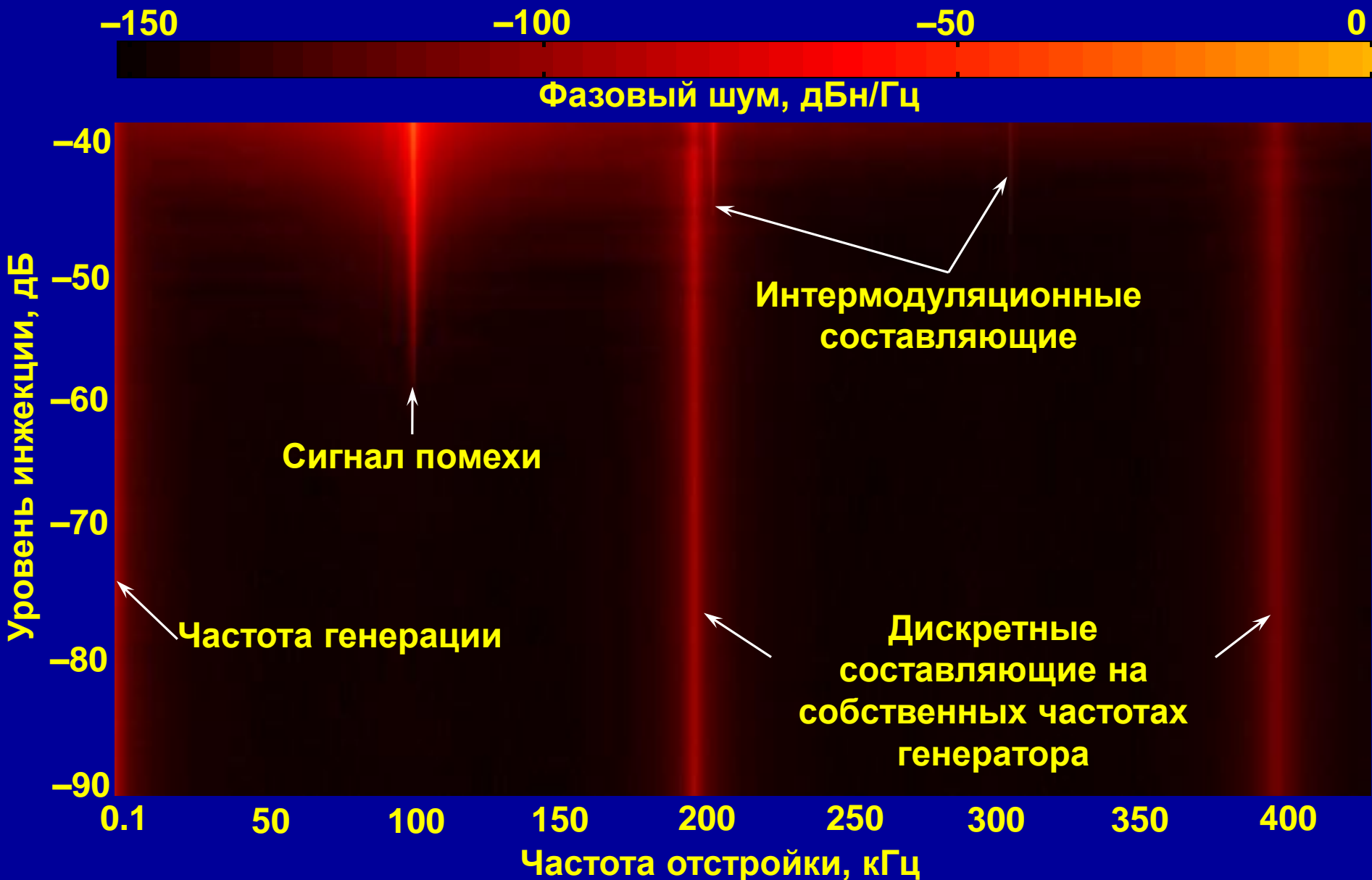
# Влияние вибраций на оптоэлектронные генераторы СВЧ на линиях задержки



