

А.Ю. Цым, главный научный сотрудник ФГУП ЦНИИС,  
О.А. Бычкова, и.о. генерального директора ФГУП ЦНИИС

# ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ ТЕХНОЛОГИИ 5G





## Цели работы

Исследование особенностей построения транспортных сетей 5G, а также оценки влияния технологий программно-конфигурируемых сетей и виртуализации сетевых функций (SDN/NFV) на сеть электросвязи и ее показатели целостности, устойчивости и безопасности.

### Задачи этапа 1

1. Исследование особенностей построения транспортных сетей 5G на базе технологий SDN/NFV.
2. Анализ технических, технологических и правовых особенностей построения существующих транспортных сетей электросвязи и прогнозирование объема трафика при переходе к сетям 5G.
3. Разработка решений по построению транспортных сетей 5G с учетом перехода на технологии SDN/NFV.
4. Предложения по методике расчета пропускной способности для транспортных сетей 5G на базе технологий SDN/NFV.
5. Разработка требований к типовой методике расчета и планирования пропускных способностей для транспортных сетей 5G на базе технологий SDN/NFV.

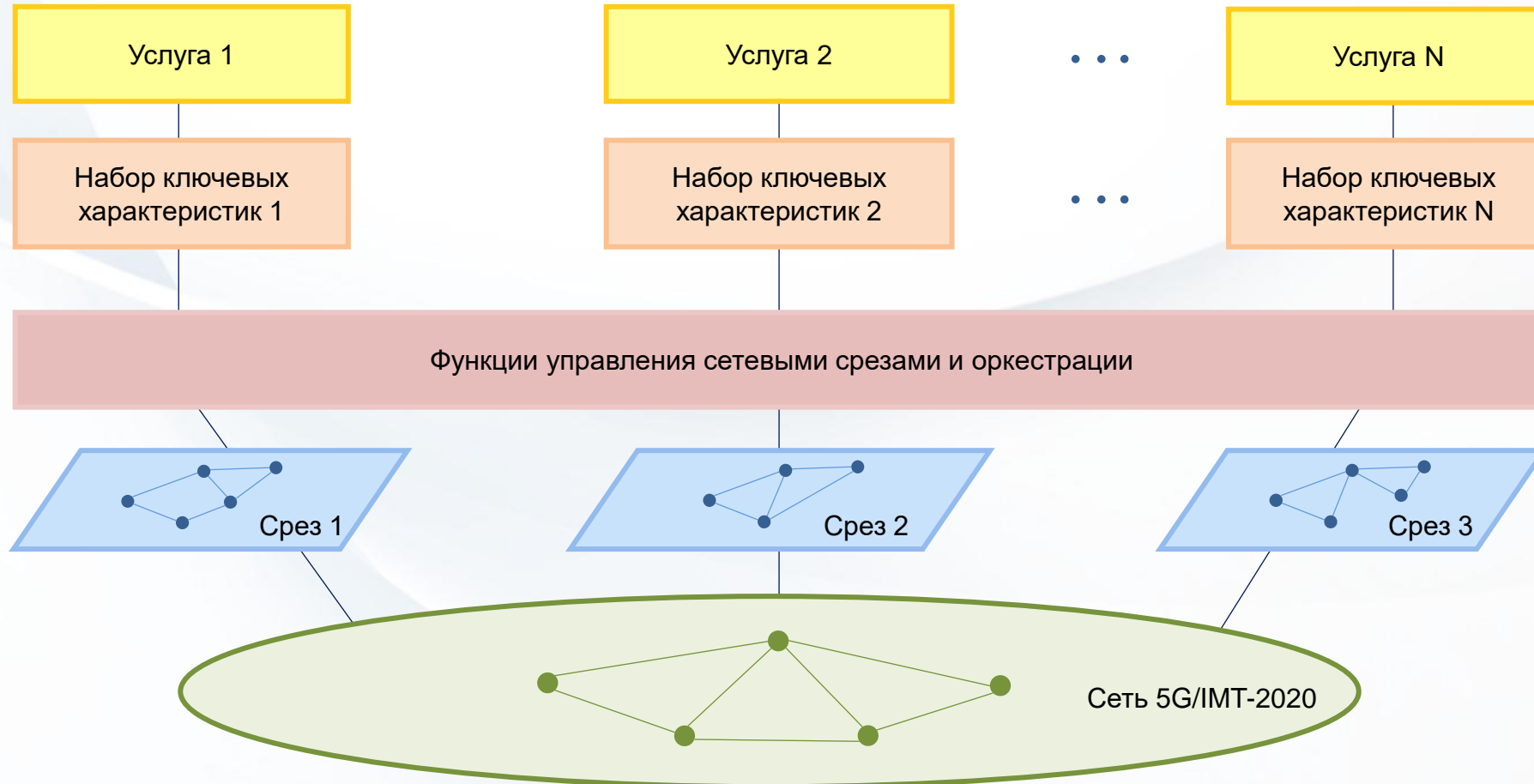
### Задачи этапа 2

1. Анализ факторов, влияющих на работоспособность транспортных сетей 5G на базе технологий SDN/NFV.
2. Анализ объемов зашифрованного трафика, передаваемого в транспортных сетях 5G и балансировка нагрузки на криптографические маршрутизаторы при построении транспортных сетей на базе технологий SDN/NFV.
3. Разработка показателей целостности, устойчивости и безопасности транспортных сетей 5G на базе технологий SDN/NFV.
4. Анализ и выбор методов обеспечения надежности работоспособности сетей на базе технологий SDN/NFV.
5. Предложения по методике расчета надежности и плана резервирования для транспортных сетей 5G на базе технологий SDN/NFV.
6. Разработка требований к типовой методике расчета надежности и плана резервирования для транспортных сетей 5G на базе технологий SDN/NFV.

