

## Мировой рекорд беспроводной передачи данных: 40 Гбит/с на 11 километров



В августе 2019 года в России впервые в мире выполнили коммерческий проект по беспроводному резервированию магистрального оптического кабеля емкостью 40 Гбит/с. ООО «Единство», дочерняя компания Норникеля, с помощью такого канала пробросила 11-километровый беспроводной бэкап через Енисей.

Периодически в прессе, и на Хабре в том числе, появляются заметки о мировых рекордах беспроводной связи. Они интересны с точки зрения прогресса технологий, но это всегда именно исследовательские тесты. А тут реальный коммерческий проект, и не в тепличных условиях Силиконовой долины или европейского университета, а прямо в тайге на Полярном круге. Как ни удивительно, но именно огромная страна, сложные географические и климатические условия создают предпосылки для проектов, которые дают фору лучшим исследовательским лабораториям.

### Хронология последних рекордов беспроводной связи:

- **Май 2013**, 40 Гбит/с на 1 км на экспериментальной частоте 240 ГГц как [совместный эксперимент](#) ученых Технологического института Карлсруэ, компании Radiometer Physics GmbH и Фраунhoferского института прикладной физики твердого тела. Частота сигнала недоступна для коммерческого использования.
- **Май 2016**: 6 Гбит/с на 37 км в диапазоне 70/80 ГГц, та же команда, но как [новый эксперимент](#) на частотах, выделенных для коммерческих проектов,
- **Ноябрь 2016**: 20 Гбит/с на 13 км, исследовательский центр [Facebook Connectivity Lab](#),
- **Январь 2019**, 40 Гбит/с на 1,4 км, [полигон Deutsche Telekom на серийном оборудовании Ericsson](#), в **мае 2019** масштабирование тех же самых линков на том же полигоне уже [до 8 в ряд](#) дало около 100 Гбит/с,
- **Август 2019**, 40 Гбит/с на 11 км, Норильский оператор «Единство» [на серийном оборудовании ООО «ДОК»](#) (Санкт-Петербург).

Собственно говоря, никакого рекорда беспроводной связи в условиях Полярного круга могло бы и не быть, если бы не ледоход на Енисее. Предыстория проекта такова — в 2017 году, после того, как операторы «большой тройки» отказались развивать связь в направлении Таймыра, корпорация ПАО «ГМК Норильский никель» на собственные средства построила огромную по протяженности (956 км) волоконно-оптическую магистраль (ВОЛС) от Нового Уренгя до Норильска емкостью 40 Гбит/с. Это реально сложная трасса, проходящая по труднопроходимой местности, и ее строители за эту работу получили правительственные награды.

Одна из проблем при эксплуатации — переход 40-гигабитного кабеля ВОЛС через Енисей в отсутствие мостов решено было пустить по дну реки, причем для надежности было уложено несколько кабелей. Но ледоход легко повреждает оптику. Причем, ледоход на Енисее — это мероприятие далеко не на один день, и никакие ремонтные работы на воде все это время не разрешены ввиду высокой опасности для людей.

Кроме дополнительных кабелей на дне Енисея, трасса резервировалась беспроводным радиорелейным каналом 1 Гбит/с с телекоммуникационных вышек по обе стороны реки, в Игарке и поселке Прилуки. Но что такое 1 Гбит/с для обеспечения всего Норильского промышленного района в случае повреждения оптики ... — слезы. Поэтому в осенне-зимний период 2018-2019 года Норильский оператор «Единство», входящий в структуру ПАО «ГМК Норильский никель», начал проектные работы по постройке беспроводного канала через Енисей с емкостью, не уступающей магистрали ВОЛС.