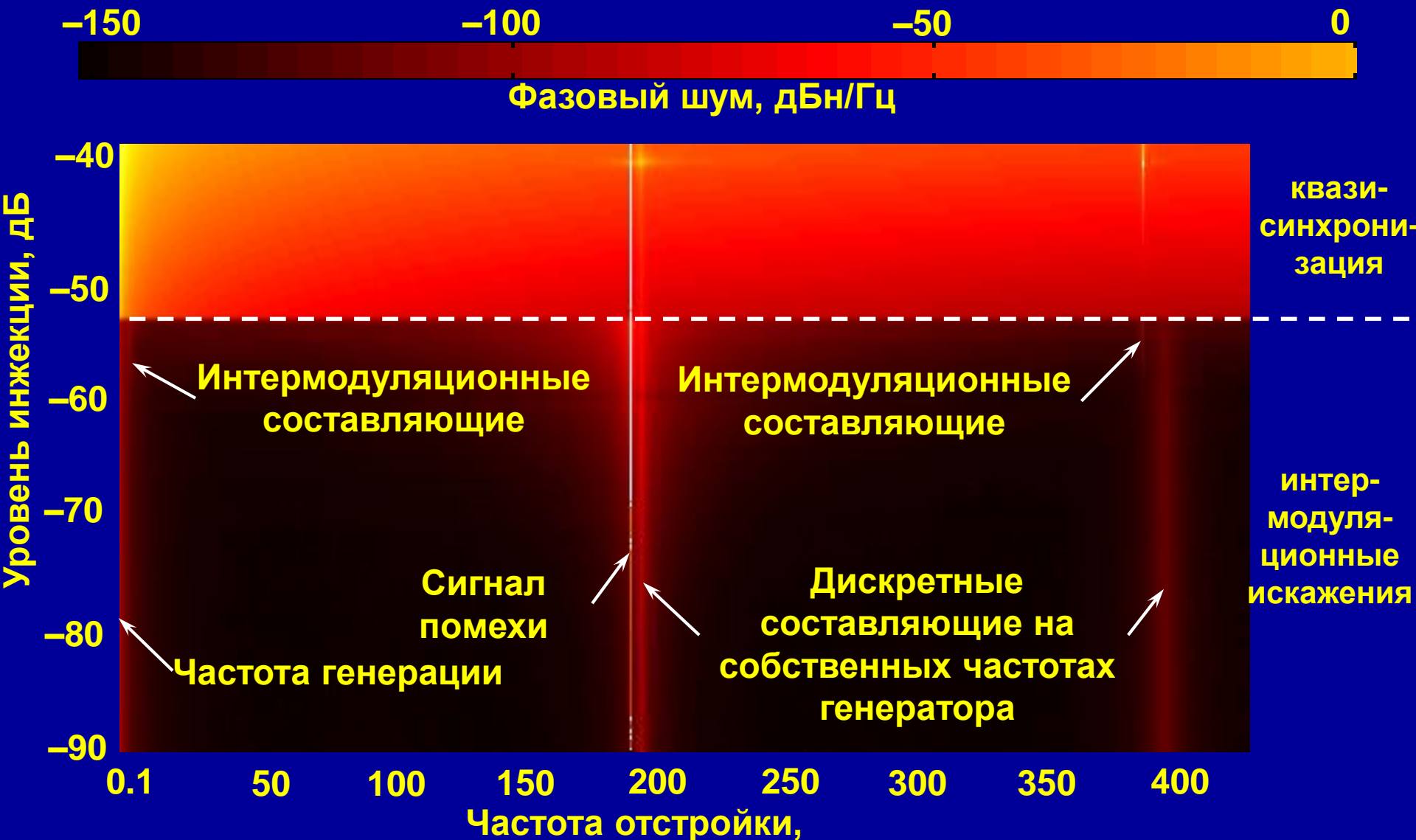
# Эволюция спектра генерации при увеличении мощности электромагнитной помехи



