



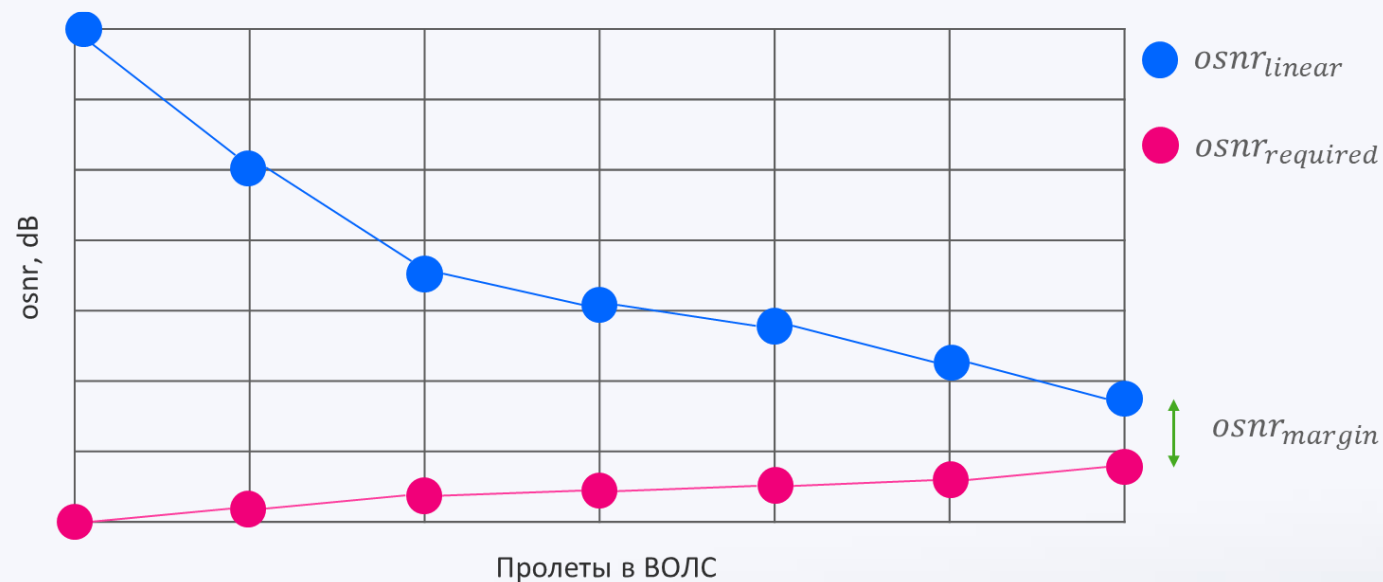
Компания T8

Автоматизированное проектирование оптических линий СВЯЗИ

Дмитрий Старых

Руководитель
научно-исследовательского отдела

ООО «Т8», Москва, info@t8.ru, t8.ru



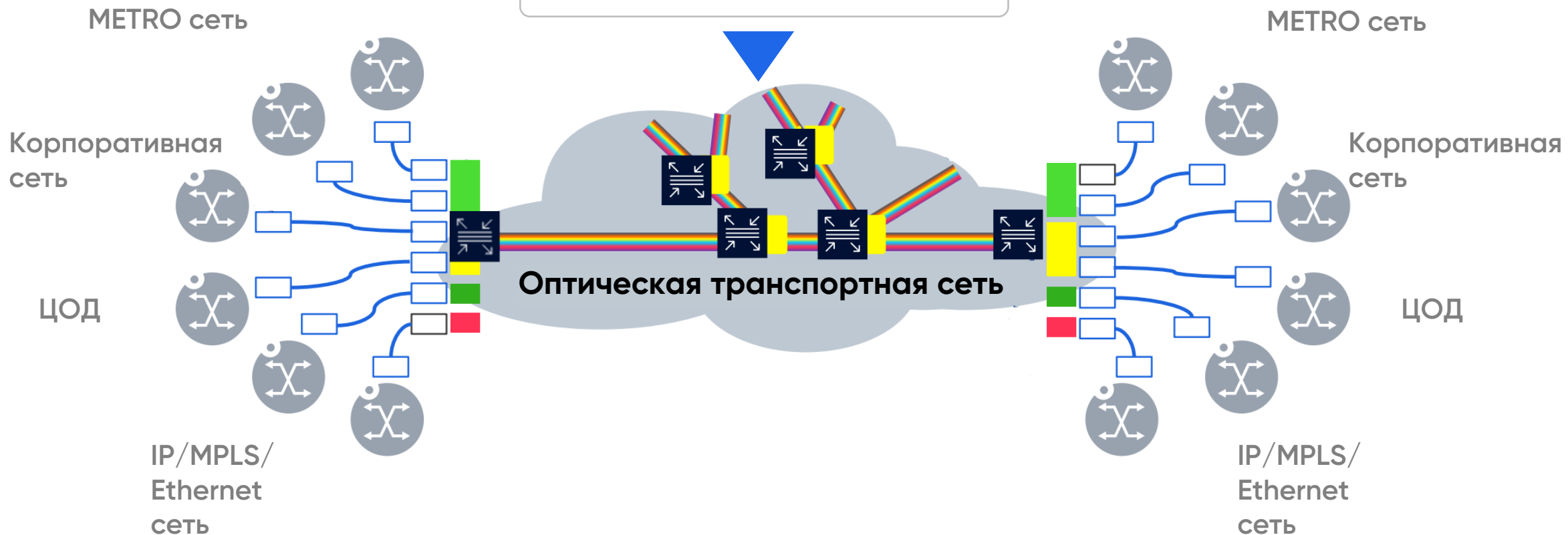
Вызовы и задачи



Вызовы и задачи

Новые технологии:

- Интернет вещей (IoT)
- Сети доставки контента (CDN)
- Мобильные сети 5G
- Искусственный интеллект (AI) + облачные технологии



Вызовы и задачи



Новые технологии:

- Интернет вещей (IoT)
- Сети доставки контента (CDN)
- Мобильные сети 5G
- Искусственный интеллект (AI) + облачные технологии



Жизненный цикл ВОЛС

Основные задачи проектирования:

- Подобрать оптимальную схему агрегации клиентских интерфейсов. Подобрать линейные карты
- Определить схемы защиты (опционально)
Предложить дизайн оптического тракта
- Подобрать оптимальные настройки устройств оптического тракта
- Оптимизировать стоимость



Жизненный цикл ВОЛС

Основные задачи проектирования:

- Подобрать оптимальную схему агрегации клиентских интерфейсов. Подобрать линейные карты
- Определить схемы защиты (опционально)
Предложить дизайн оптического тракта
- Подобрать оптимальные настройки устройств оптического тракта
- Оптимизировать стоимость

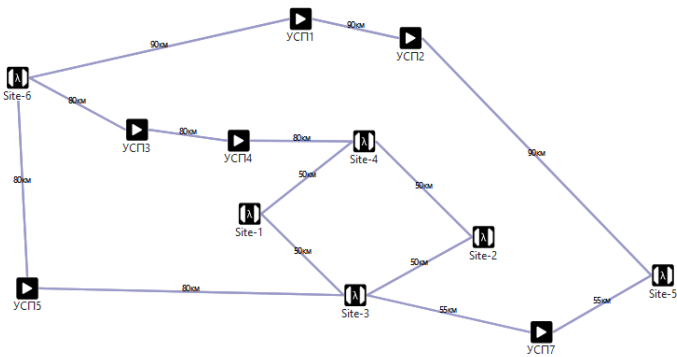


Исходные данные

Физическая инфраструктура

Данные:

- Граф/структура сети
- Затухания/Тип волокон
- Тип питания и максимальная энергоемкость узлов
- Тип сети магистраль/ЦОД/Служебная



Сейчас

Клиентские интерфейсы

Данные:

- Точки терминации интерфейса/трафика
- Типы интерфейсов (10GE, FC32, 400GE...)
- Тип резервирования интерфейса
- Требуемые задержки
- Этапность запуска интерфейсов

	Узел 1	Узел 2	Узел 3	Узел 4
Узел 1		2x10GE 5xSTM64		
Узел 2				2x100GE 1xOTU4
Узел 3				
Узел 4				

В далеком будущем

Конечная емкость

Данные:

- Конечная емкость основных соединений в сети (9.6T, 19.2T..)
- Спектральный диапазон

0.1T, 4T, 9.6T, 32T, 48T

Дополнительные опции:

- Fix/Flex Grid
- CD/CDC
- NMS
- Применение оборудование предлинеек
- Сверхдлинные пролеты (применение ROPA)
- Мониторинг волокон (OTDR)
- Автоподстройка OLS
- ...