### Задачи этапа 3

1. Анализ потоков трафика в транспортных сетях 5G на базе технологий SDN/NFV.
2. Сравнительный анализ свойств и характеристик российского и зарубежного оборудования SDN/NFV.
3. Обоснование, выбор и описание алгоритмов планирования и оптимизации структуры транспортных сетей 5G.
4. Выбор критериев оптимизации структуры транспортных сетей 5G на базе технологий SDN/NFV.
5. Предложения по методике планирования структуры и расчета количества контроллеров и их оптимального месторасположения для транспортных сетей 5G на базе технологий SDN/NFV.
6. Моделирование процессов функционирования транспортных сетей 5G на базе технологий SDN/NFV.
7. Разработка требований к типовой методике планирования структуры и расчета количества контроллеров и их оптимального месторасположения для транспортных сетей 5G на базе технологий SDN/NFV.
8. Разработка проекта вклада в МСЭ.

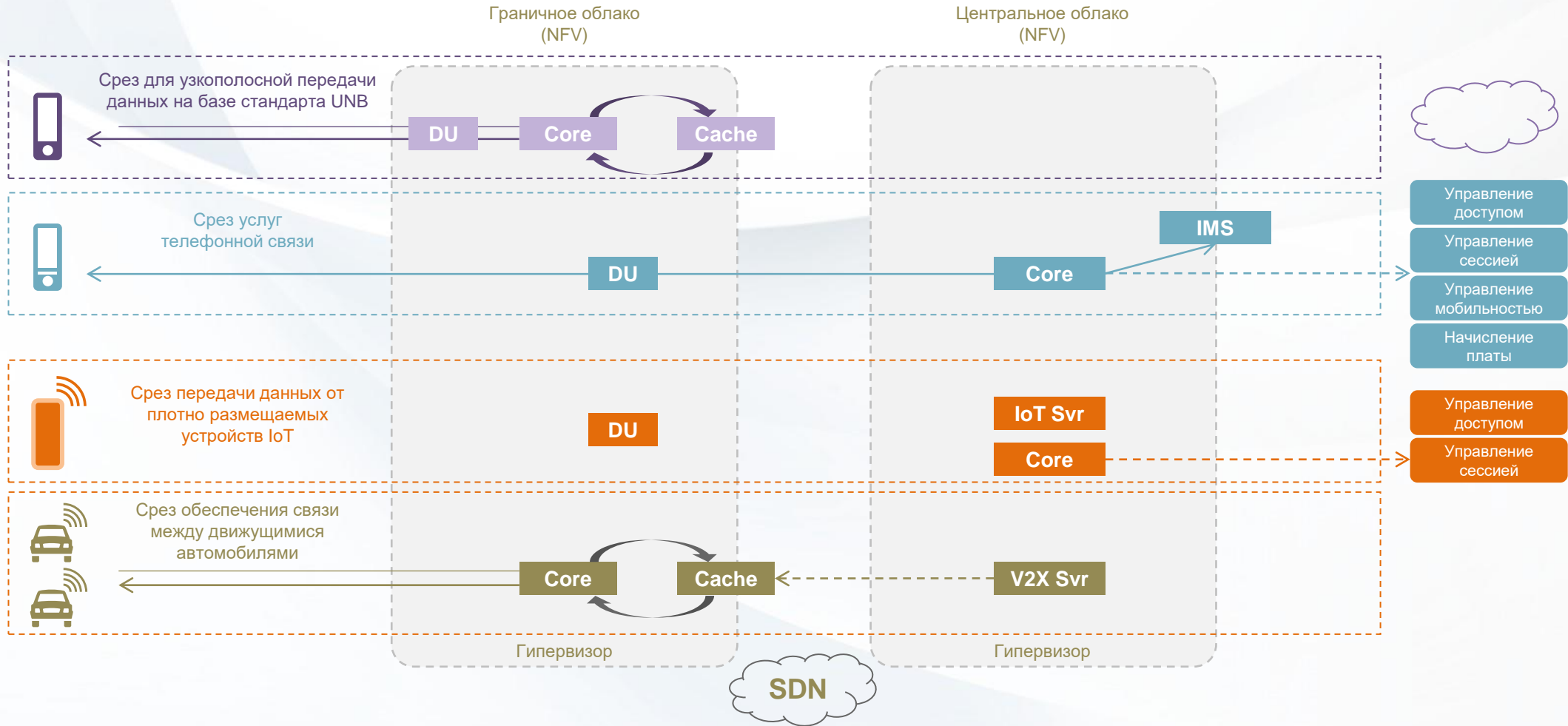
# ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ 5G НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ (SDN/NFV)