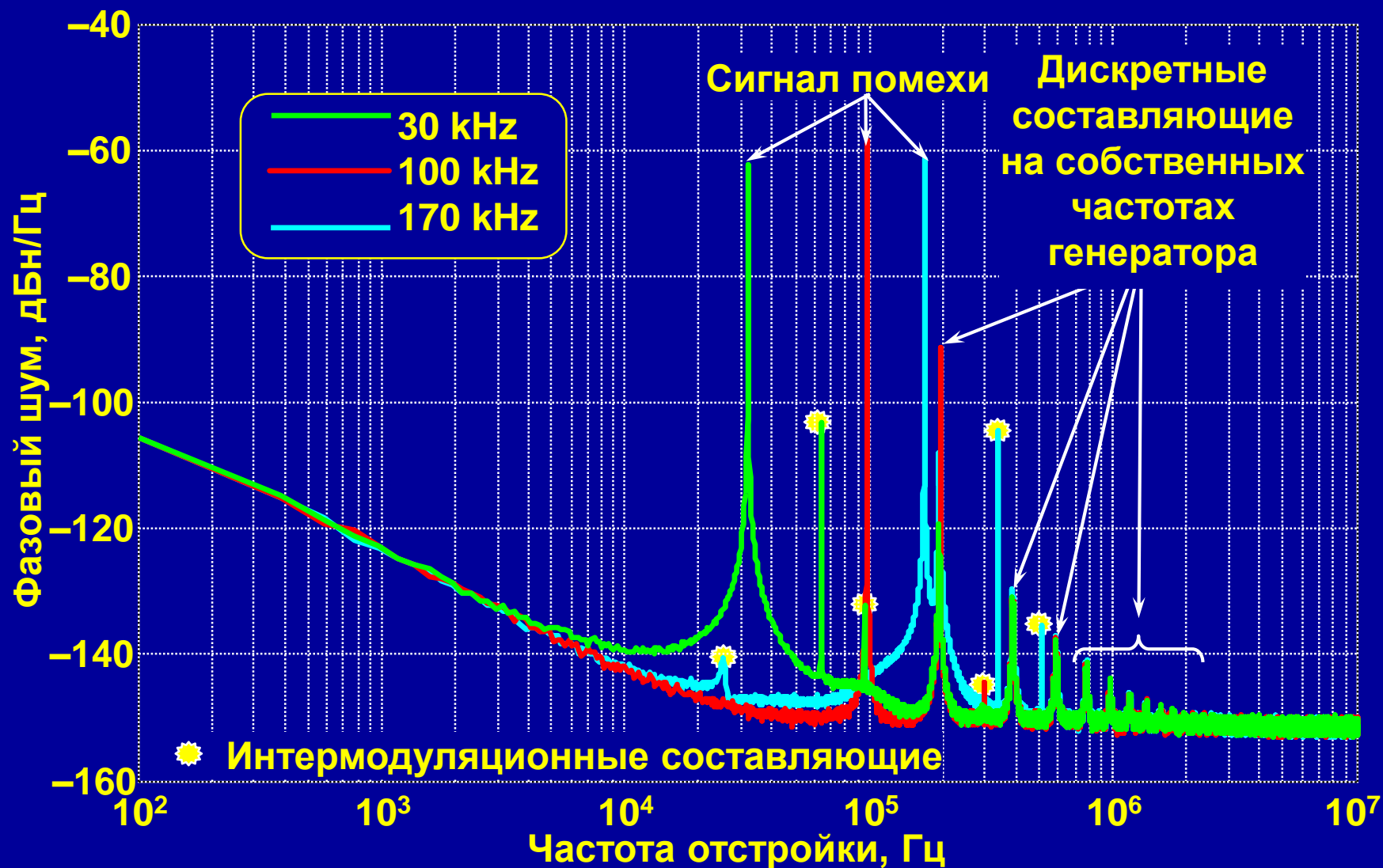
# Эволюция спектра генерации при увеличении мощности электромагнитной помехи