Результат

**Физическая
инфраструктура**



**Клиентские
интерфейсы**



**Конечная
емкость**



Перечень оборудования

Данные:

- Наименования оборудования
- Кол-во
- Цены
- ЗИП

Дизайн

Данные:

- Расстановка оборудования по узлам
- Схемы соединения оборудования
- Фасадные виды шасси/стоек

Настройки

Данные:

- Настройки OLS (EDFA, VOA, DRA, ROADM..)
- Уровни канальной и полной мощности
- Оценочное качество сигнала (OSNR, BER)



Проектная документация:

- Спецификация (КП)
- Принципиальная схема
- Схема интерфейсов
- Фасадные схемы
- Результаты расчетов
- Заказ на производство

T8 | DWDM-СИСТЕМЫ

Физические основы проектирования

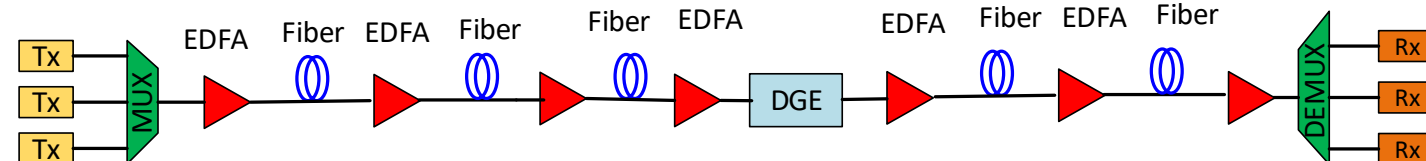
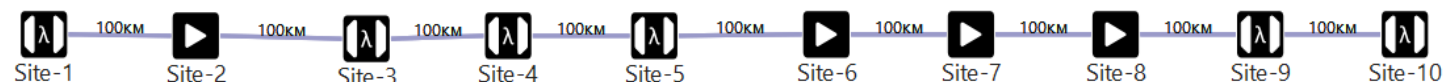
далее

Автоматизация проектирования

Физические основы проектирования



Решение задачи поиска оптимального дизайна должно сопровождаться учетом физических эффектов, сопутствующих распространению сигнала по волокну и другим элементам ВОЛС (усилители, фильтры, каналообразующие платы)



20

мат.моделей
физических
процессов

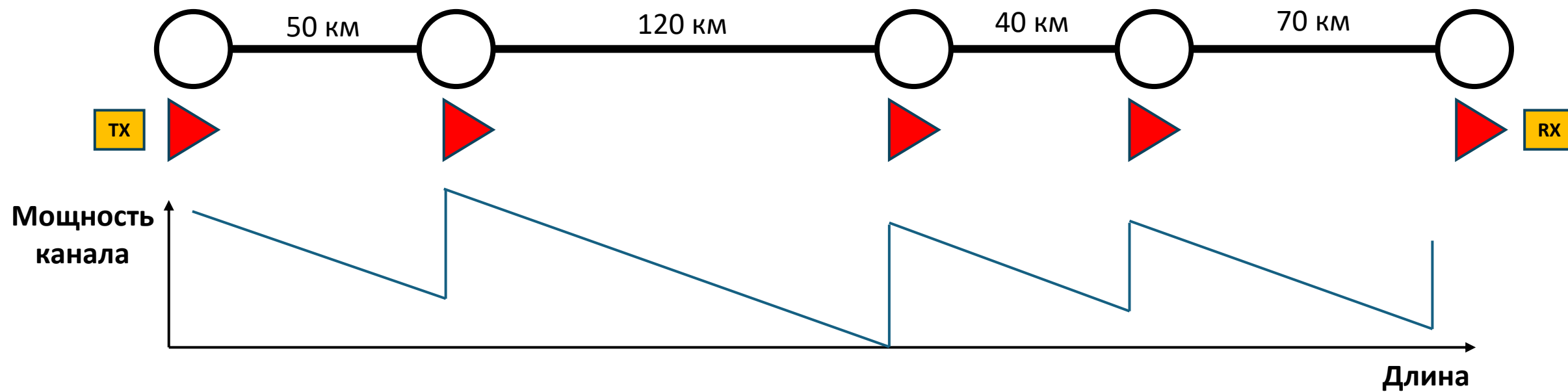
- Затухание
- Дисперсия
- Нелинейность
- ВКР
- ПМД

- Формат модуляции
- Скорость модуляции
- Собственные шумы
- Особенности ЦОС

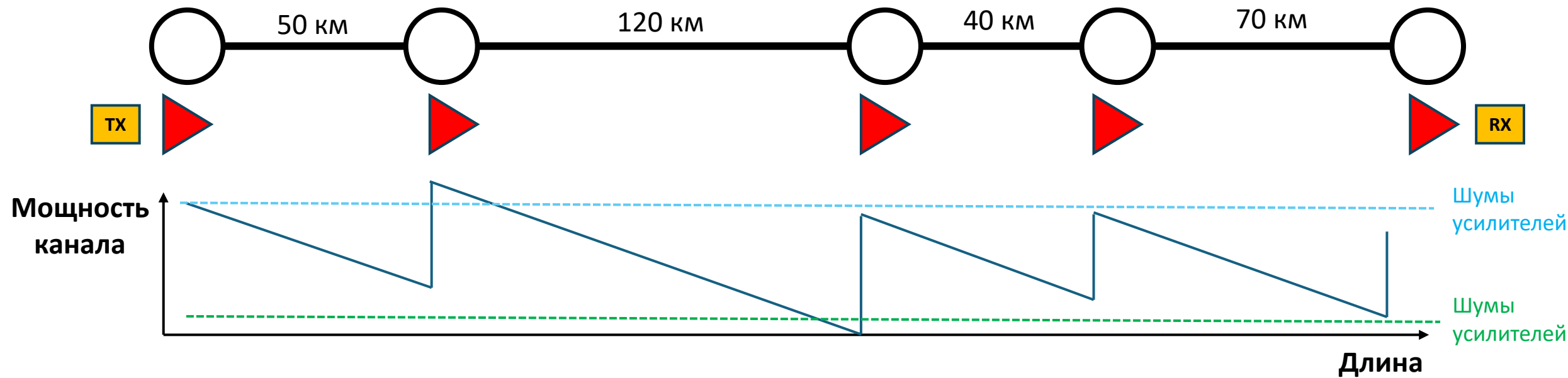
- Усиление
- Шумы спонтанной люминесценции