Логическое разделение сети 5G/IMT-2020 на слои



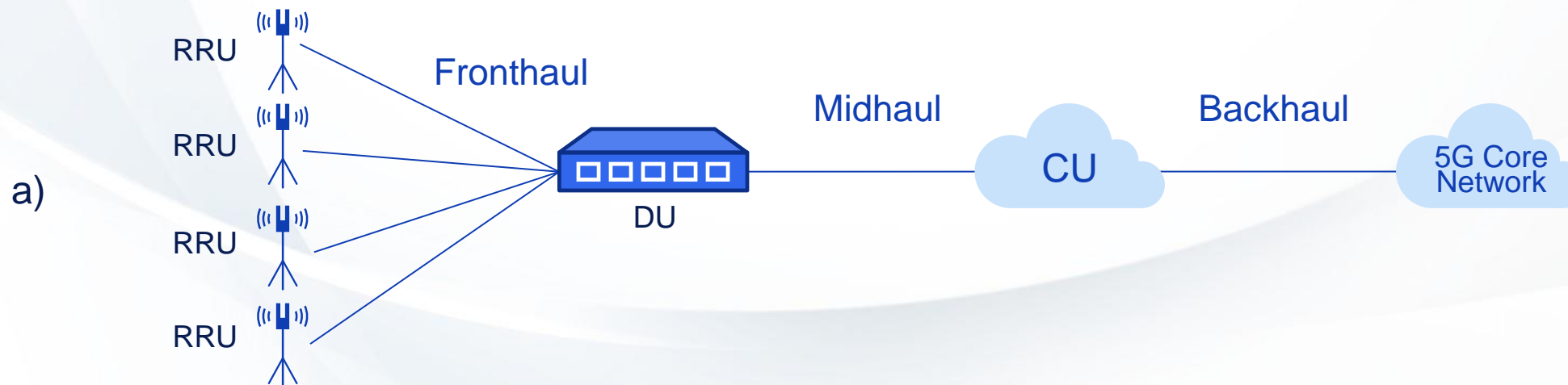
## Пример реализации срезов в сети 5G





- Транспортная сеть 5G будет строиться преимущественно на базе ВОЛС с применением технологий DWDM, OTN, Ethernet/IP, IP/MPLS.
- Технологии SDN/NFV, MEC, NFV-MANO нацелены на обеспечение выполнения требований к скорости передачи и задержкам передачи, предъявляемых к транспортной сети со стороны новых услуг 5G. Одновременно они упростят сетевое оборудование, обеспечат централизованное конфигурирование и повысят эффективность использования сетевых ресурсов.

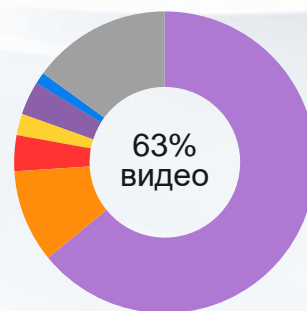
- В перспективных транспортных сетях 5G технологии SDN/NFV должны применяться на уровне L1-L2, L3 в сетях DWDM, OTN, Ethernet, IP/MPLS.
- В транспортных сетях 5G будет использоваться интеллектуальный протокол SRv6, который разрабатывается IETF и базируется на архитектуре маршрутизации по сегментам.
- Стандарт IEEE 802.3bs открыл путь к внедрению в транспортных сетях модулей со скоростью 200/400 Гбит/с.



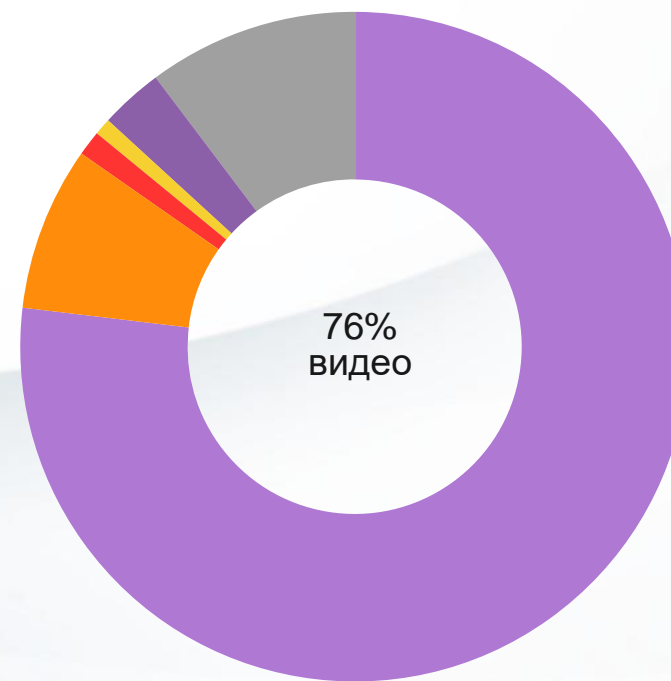
Участки транспортной сети 5G



- Видео
- Социальные сети
- Просмотры в Web браузерах
- Аудио
- Загрузка и апгрейд программного обеспечения
- P2P совместное использование файлов
- Другие сегменты