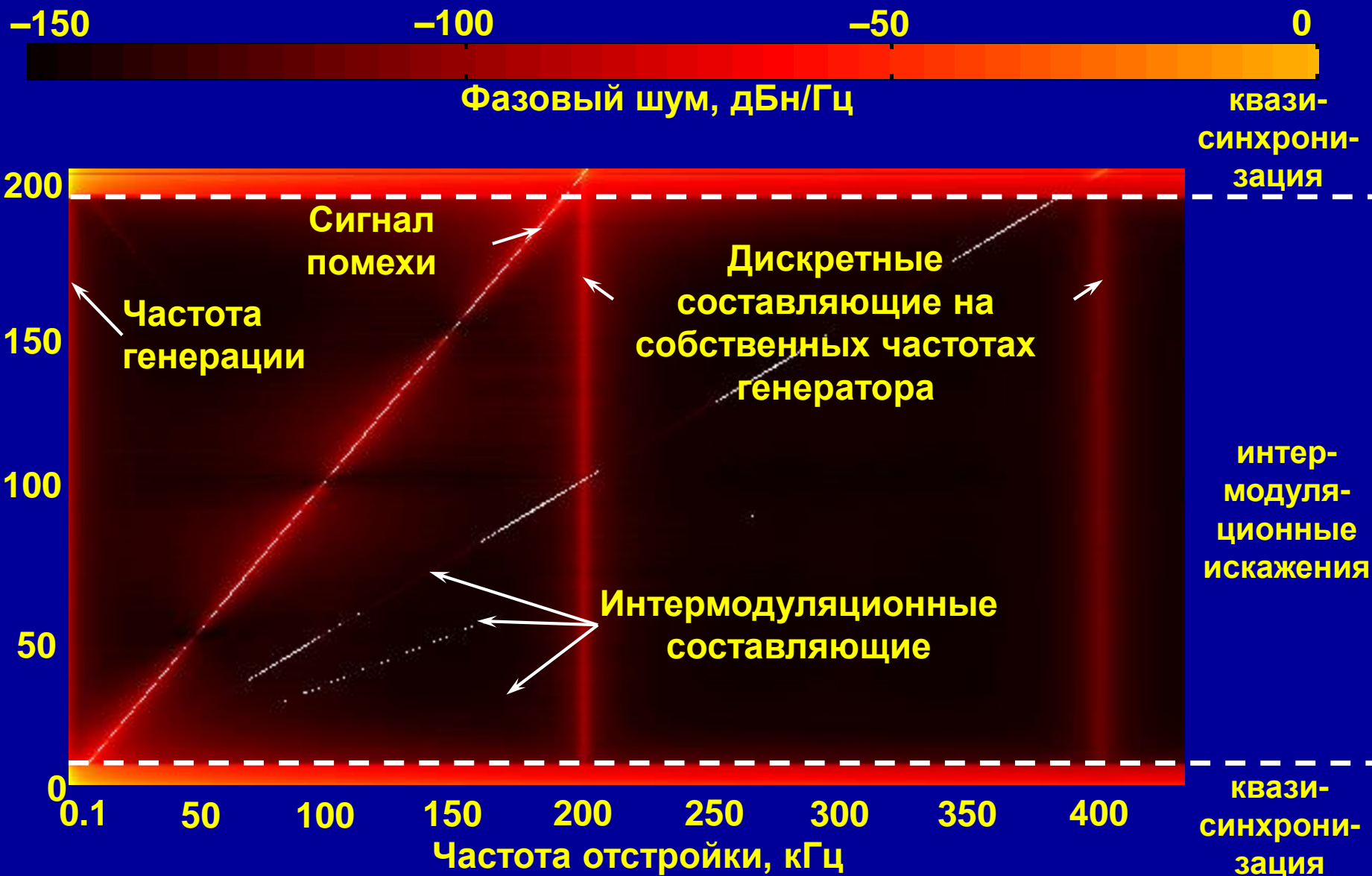
# Эволюция спектра генерации при увеличении мощности электромагнитной помехи



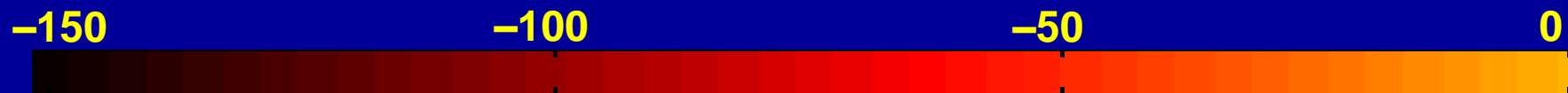
# Эволюция спектра генерации при увеличении разности частоты генерации и помехи