- Оптимизация группового спектра
- Оптическая фильтрация

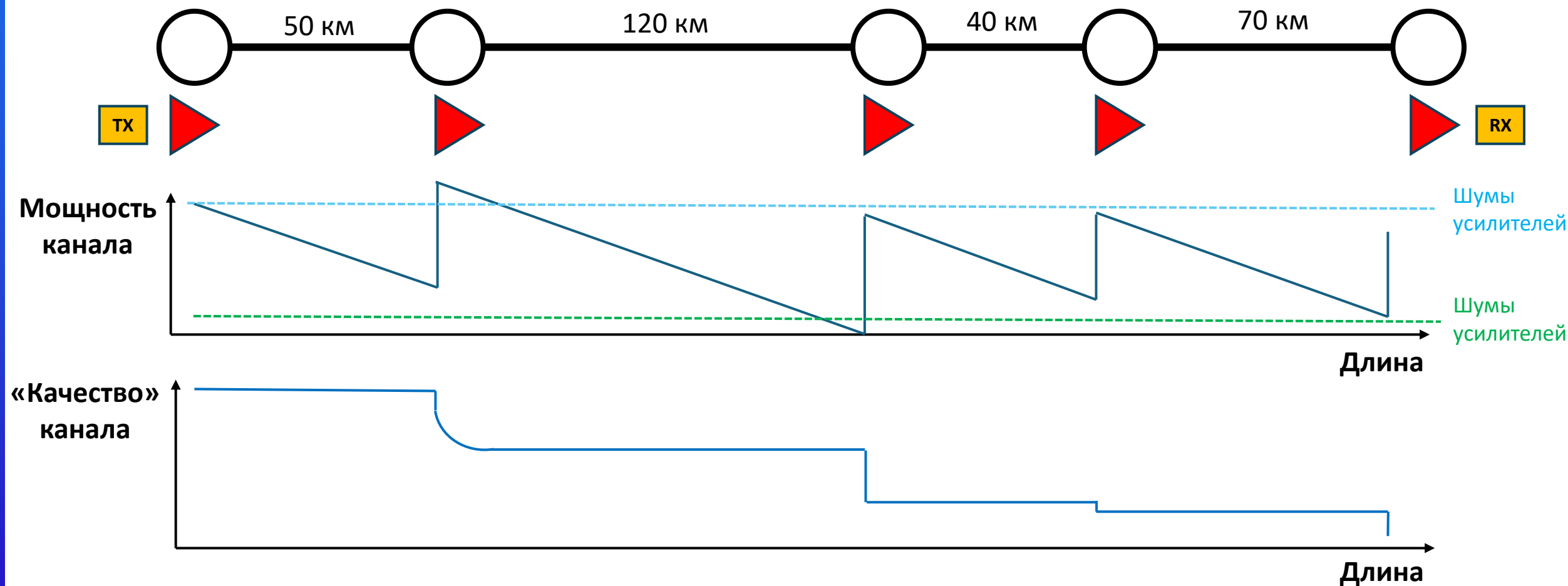
Поиск оптимальной мощности



Поиск оптимальной мощности



Поиск оптимальной мощности

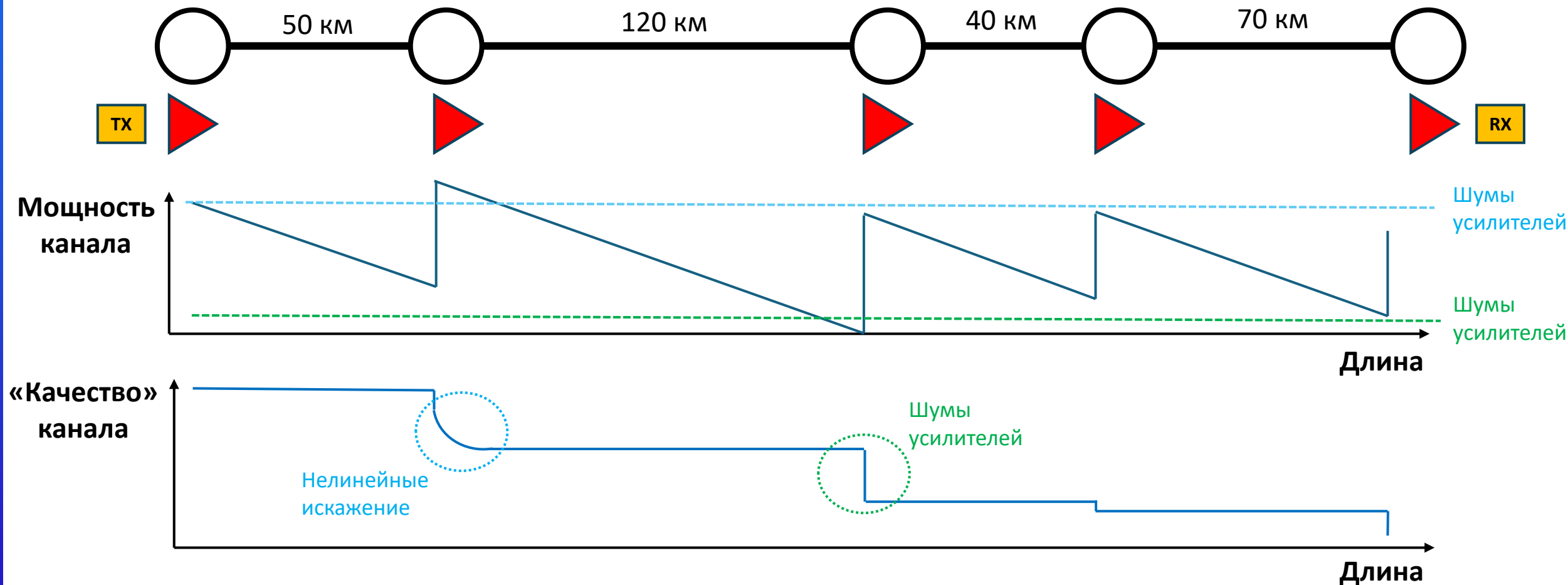


Поиск оптимальной мощности

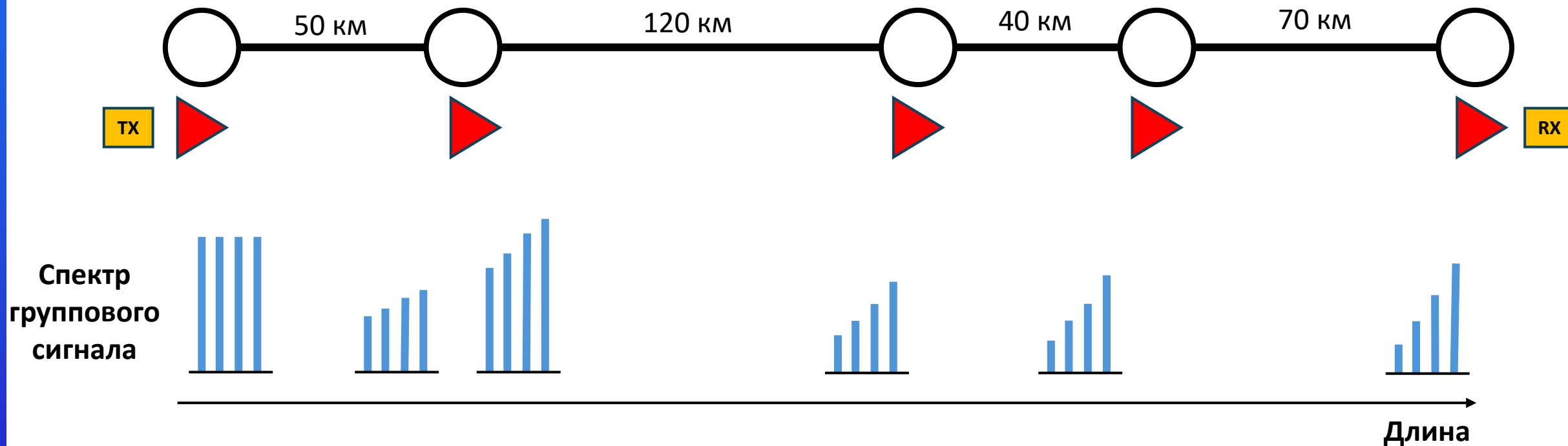
Низкая мощность – тонем в шумах усилителей