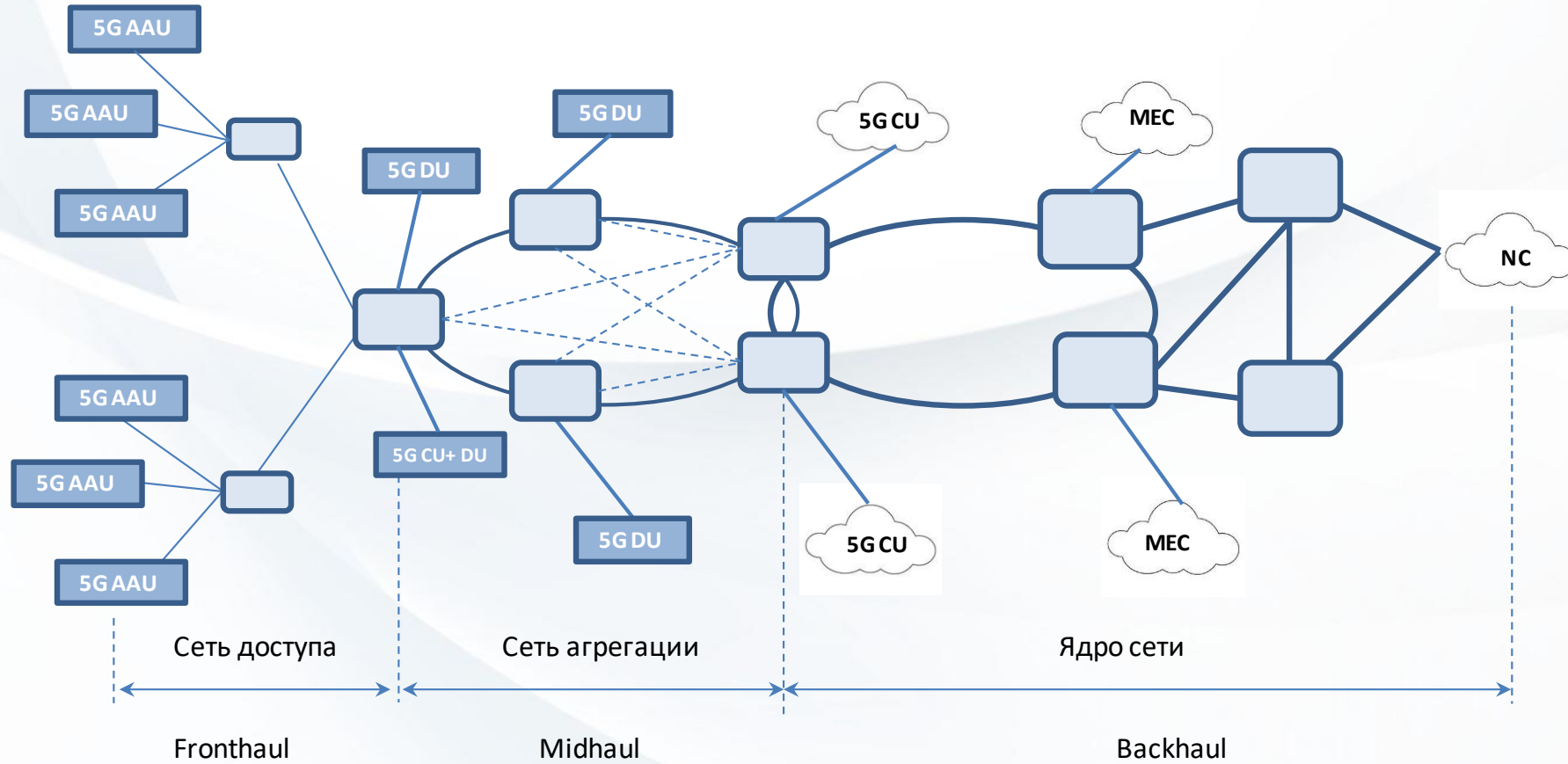


2019  
33 Эксабайт  
в месяц



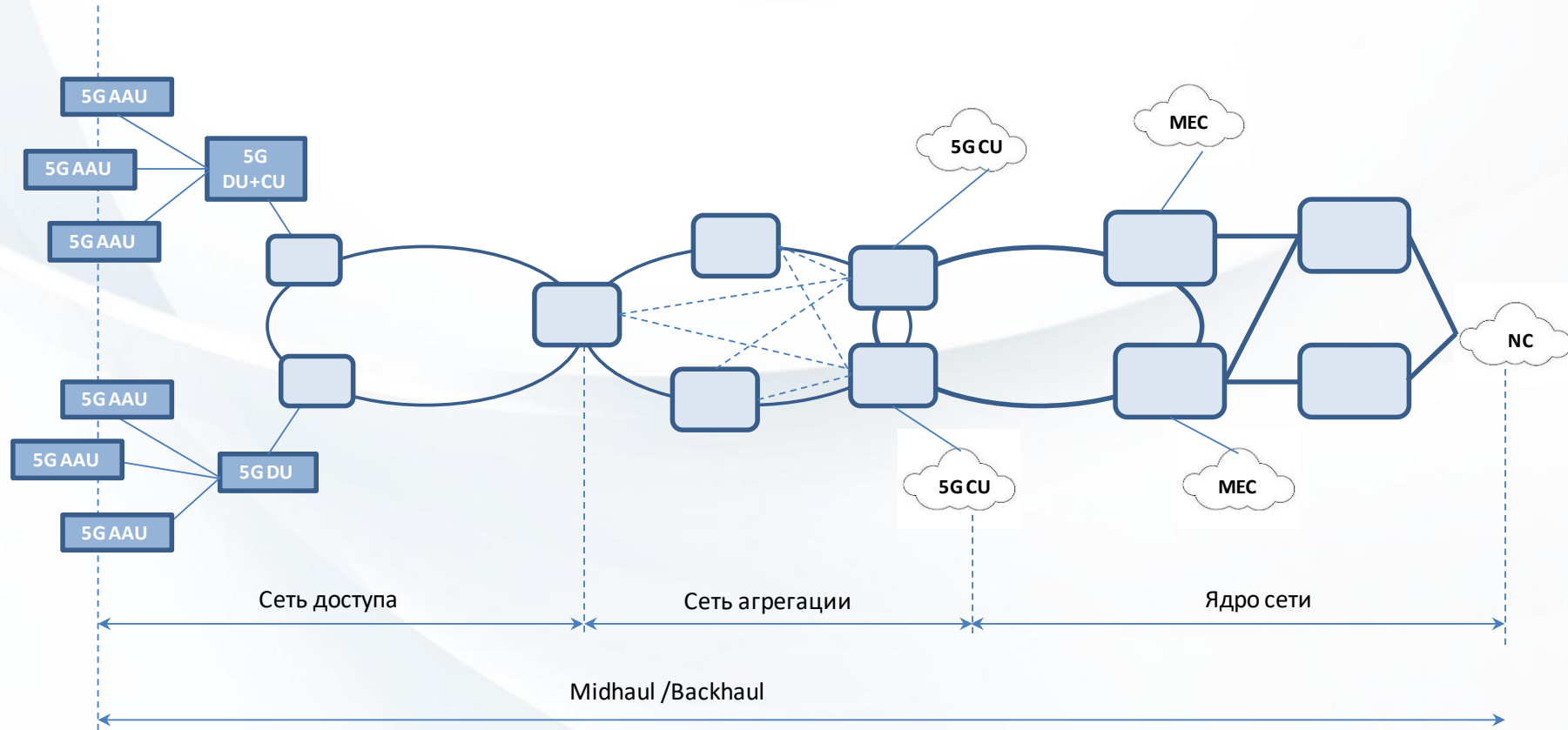
2025  
164 Эксабайт  
в месяц

Мобильный трафик по категориям приложений в месяц (в процентах)