# Эволюция спектра генерации при увеличении разности частоты генерации и помехи

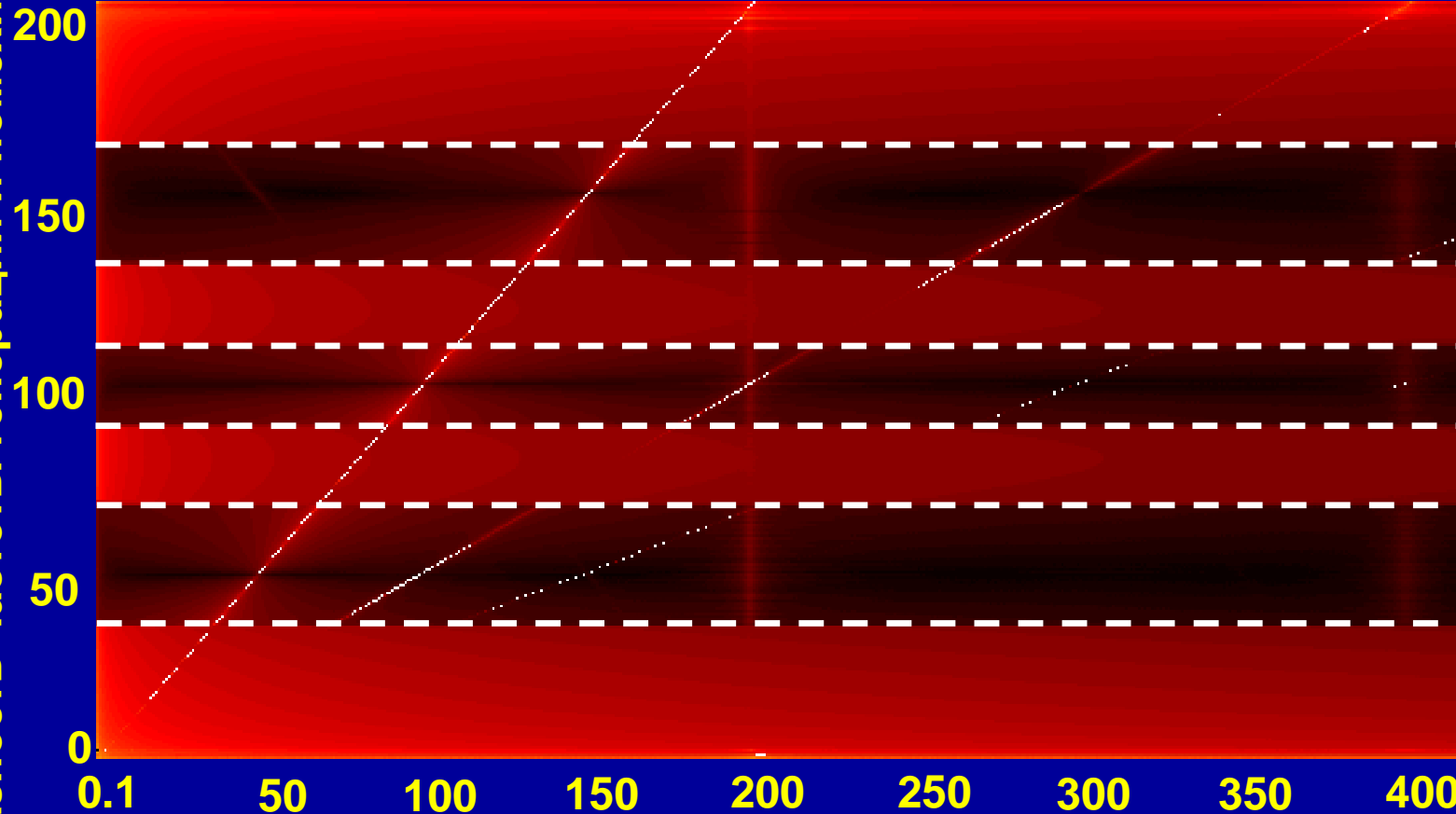


# Эволюция спектра генерации при увеличении разности частоты генерации и помехи



Фазовый шум, дБн/Гц

Разность частоты генерации и помехи, кГц



квази-синхронизация

I

II

I

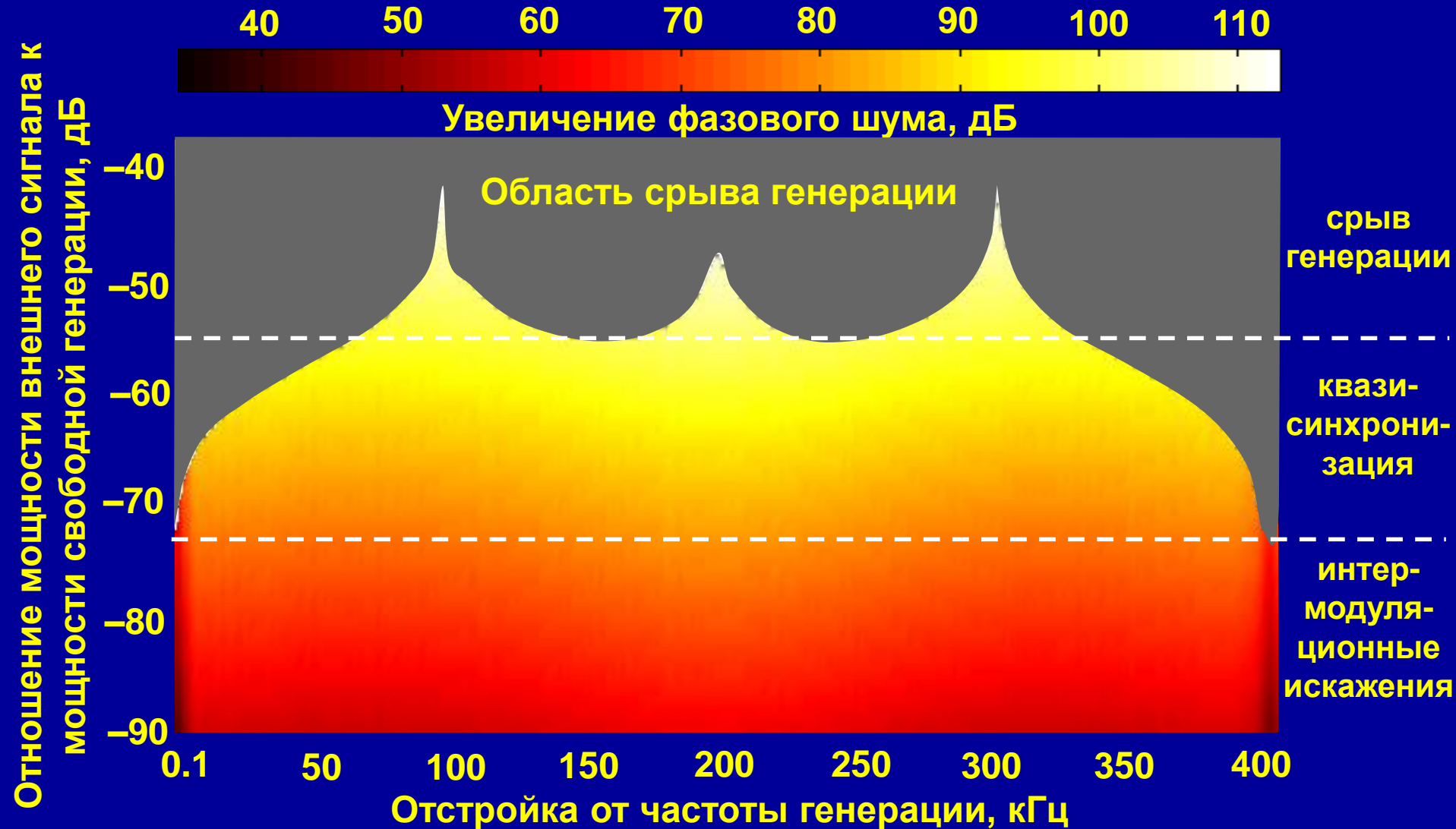
II

I

квази-синхронизация

Частота отстройки, кГц

# Увеличение фазового шума на частоте паразитного СВЧ-сигнала помехи

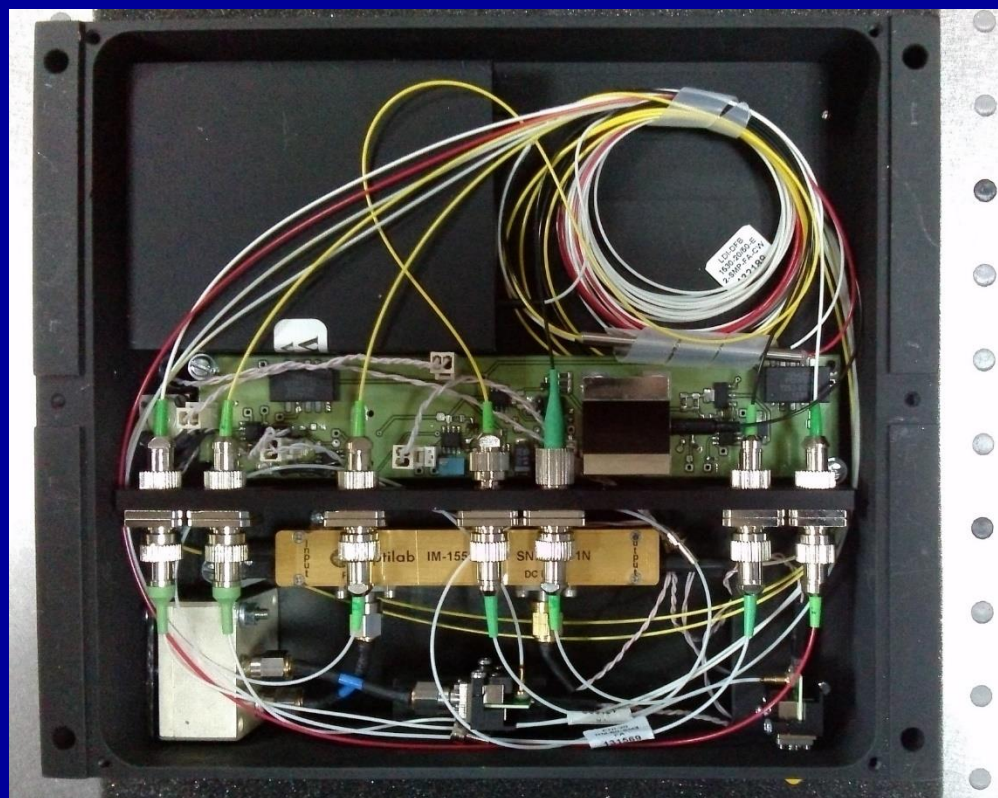




# Макет оптоэлектронного генератора СВЧ на линиях задержки с полностью оптическим усилением

Разработана конструкция оптоэлектронного генератора СВЧ с полностью оптическим усилением, обеспечивающая генерацию на фиксированной частоте в диапазоне от 2 до 40 ГГц с фазовым шумом ниже  $-130$  дБн/Гц на отстройке 10 кГц от несущей и уровнем дискретных составляющих в спектре сигнала генерации  $-110$  дБн/Гц при мощности генерации более 10 мВт, что дает возможность более чем на порядок расширить динамический диапазон современных систем радиолокации и измерительной СВЧ-техники.

Изготовлен макет и проведены предварительные исследования оптоэлектронного генератора СВЧ на линиях задержки с полностью оптическим усилением для систем радиолокации и измерительной СВЧ-техники.



# Заключение

- Чувствительность к ускорению не зависит от частоты вибрации, от спектральной плотности мощности ускорения, длительности задержки и уровня фазового шума в оптоэлектронном генераторе, и является постоянной величиной для конкретного генератора, определяемой упругими свойствами волоконно-оптической линии задержки в составе контура обратной связи. Таким образом, снижение чувствительности генератора к вибрации достигается оптимизацией конструкции волоконно-оптической катушки.
- Изменение температуры оптоэлектронного генератора при условии однородности температурного поля в объеме основной и дополнительных линий задержки приводит к смещению частоты генерации относительно исходного значения, причем смещение частоты генерации относительно центральной частоты СВЧ-фильтра не превышает половины расстояния между собственными частотами, вследствие чего фазовый шум и уровень дискретных составляющих изменяется не более чем на 1 дБ.
- Воздействие электромагнитных помех приводит к интермодуляционным искажениям в спектре или срыву квазигармонической генерации. Срыв генерации возникает из-за синхронизации внешним сигналом электромагнитной помехи, мощность которого на входе волоконно-оптической линии задержки составляет от – 75 дБ до – 55 дБ от мощности свободной генерации в зависимости от разности частоты помехи и ближайшей собственной частоты оптоэлектронного генератора.

**Спасибо за внимание**