VS

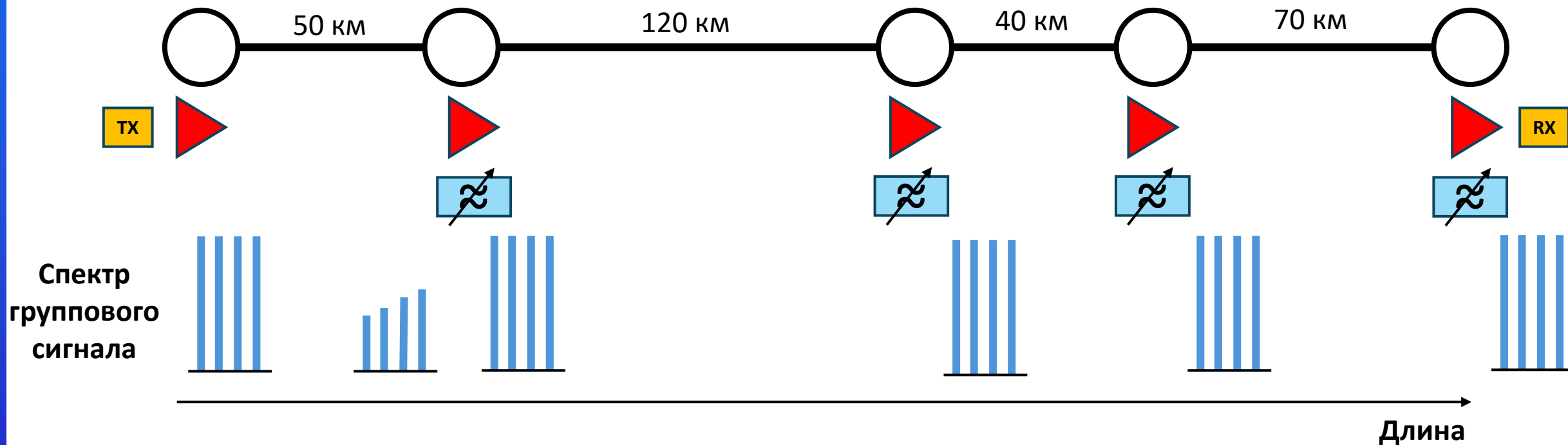
Высокая мощность – нелинейные искажения



Оптимизация формы многоканального спектра



Оптимизация формы многоканального спектра



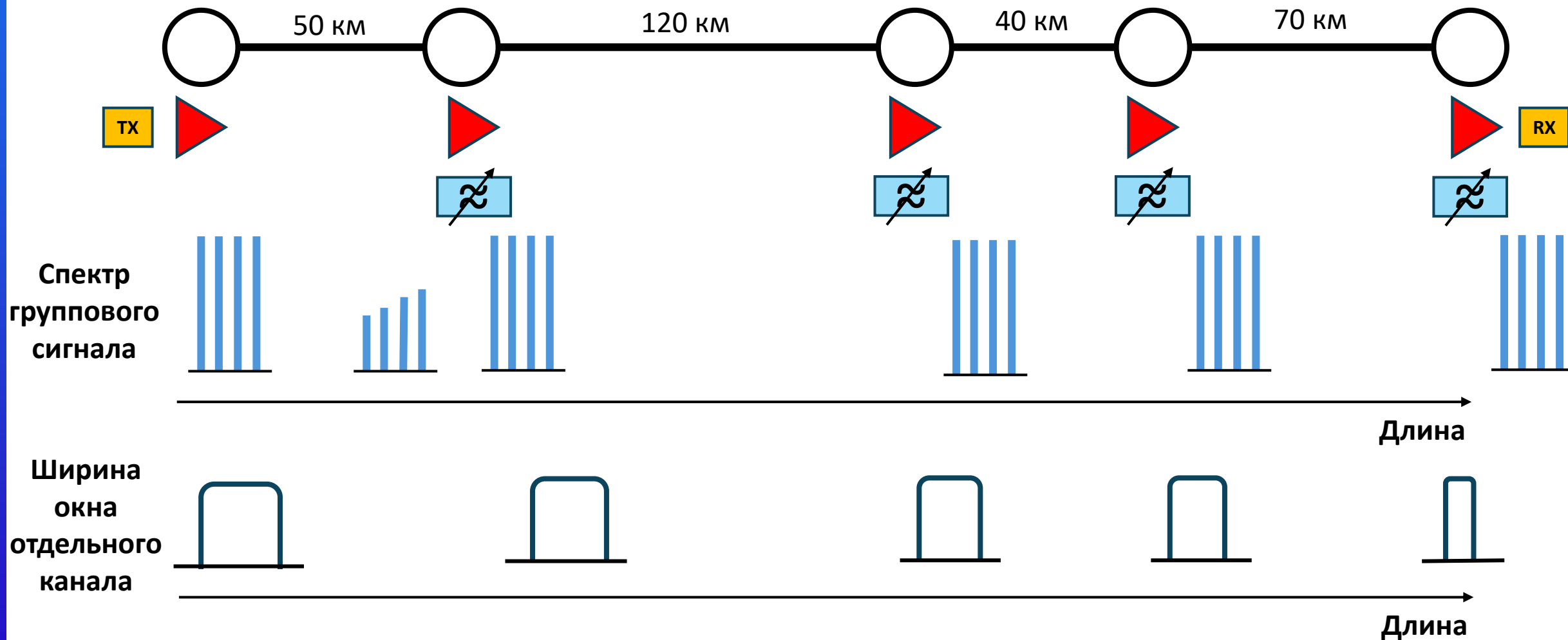
Оптимизация формы многоканального спектра



Отсутствие выравнивания – часть каналов не работает

VS

Частое выравнивание – штраф из-за фильтрации



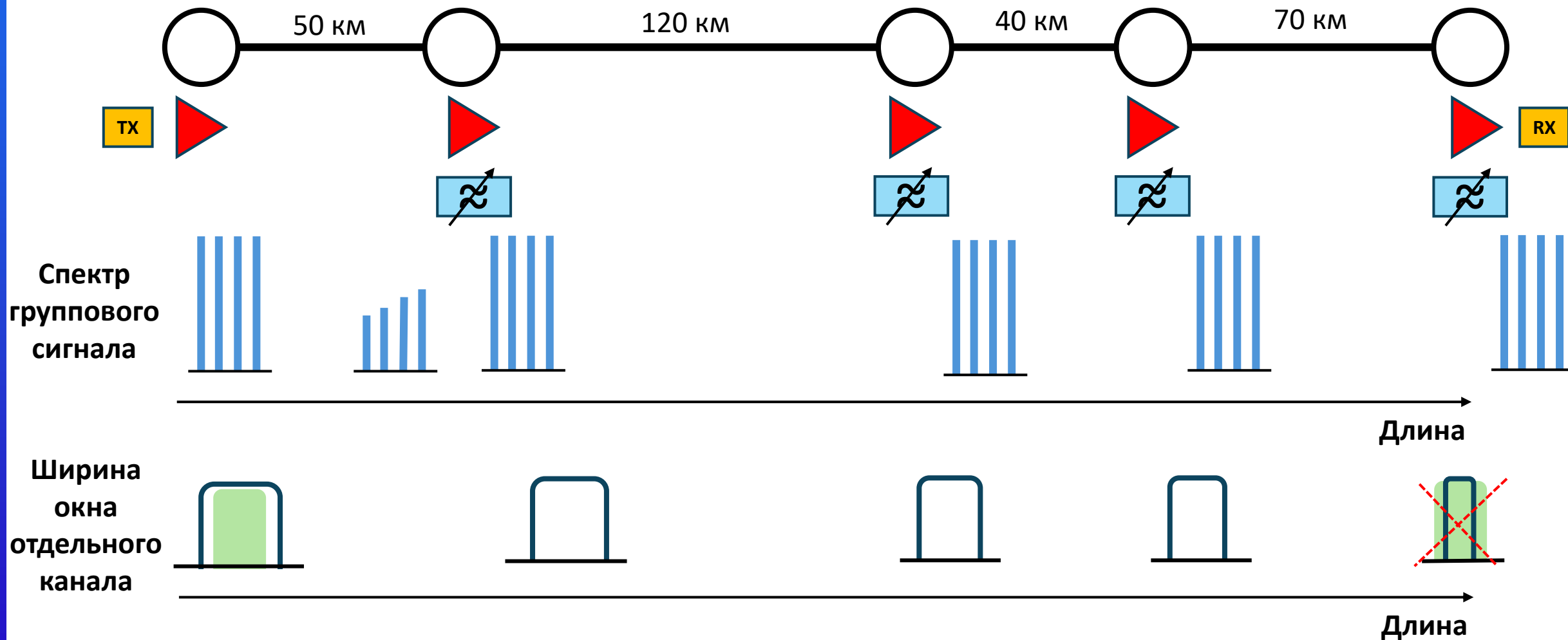
Оптимизация формы многоканального спектра



Отсутствие выравнивания – часть каналов не работает

VS

Частое выравнивание – штраф из-за фильтрации



T8 | DWDM-СИСТЕМЫ

Автоматизация проектирования

далее

внутренняя цифровая экосистема

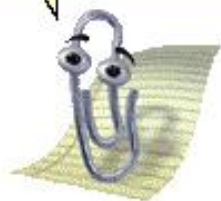
результаты внедрения и планы на ближайшее будущее

С чего все начиналось?

DWDM одна из первых технологий магистральной связи потребовавшая учета/расчета большого кол-ва физических эффектов.

Пионеры данной технологии для учета накапливающихся искажений применяли Excel-расчетчики со встроенными формулами.

Если посмотреть на солнце в лупу можно разглядеть пятно похожее на котенка.



ФАЙЛ

Расчет волоконно-оптических сетей

ГЛАВНАЯ

ВСТАВКА

РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ

ФОРМУЛЫ

ДАННЫЕ

РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ

ВИД

Обновить формулы вкладки

Фикс. опт. мощность

Номер первого канала: 21

OSNR тр.: 13

Перезапуск расчета

Килом. затухание: 0,22

Ширина спектра/канала: 40

Req max: 14

Обновить все вкладки

Интервал сетки (ГГц): 100

☐ Синхр. с обратной вкладкой

Количество оптических каналов *

Расположение оптических каналов *

Формулы

Общие настройки расчета

D217

:

=МИН(D219;D221)

1

2

1

2

+

6

100G

Запас (0,22+3) = 2,38 дБ
Запас (0,195+3) = 4,59 дБ

Элемент ВОЛС

148

ТРА

<X>:SC-D

ОМ-40-A

GF

<X>:SC-D

ROADM-1

EA-23V

кросс

ОВ

кросс

EA-20V

ROADM-1

<X>:SC-D

ROADM-8

7

Измеренное затухание/диапазоны

дБ/...

>13 терминал

8

Длина участка волокна

км

1xROADM 50

13

Принадлежность тракту

(Transit/Add/Drop)

T

T

T

T

T

T

T

T

T

T

T

T

T

14

Фиксированный аттенуатор

дБ

VOA

5

15

Усиление EA

дБ

14,0

18,0

16

14,0

12,4

17

± ΔG (ручная подстройка)

дБ

-3,7

-5,0

18

-3,7

-5,0

19

G₂ (ручной выбор)

дБ

L

24,0

18,0

L

20

G₁ (ручной выбор)

дБ

14,0

11,0

22

Кол-во каналов (ручной выбор)

40

40

40

40

40

40

40

40

40

40

40

40

40

40

25

Запас по затуханию (ручной выбор)