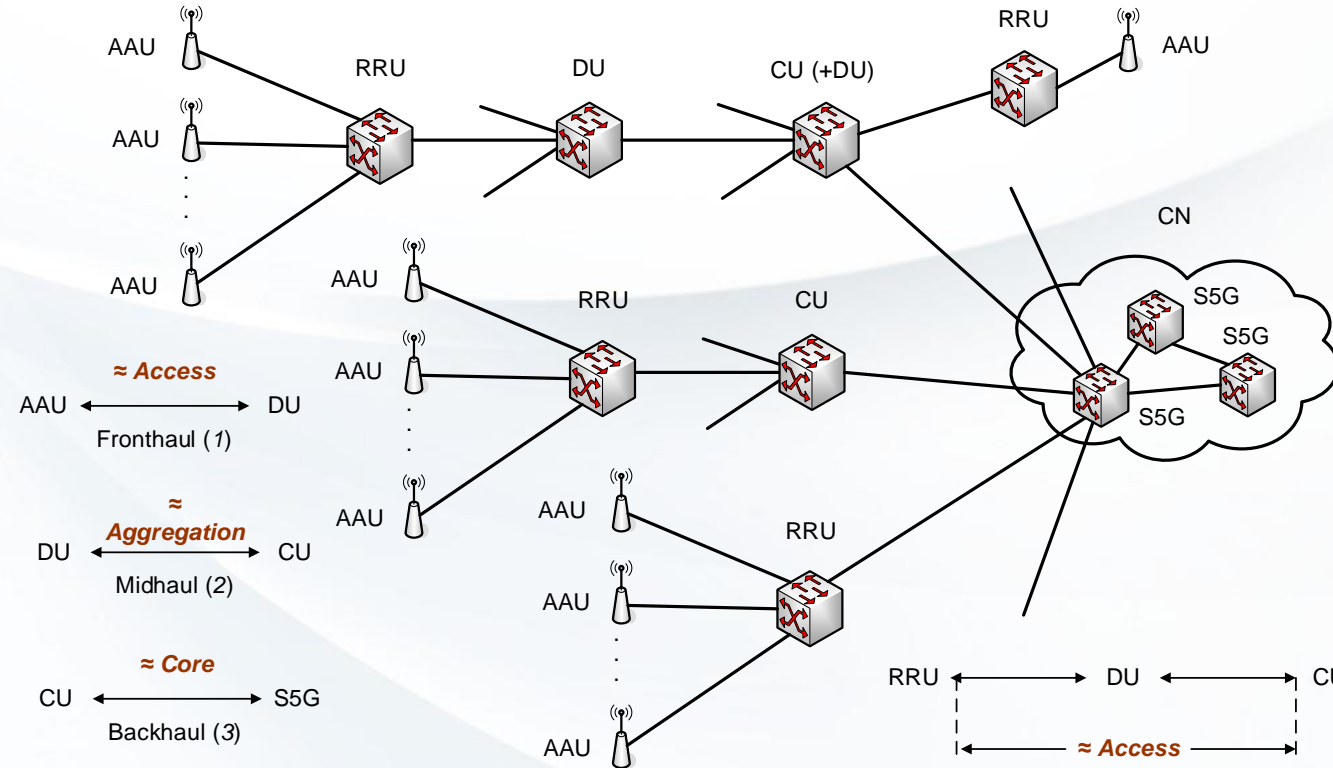
Централизованная схема построения транспортной сети 5G (C-RAN)



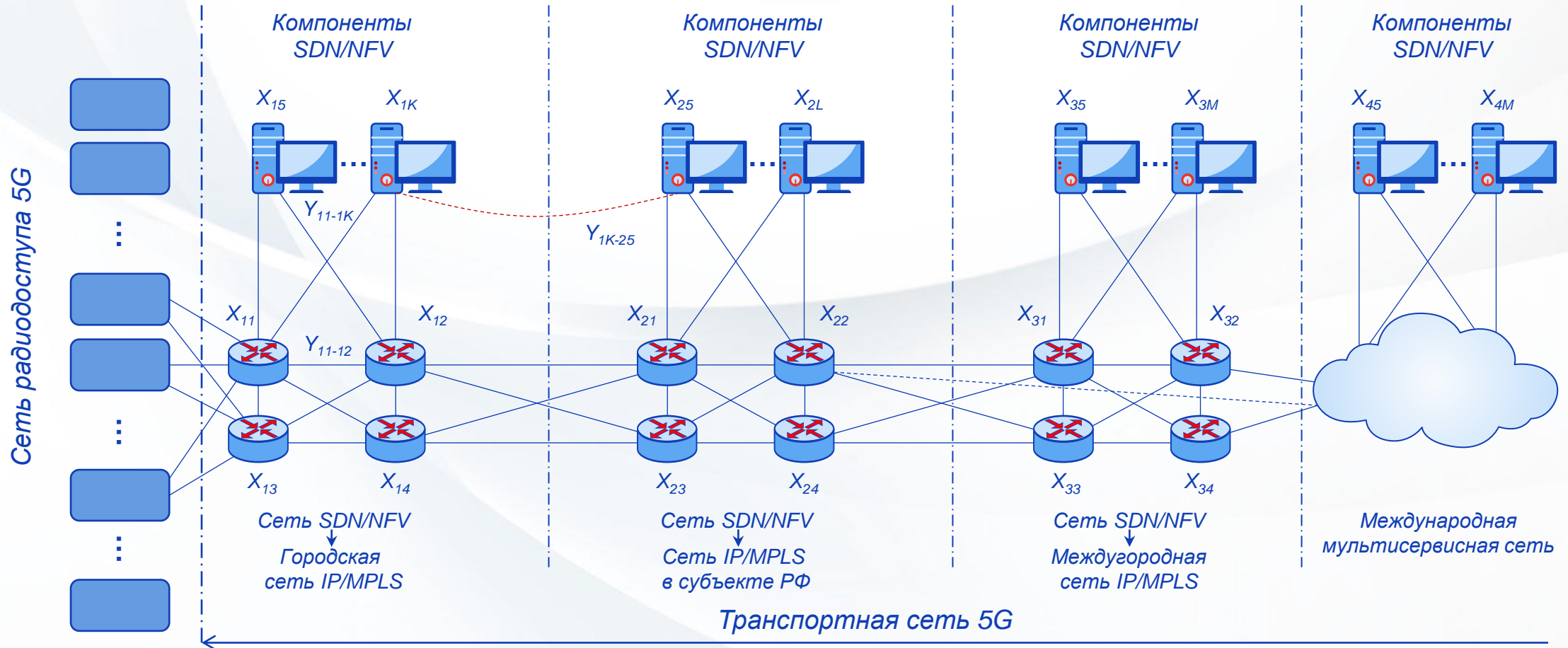


Децентрализованная схема построения транспортной сети 5G (D-RAN)

## СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ 5G



AAU (Active Antenna Unit) – активный антенный модуль, RRU (Remote Radio Unit) – удаленный радио модуль, DU (Distributed Unit) – распределенный узел, CU (Centralized Unit) – централизованный узел, S5G (Switch 5G) – узел коммутации в базовой сети 5G, CN (Core Network) – базовая сеть.



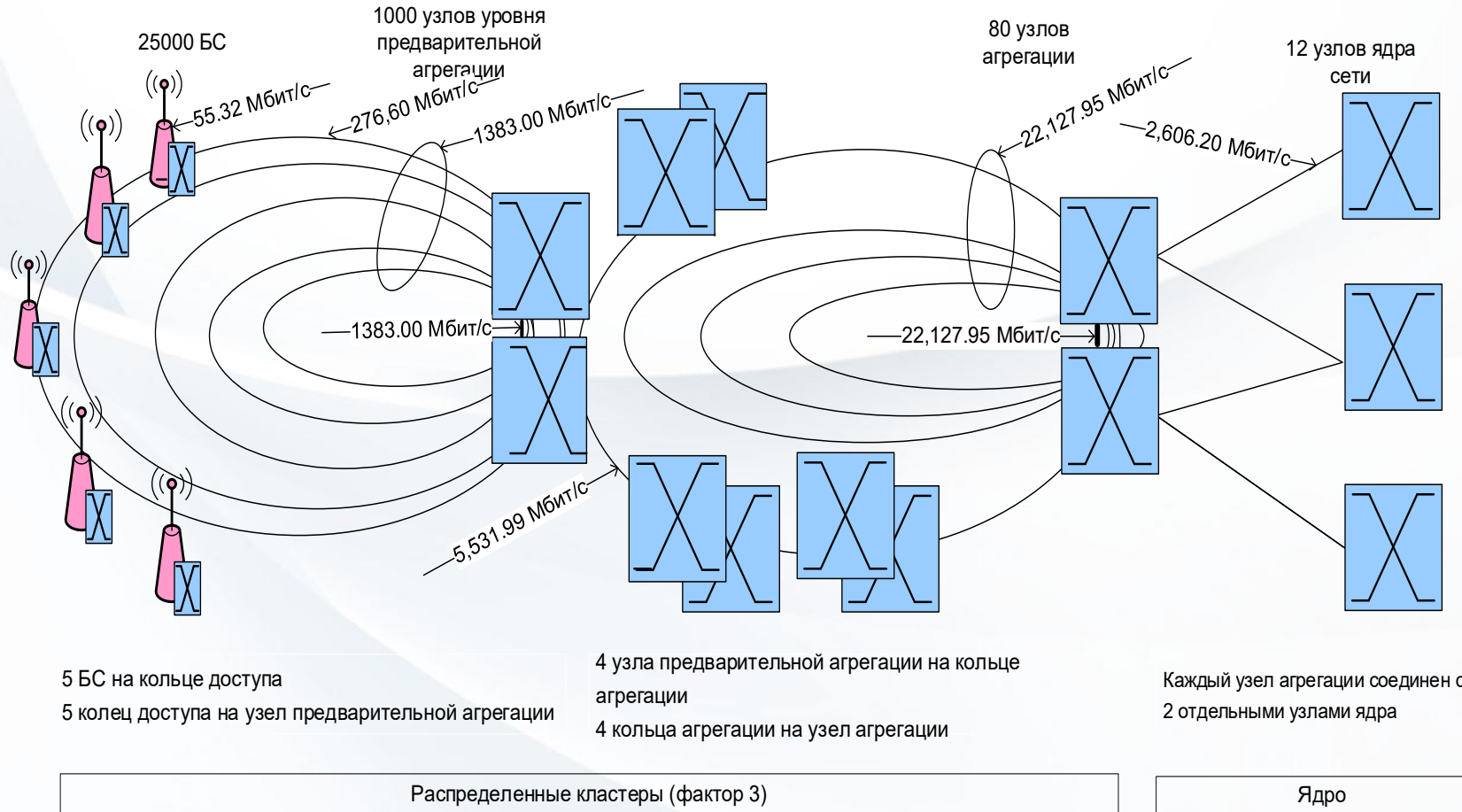
Иерархическая модель транспортной сети 5G



## Обобщенный алгоритм расчета пропускной способности транспортной сети 5G

Алгоритм расчета пропускной способности транспортной сети 5G состоит в последовательном выполнении методических шагов, определяющих параметры и характеристики проектируемой транспортной сети 5G.





Схематичное представление оценки трафика



## Требования к транспортной сети мобильной системы 5G :



- высокая пропускная способность,
- высокая защищенность от внешних электромагнитных помех,
- оперативность развертывания,
- масштабируемость,
- надежность,
- живучесть,
- долговечность,
- совершенство технологий сооружения,
- оптимальные капитальные и эксплуатационные затраты.

Всем этим сложным и противоречивым требованиям наилучшим образом отвечают волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) с волоконно-оптическими системами передачи (ВОСП).