дБ

29

Номер крайнего канала

21

33

Рекомендуемая оптическая мощность

дБм/канал

1,0

1,0

-27,7

37

Сигнал на выходе элемента

дБм/канал

0,0

0,0

-9,2

-11,5

-14,2

-12,5

1,5

1,0

-24,5

-25,0

-7,0

-8,0

-15,7

-10,8

38

0,0

0,0

-9,2

-11,5

-14,2

-12,5

1,5

1,0

-18,9

-19,4

-7,0

-8,0

-15,7

-10,8

41

Суммарная мощность

дБм

16

16

7

5

5

4

17,5

17

-8

-9

9,0

8

5

5

42

16

16

7

5

5

4

17,5

17

-3

-3

9,0

8

5

5

51

Хроматическая дисперсия

короткая волна, пс/км
длинная волна, пс/нм

19356

1613

1613

1613

52

Расчет качества передачи

82

Макс. экв. мощность на входе волокна

дБм

93

Перекос SRS+линейный

дБ

0,0

-5,0

-5,0

-3,7

-3,7

94

0,0

-5,0

-5,0

-3,7

-3,7

96

ПМД

пс

97

113

Шум-фактор, дБ

дБ

16,00

6,07

114

10,00

8,76

217

OSNR

дБ

14,5

23,6

23,6

218

16,3

26,3

26,3

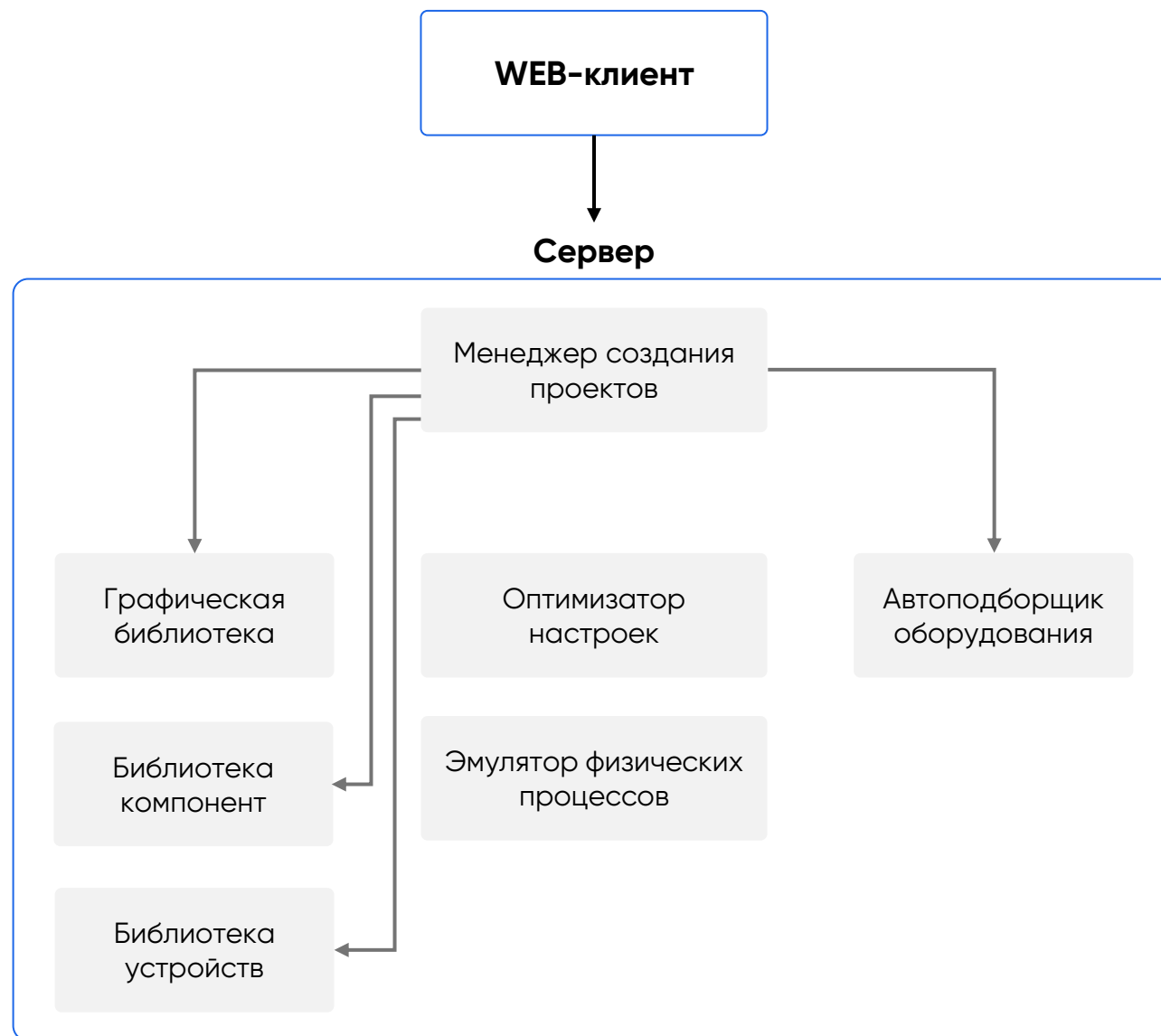
САПР: «Софокл»



SoFOCL представляет собой клиент серверное приложение, позволяющее моделировать физические процессы возникающие в оптических сетях и оптимизировать состав оборудования и его настроек для улучшения качества передачи

Физические модели:

- Нелинейные искажения
- Рамановское усиление
- Шумы спонтанной люминесценции
- Тепловые шумы приемников
- Оптическая фильтрация
- ...



САПР: «Софокл»

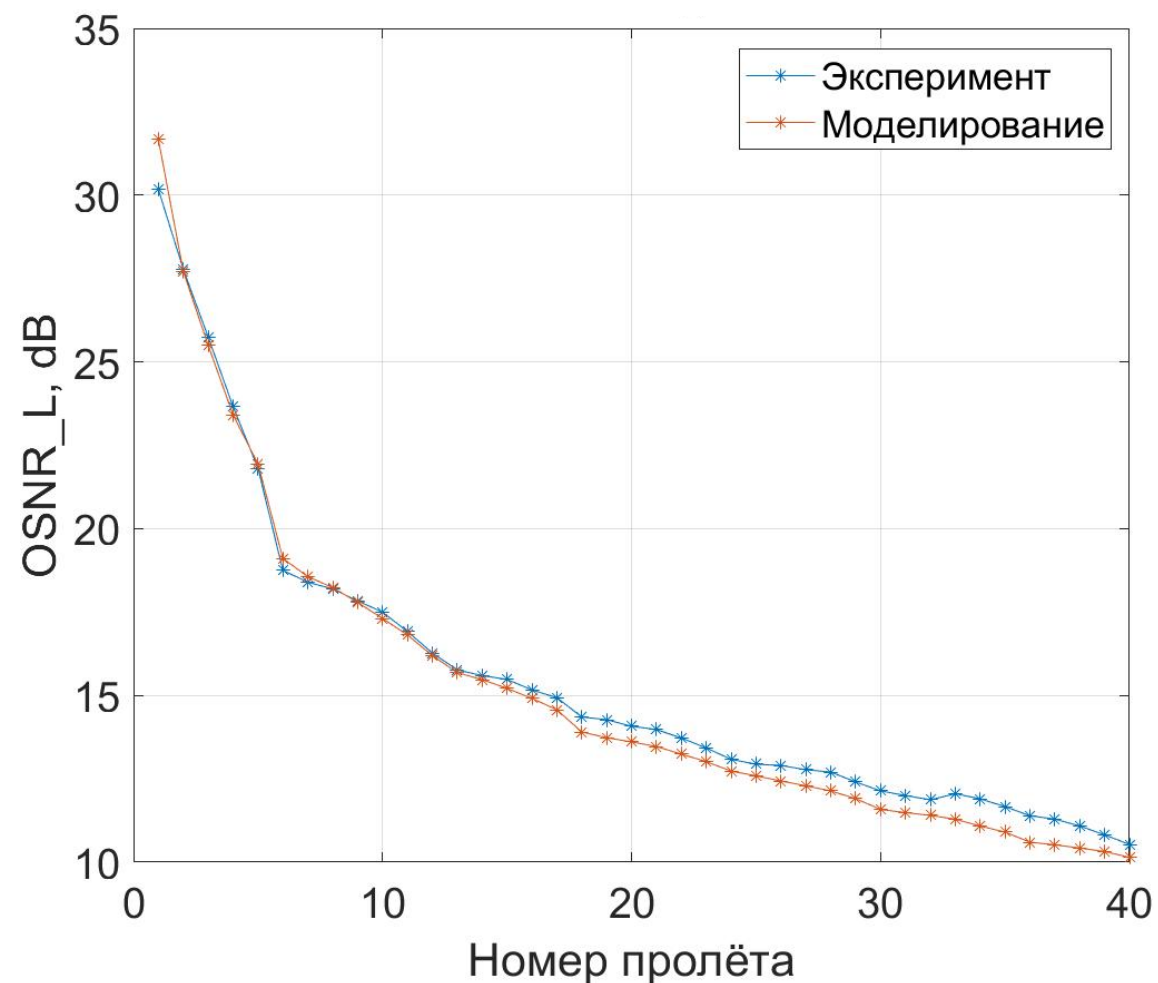


SoFOCL представляет собой клиент серверное приложение, позволяющее моделировать физические процессы возникающие в оптических сетях и оптимизировать состав оборудования и его настроек для улучшения качества передачи

Физические модели:

- Нелинейные искажения
- Рамановское усиление
- Шумы спонтанной люминесценции
- Тепловые шумы приемников
- Оптическая фильтрация
- ...