## Код приложения волоконно-оптической системы передачи (ВОСП): PnWx-YTZ,



- P, в случае наличия, указывает на код приложения, применяемый к междоменному интерфейсу IrDI с любым оптическим трибутарным сигналом определенного класса.
- n – максимальное количество каналов, поддерживаемых ВОСП.
- W – буква, обозначающая оптическую длину участка, например:
- I – участок внутриофисной сети (затухание до 7 дБ);
- S – короткий участок (затухание до 11 дБ);
- L – длинный участок (затухание до 22 дБ);
- V – очень длинный участок (затухание до 33 дБ);
- U – сверх длинный участок (затухание до 44 дБ).



## Код приложения волоконно-оптической системы передачи (ВОСП): PnWx-YTZ,



- x - максимально допустимое количество усилительных участков ВОСП.
- Y - указывает высший класс поддерживаемого оптического трибутарного сигнала: 1 – NRZ 2,5G; 2 – NRZ 10G; 9 – NRZ 25G; 3 – NRZ 40 G; 7 – RZ 40G.
- T – буква, обозначающая уровень мощности:
- A – уровни мощности, соответствующие бустерному усилителю на передающем элементе оптической сети (ONE), и уровни мощности, соответствующие предварительному усилителю в оконечном ONE;
- B – уровни мощности только для бустерного усилителя;
- C – уровни мощности только для предварительного усилителя;
- D – уровни мощности, пригодные для работы без усилителей.
- Z – буква, означающая источник излучения и тип оптического волокна.





# Код приложения волоконно-оптической системы передачи (ВОСП): PnWx-YTZ,



Для некоторых кодов приложений в конце кода добавляется суффикс:

- F, – приложение требует передачи байтов прямого исправления ошибок (FEC);
- D, – приложение включает в себя адаптивную компенсацию дисперсии;
- E, – приложение требует использования приемника, способного к компенсации дисперсии;
- r, – указывает на ограничение по дисперсии;
- a – указывает на уровни мощности передатчика, соответствующие приемникам с лавинным фотодиодом (APD);
- b, – указывает на уровни мощности передатчика, соответствующие приемникам с PIN-диодом.



## Код приложения двунаправленной ВОСП: ADcW-y-tz



- **AD** - индикатор городских систем DWDM;
- **c**: расстояние между каналами в ГГц;
- **W**: буква, классифицирует участки по длине, например:
- **S** означает короткий участок;
- **y**: указывает самый высший класс поддерживаемых оптических трибутарных сигналов:
- **2**: указывает на линейный сигнал NRZ 10G;
- **t**: указывает конфигурацию, поддерживаемую кодом приложения; в данной Рекомендации используется единственное значение: - **D**, означающее то, что канал не содержит оптических усилителей.
- **z**: указывает тип оптического волокна, например, 2 - волокно G.652.

Табл. 1

## Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 2.5G для коротких участков



Параметр	Ед. изм.	P1I1-1D1	P1S1-1D1	P1S1-1D2
Общая информация				
Максимальное количество каналов	–	1	1	1
Линейный код оптического трибутарного сигнала	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G
Максимальная вероятность ошибки	–	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>
Тип оптического волокна	–	G.652	G.652	G.652
Интерфейс в точке MPI-S				
Рабочий диапазон длин волн	нм	1266 - 1360	1266 - 1360	1530 - 1565
Тип источника излучения		MLM	SLM	SLM
Среднее квадратическое значение ширины	нм	3,4	Под изучением	Под изучением
Ширина на уровне – 20 дБ	нм	Под изучением	1	< 1
Максимальное подавление боковых мод	дБ	Под изучением	30	30
Максимальная средняя мощность на выходе	дБм	- 3	0	0
Минимальная средняя мощность на выходе	дБм	- 10	- 5	- 5
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	8,2	8,2	8,2
Глаздиаграмма	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G
ЭКУ между точками MPI-S и MPI-R				
Максимальное затухание	дБ	6	11	11
Минимальное затухание	дБ	0	0	0
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней частоте	пс/нм	+/-12	+/-140	800
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней частоте	пс/нм	+/-12	+/-140	715
Минимальное значение затухания отражения в точке MPI-S	дБ	14	14	14
Максимальное дискретное отражение между точками MPI-S и MPI-R	дБ	- 27	- 27	- 27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	120	120	120
Интерфейс в точке MPI-R				
Максимальная средняя мощность на входе канала	дБм	- 3	0	0
Минимальная чувствительность	дБм	- 17	- 17	- 17
Энергетический запас на ЭКУ	дБ	1	1	1
Максимальное отражение на сетевом элементе	дБ	- 14	- 14	- 14

Табл. 5

## Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 10G для длинных участков



Параметр	Ед. изм.	P1L1-2D1	P1L1-2D2	P1L1-2D2F
Код применения по G.691		L-64.1		
Общая информация				
Максимальное количество каналов	–	1	1	1
Линейный код оптического трибутарного сигнала	–	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ OTU2 FEC
Максимальная вероятность ошибки	–	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup> 1)
Тип оптического волокна	–	G.652	G.652	G.652
Интерфейс в точке MPI-S				
Рабочий диапазон длин волн	нм	1290 - 1320	1530 - 1565	1530 - 1565
Тип источника излучения		SLM	SLM	SLM
Максимальная спектральная плотность мощности	мВт/10МГц	FFS ФФС	FFS ФФС	FFS ФФС
Макс. подавление боковых мод	дБ	30	30	30
Макс. средняя мощность на выходе	дБм	+ 7	+ 4	+ 4
Мин. средняя мощность на выходе	дБм	+ 3	0	- 1
Мин. коэффициент экстинкции	дБ	6	8,2	8,2
Глаздиаграмма	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G
ЭКУ между точками MPI-S и MPI-R				
Максимальное затухание	дБ	22	22	24
Минимальное затухание	дБ	16	11	11
Максимальная хроматическая дисперсия на верхней частоте	пс/нм	+/-140	1600	1600
Максимальная хроматическая дисперсия на нижней частоте	пс/нм	+/-140	1430	1430
Минимальное значение затухания отражения в точке MPI-S	дБ	24	24	24
Максимальное дискретное отражение между точками MPI-S и MPI-R	дБ	- 27	- 27	- 27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30
Интерфейс в точке MPI-R				
Макс. средняя мощность на входе канала	дБм	- 9	- 7	- 7
Минимальная чувствительность	дБм	- 20	- 24	- 25
Энергетический запас на ЭКУ	дБ	1	2	2
Максимальное отражение на сетевом элементе	дБ	- 27	- 27	- 27

Примечания: 1) Вероятность ошибки для этих кодов определяется только после установки блока предварительной коррекции (FEC), понижающей ее до 10<sup>-12</sup>.

# Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 10G для длинных и сверхдлинных участков с электронной компенсацией дисперсии



Параметр	Ед. изм.	P1L1-2D2E	1L1-2D2FE	P1V1-2B2E	1L1-2B2FE
Общая информация					
Максимальное количество каналов	-	1	1	1	1
Линейный код оптического трибутарного сигнала	-	NRZ 10G	NRZ OTU2 FEC	NRZ 10G	NRZ OTU2 FEC
Максимальная вероятность ошибки	-	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>
Тип оптического волокна	-	G.652	G.652	G.652	G.652
Интерфейс в точке MPI-S					
Рабочий диапазон длин волн	нм	1530 - 1565	1530 - 1565	1530 - 1565	1530 - 1565
Источник излучения	-	SLM	SLM	SLM	SLM
Макс. уход частоты	ГГц	30	30	30	30
Тип источника излучения	-	SLM	SLM	SLM	SLM
Мин. подавление боковых мод	дБ	30	30	30	30
Максимальная средняя мощность на выходе канала	дБм	+ 4	+ 4	+ 14	+ 14
Минимальная средняя мощность на выходе канала	дБм	0	- 1	+ 11	+ 11
Максимальный коэффициент экстинкции канала	дБ	8,2	8,2	8,2	8,2
Глаздиаграмма	-	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G
ЭКУ между точками MPI-S и MPI-R					
Максимальное затухание	дБ	22	22	33	33
Минимальное затухание	дБ	11	11	21	21
Макс. хроматическая дисперсия на верхней частоте	рс/нм	1600	1600	2400	2400
Макс. хроматическая дисперсия на нижней частоте	рс/нм	1430	1430	2150	2150
Минимальное значение затухания отражения в точке MPI-S	дБ	24	24	24	24
Макс. дискретное отражение между точками MPI-S и MPI-R	дБ	- 27	- 27	- 27	- 27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30	30
Интерфейс в точке MPI-R					
Макс. средняя мощность на входе канала	дБм	- 7	- 7	- 7	- 7
Минимальная чувствительность	дБм	- 24	- 25	- 24	- 24
Энергетический запас на ЭКУ	дБ	2	2	2	2
Максимальное отражение на сетевом элементе	дБ	- 27	- 27	- 27	- 27

сетевом элементе

# Параметры интерфейсов и сигналов для коротких, длинных и сверхдлинных участков ВОСП транспортной сети 5G



Таблица	Наименование
1	Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 2.5G для коротких участков и локальных (офисных) сетей
2	Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 2.5G для длинных участков
3	Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 2.5G для сверхдлинных участков
4	Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 10G для короткого участка с OB G.652
5	Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 10G для длинных участков
6	Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 10G для сверхдлинных участков
7	Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 40G для коротких и длинных участков TC 5G на длине волны 1300 нм
8	Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 10G для длинных и сверхдлинных участков с электронной компенсацией дисперсии
9	Параметры одноканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 40G для коротких и длинных участков на длине волны 1550 нм
10	Параметры многоканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 2.5G для короткого участка (без линейных усилителей и внутридоменных элементов)
11	Параметры многоканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 10G для короткого участка (без линейных усилителей и внутридоменных элементов)
12	Параметры многоканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 2.5G и NRZ 10G для длинного участка (без линейных усилителей и внутридоменных элементов)
13	Параметры многоканального междоменного интерфейса IrDI и сигнала NRZ 25G
14	Параметры многоканальных интерфейсов для направления от головного оборудования (НЕЕ) к оконечному (ТЕЕ) для каналов, разнесенных на 100 ГГц
15	Параметры многоканальных интерфейсов для направления от оконечного оборудования (ТЕЕ) к головному (НЕЕ) для каналов, разнесенных на 100 ГГц
16	Параметры многоканальных интерфейсов для направления от головного оборудования (НЕЕ) к оконечному (ТЕЕ) для каналов, разнесенных на 50 ГГц
17	Параметры многоканальных интерфейсов для направления от оконечного оборудования (ТЕЕ) к головному (НЕЕ) для каналов, разнесенных на 50 ГГц



В 2020 году ФГУП ЦНИИС выполнил НИР «РАЗРАБОТКА МЕТОДИК:

- РАСЧЕТА И ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОПУСКНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ,
- РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ И ПЛАНА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ,
- ПЛАНИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ

для ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ 5G НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ И ВИРТУАЛИЗАЦИИ СЕТЕВЫХ ФУНКЦИЙ (SDN/NFV)».

В ПРОЦЕССЕ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТАНОВЛЕНО, ЧТО ОПТИМАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ 5G – ОТ РАДИОГОЛОВКИ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ ДО СЕТЕВОГО УЗЛА ОПЕРАТОРА ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ – В ПОДАВЛЯЮЩЕМ БОЛЬШИНСТВЕ СЛУЧАЕВ РЕАЛИЗУЕТСЯ ПРИ ПОМОЩИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ВОСП, НОРМАЛИЗУЕМЫЕ КОДАМИ ПРИМЕНЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮТ ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ 5G ШИРОКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ В ЧАСТИ КОЛИЧЕСТВА ВОЛОКОН, ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И ДЛИНЫ УЧАСТКОВ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗНООБРАЗНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ.

# ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ



Благодарим за внимание!