Экспериментально продемонстрирована высокая точность расчета – 1 дБ



САПР: «Софокл»

расчет/оптимизация произвольных топологий

Работа с сетью на уровне топологии:

- Добавление сетевых элементов/узлов с произвольным кол-вом точек подключения
- Поддержка 3х основных стандартов волокна G652, G654, G655
- Возможность задания произвольного канального канального плана
- Отображение сводной отчетности по все созданным соединениям

SOFOCL beta

Рабочий столЗаказчикиПроекты

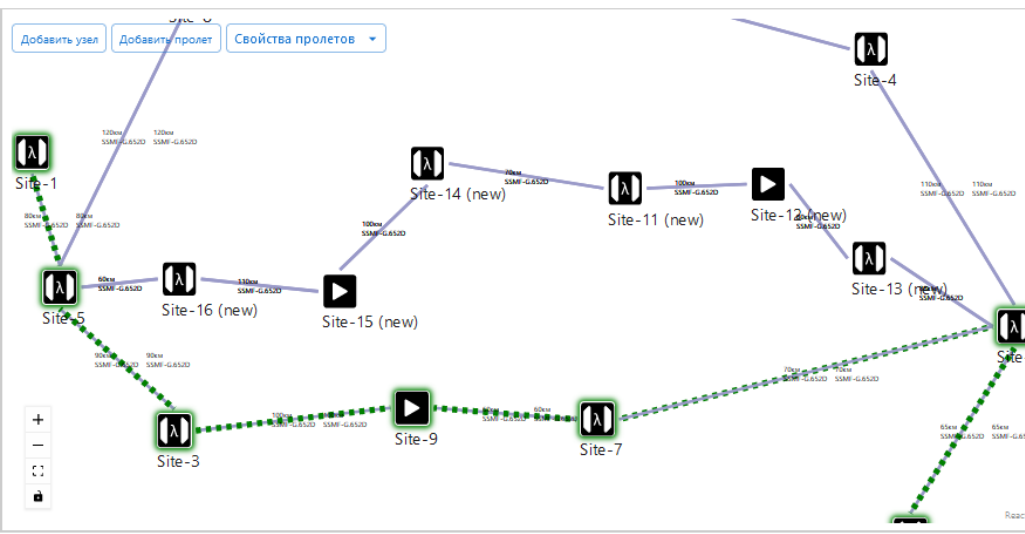
Главная / Проекты / Демо проект (St) / Топология

Сетка (кросс соедин.#2), 10...ВерсионированиеОборудованиеНастройки расчета

ВерсииСтруктура

Site-7Site-8dmuxedfa65. EA-23V-(20-35)66. EA-23V-(20-35)67. EA-23V-(20-35)68. EA-26V-(14-24)muxoadmroadmSite-9Site-10Site-11 (new)Site-12 (new)Site-13 (new)

Добавить узелДобавить пролетСвойства пролетов



Узел

Название: Site-1

Тип: term

Связанность: 1

Шаблон: #02.0 C: 80x50GHz + 1510 OSC

Схема и оборудование

Редактировать параметрыКопировать

Удалить

Узел

Название: Site-2

Тип: term

Связанность:

Результаты расчета

Соединения	OSNR_L OSNR_R	OSNR_M	Суммарный штраф	Штраф по CD	Штраф по PMD	Штраф по фильтрац
#32284 Site-2 → Site-1 L=545km Nch = 20 tex.отчет	8.8 ... 9.2	0.9 ... 0.9	0.1 ... 0.1	0.0 ... 0.0	0.6 ... 0.6	
#32302 Site-2 → Site-1 L=655km Nch = 20 tex.отчет	11.2 ... 11.3	0.9 ... 0.9	0.0 ... 0.0	0.0 ... 0.0	0.6 ... 0.6	
#32283 Site-1 → Site-2 L=545km Nch = 20 tex.отчет	8.1 ... 8.5	0.9 ... 0.9	0.1 ... 0.1	0.0 ... 0.0	0.6 ... 0.6	
#32301 Site-1 → Site-2 L=655km Nch = 20 tex.отчет	10.6 ... 10.8	0.9 ... 0.9	0.0 ... 0.0	0.0 ... 0.0	0.6 ... 0.6	

Файлы трРасчет

[2024-07-08 16:44:43,669] Общее время: 747.35

[2024-07-08 16:44:43,666] Время сохранения: 17.03

[2024-07-08 16:44:26,631] Время оптимизации: 510.77

[2024-07-08 16:44:26,631] Во всех линках получен положительный запас по OSNR

[2024-07-08 16:44:26,630] Закончена оптимизация

[2024-07-08 16:44:26,624] 32296.Site-13 (new) -> Site-14 (new) - закончена оптимизация настроек оборудования, получен запас по наилучшему каналу 13.3 дБ Подобраны мощности на входе в волокна: [19. 20.3 20.3]

[2024-07-08 16:44:26,411] 32296.Site-13 (new) -> Site-14 (new) - начата оптимизация настроек оборудования

Группы каналов

Создать маршрут

Маршрут	Транспондер	Трансивер	Тип трафика	Символьная скорость	Тип FEC	Каналы	Удалить
3553.Колом - Селе	MS-1200E (M1200-2-1:		400G	69,435	27% SDFEC	192.1..192.15 (2)	
3555.Галерный - С	MS-1200E (M1200-2-1:		400G	69,435	27% SDFEC	192.2..192.25 (2)	
3557.Галерный - Л	MS-1200E (M1200-2-1:		400G	69,435	27% SDFEC	192.3..192.35 (2)	

САПР: «Софокл»

гибкий дизайн узлов

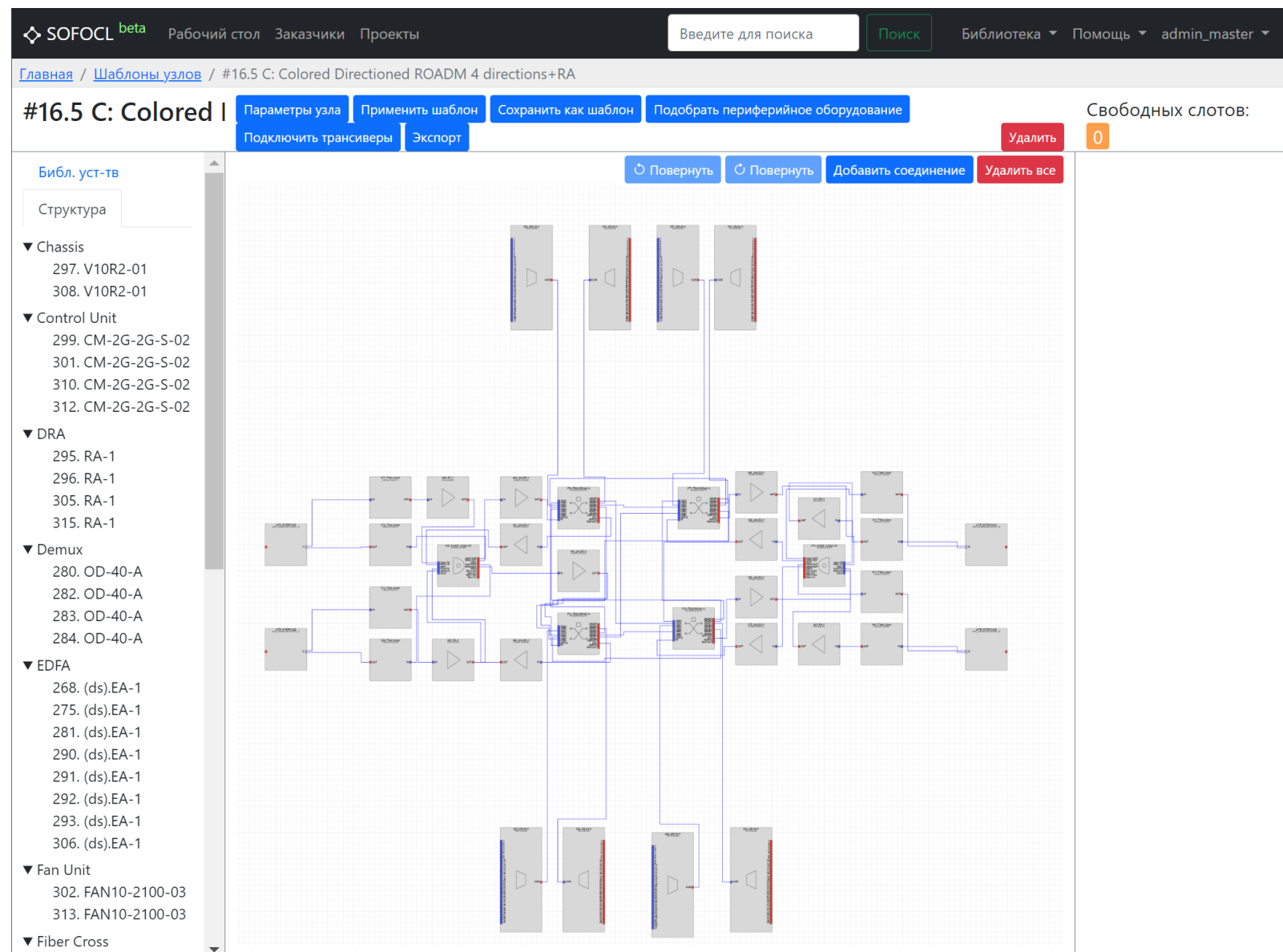
Работа со схемами сетевых элементов (узлов):

Объектная модель

- Точки подключения сетевого элемента
- DWDM устройства (EDFA,ROADM....)
- Порты устройств
- Патчкорды
- Внутренние компоненты устройств

Гибкая коммутация устройств

Спектральная верификация совместимости устройств и каналов



Функционал

Физика

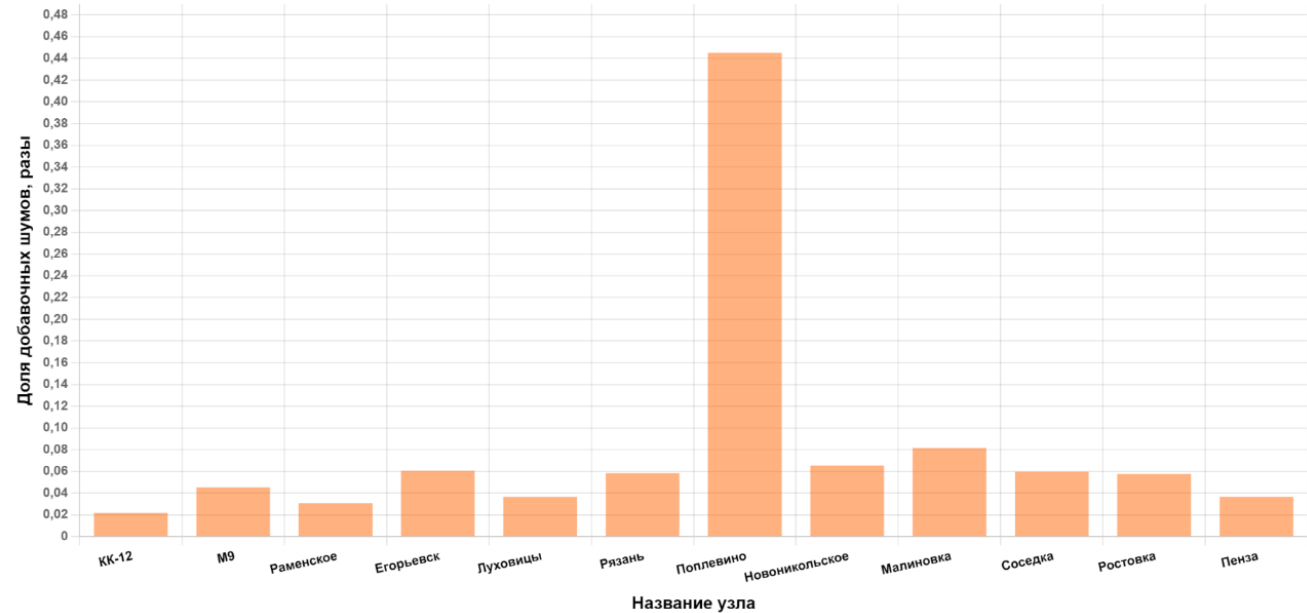
- Когерентные сети
- Амплитудные сети
- ВКР усиление/перекос
- Нелинейные искажения (когерентные, амплитудные каналы)
- Шумы спонтанной люминесценции
- ...

Спектральные диапазоны

- C (4 ТГц)
- C+(4.8 ТГц)
- C++ (6 ТГц)

Оценка и оптимизация

- Мощностей
- Перекосов



Дизайн

- Произвольные топологии (PtP, кольцо, сеть)
- Произвольная оптическая схема узла
- Произвольные схемы подключения каналообразующего оборудования
- Автоподбор EDFA, DCU
- Автоподбор периферийного оборудования

T8 | DWDM-СИСТЕМЫ

Внутренняя цифровая экосистема

далее

результаты внедрения и планы на ближайшее будущее

Бизнес-процессы

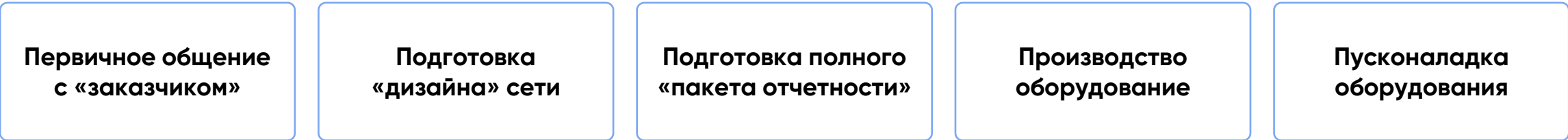


Этапы	Первичное общение с «заказчиком»	Подготовка «дизайна» сети	Подготовка полного «пакета отчетности»	Производство оборудования	Пусконаладка оборудования
Задачи	<ul style="list-style-type: none"> Сбор данных о топологии сети (Узлы, длины пролетов, затухания...) Уточнение клиентских интерфейсов их функционала (защиты) и порядок запуска Уточнения требований к оптической части транспортной сети Уточнение требований к энергетике и механике оборудования ... 	<ul style="list-style-type: none"> Выбор схемы агрегации трафика и каналообразующего оборудования Подбор принципиальной оптической схемы узлов Подбор номиналов/моделей усилителей Подбор оптимальных настроек 	<ul style="list-style-type: none"> Проверка «актуальности» (готовность к серии + наличие компонент) выбранного оборудования Подбор вспомогательного оборудования (патчкорды, розетки, коммутаторы) Отрисовка «красивых»/принципиальных схем Подготовка «фасадов» Подписание договора поставки 	<ul style="list-style-type: none"> Размещение внутреннего заказа Производство/тестирование/упаковка Доставка до места инсталляции 	<ul style="list-style-type: none"> Распаковка оборудования Установки и коммутация оборудования Настройка оборудования согласно дизайну Проверка работоспособности каналов Проверка наличия гарантируемого запаса (опционально) настройка NMS

Экосистема



Этапы



Сервисы



Результаты внедрения и планы на ближайшее будущее

САПР: «Софокл» | преимущества

сравнение решений на пуле проектов



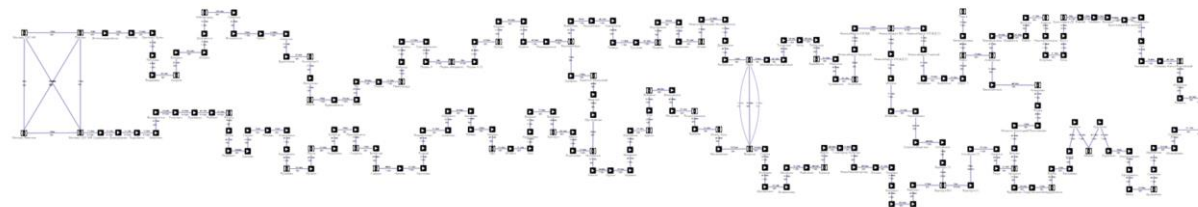
Преимущества

- Высокая скорость подготовки проектного решения ~40 мин. (проект до 15 узлов)
- Подготовка комплексного решения для проекта размером около 100 узлов занимает 5-7 дней.
- Более совершенные алгоритмы оптимизации → увеличения предельного качества передачи 1 - 2 дБ →

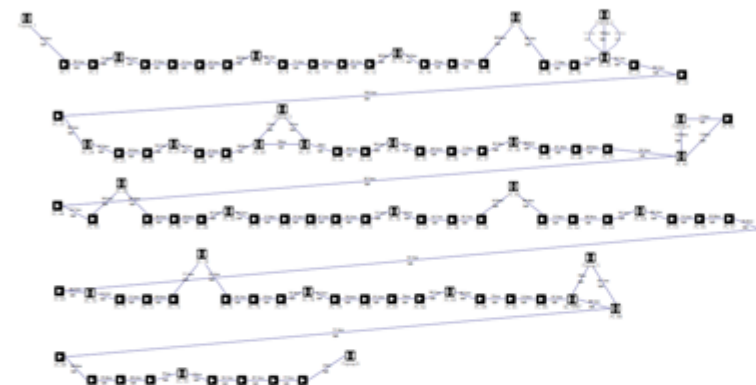
Уменьшение стоимости

- Уменьшение кол-ва регенераций
- Уменьшение кол-ва рамановских усилителей
- Уменьшение кол-ва транспондеров за счет передачи более высокоскоростных каналов
- Легкий «апгрейд» ранее реализованного проекта
- Продемонстрирована совместная оптимизация более чем 400 каналов.

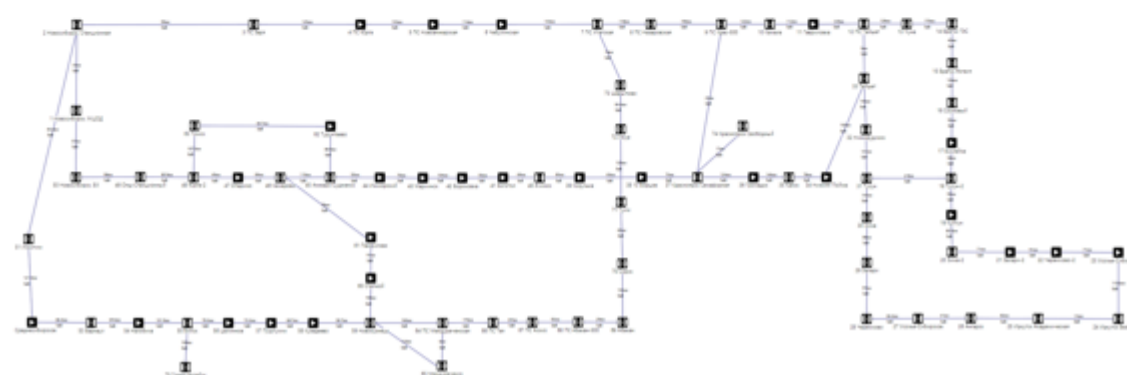
Линия 1 210 узлов



Линия 2 100 узлов



Линия 3 75 узлов



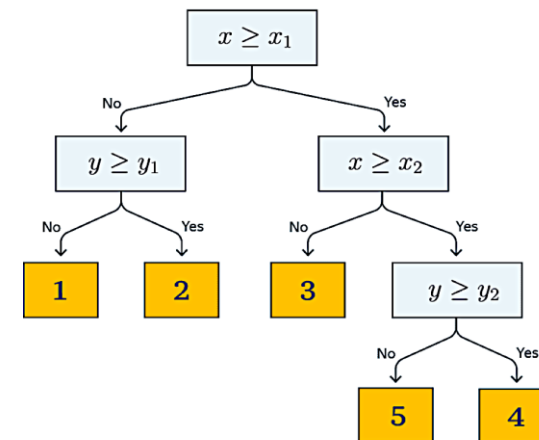
ML-оценка качества передачи (QoT)



Достигнутые результаты:

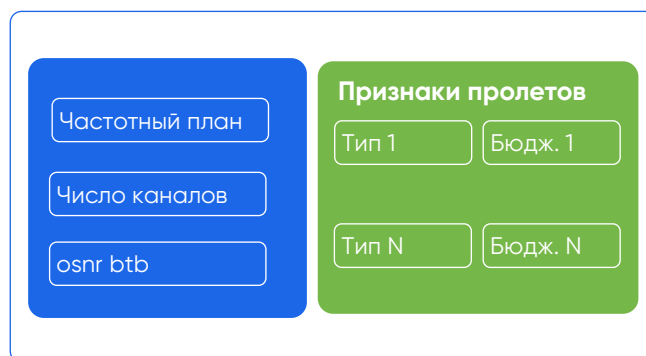
- Поддержка типов волокон G652D, G654C
- Поддержка когерентных каналов произвольного типа
- Точность оценки запаса по OSNR ± 1 дБ
- Скорость оценки качества сигнала в линии длиной 3000 км – 2 мс

210 000
примеров
расчетов ВОЛС

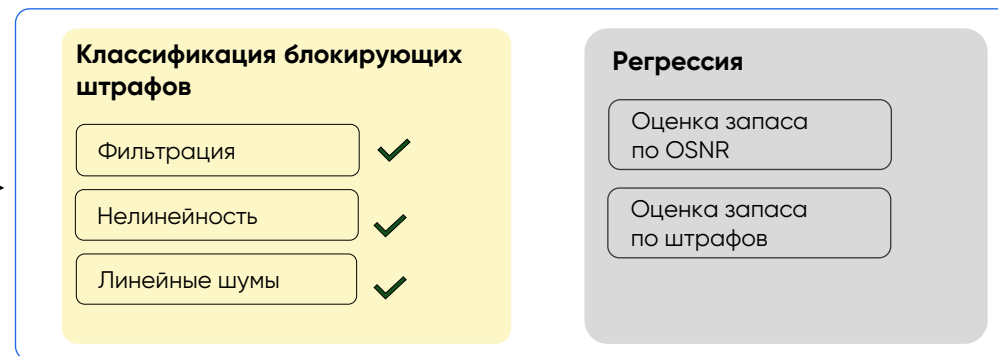


Решающие деревья

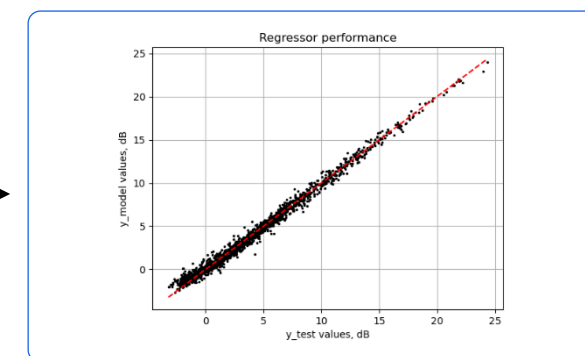
Входные данные



ML - Оценка



Прогнозируемое QoT



САПР: «Софокл» | Развитие

сравнение решений на пуле проектов



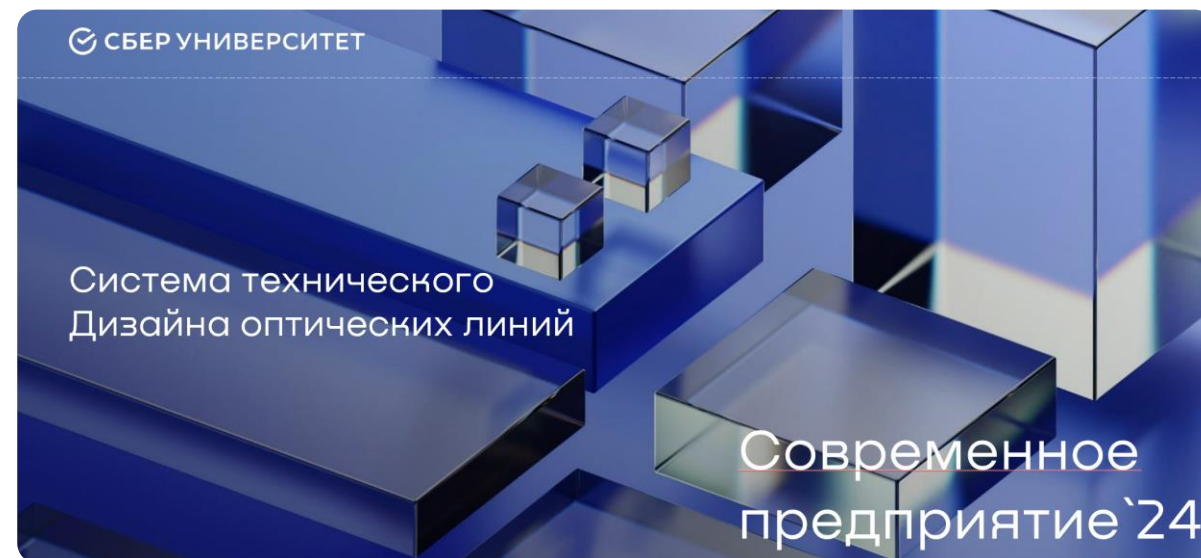
Проект САПР SoFOCL

1 место

в конкурсе проектов

Сбер Университета

«Современное предприятие' 24»



Проект разработки системы совмещающей NMS «Титан» и алгоритмы подстройки сети на базе физ.модели из САПР SoFOCL был одобрен советом директоров Ростелеком для подачи РФРИТ в качестве Проекта Особой Значимости («Умный транспорт»)

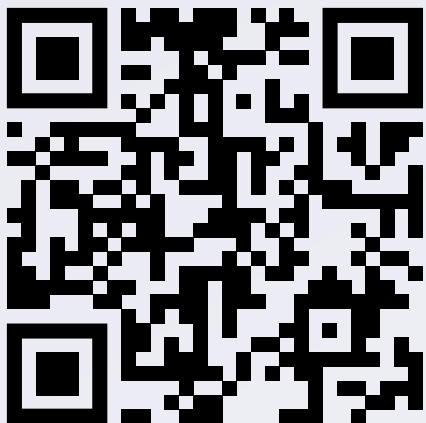


ОЗП «Умный транспорт»

Базу разобрали, теперь вопросы



**Обратная связь
по докладу**



Димитрий Старых
Руководитель
научно-исследовательского
отдела

**О команде и наша
коллекция вакансий**



Компания T8
+7 499 271 61 61
info@t8.ru
t8.ru

**Почитать еще о DWDM
в научных публикациях**



TG: @T8DWDM