К удивлению специалистов «Единства», никто из мировых телекоммуникационных брендов не принял предложения по поставке оборудования для 40-гигабитного беспроводного канала на дальности 11 км. И дело тут именно в сложном сочетании высокой емкости канала и дальности. Современное серийное оборудование на емкость 10 Гбит/с и более для диапазона 70/80 ГГц обладает такой особенностью как весьма ограниченная дальность. Это происходит из-за того, что при сложных схемах кодирования, таких как QAM128 или QAM256, — а только они и могут дать пропускную способность 10 Гбит/с и более, — трудно обеспечить сколь ни будь значительную мощность передатчика. Трассы 3-5 км — это легко, а вот на 11 км затухание сигнала становится излишне велико и никакой связи в стандарте 10GE получить не удастся.

Вызов принял отечественный разработчик из Санкт-Петербурга — компания ДОК. У нее уже были разработки радиомостов, которые обеспечивали необходимую дальность. А перед этим проектом они протестировали канал 40 Гбит/с в виде 4-х совместно работающих радиомостов по 10 Гбит/с на своем 4 км - полигоне, и были уверены, что такую емкость получить возможно. Но на практике, никто никогда в телекоммуникационной индустрии не пробовал поставить вместе 4 параллельно работающих радиомоста по 10 Гбит/с на дистанции 11 км.



Получив отказы от мировых брендов, заказчик в лице ООО «Единство» также не был уверен, что отечественное оборудование справится с проектом. Поэтому было решено вначале поставить в качестве пилотного этапа всего один радиомост 10 Гбит/с на 11 км. А если он себя хорошо зарекомендует, то уже масштабировать задачу до 4-х параллельно работающих радиомостов.

С технической точки зрения совершенно необязательно передавать 40 Гбит/с в одном канале, как по воздуху, так и по оптическому кабелю. Гораздо проще передавать данные по нескольким параллельным «ниткам» 10 Гбит/с. Сетевое оборудование стандарта 10GE дешевле и доступнее, чем коммутаторы стандарта 40GE. Кроме того, параллельные «нитки» придают большую надежность для всего канала.

Но существовала проблема в том, что в отличие от оптического кабеля, где сигнал по параллельным волокнам никак не влияет друг на друга, у радиоканалов возникают взаимные помехи вплоть до полного отказа связи. С этим борются, применяя различную поляризацию сигнала и разнося сигналы по частоте. Но это проще сказать, гораздо труднее реализовать «в железе». Питерцы сделали схемотехнику на больших СВЧ-микросхемах (MMIC, Monolithic Microwave Integrated Circuit) на основе арсенида галлия и были уверены в своем схемотехническом решении.

«Современные радиомосты стандарта 10GE во всем мире делаются на покупных СВЧ-микросхемах. В этой сфере неэффективно вести вертикально-интегрированную разработку, когда все техпроцессы выполняются в одной фирме — от напыления СВЧ-чипов до сборки компонентов в готовое изделие. Это примерно так же, как множество фирм делают компьютерные платы на основе чипов от Intel и AMD. Однако, в отличие от массовых плат для ПК, для настройки СВЧ-чипов, последующего усиления сигнала и подачи его в антенну требуется особая экспертиза, и это, собственно говоря, и является предметом Ноу-Хау компаний», — прокомментировал Валерий Саломатов, менеджер проектов ООО «ДОК».

Пилотный радиомост 10 Гбит/с модели PPC-10G-E-HP успешно проработал на вышках по берегам Енисея пару месяцев (май-июнь 2019). Летние дожди — самое сложное время для радиосвязи миллиметрового диапазона, т.к. капли дождя соизмеримы с длиной волны (около 4 мм), что порождает ослабление сигнала. Зимой такой проблемы не бывает, т.к. снежинки, также как туман и дым — радиопрозрачны для беспроводной связи диапазона 70/80 ГГц.



## Страница онлайн калькулятора с картой местности и профилем земной поверхности

The screenshot shows a web browser window with a Google Maps interface. On the left, there are input fields for two sites (Site A and Site B) with their respective GPS coordinates and heights. Below this is a 'Terrain Elevations' graph showing a profile of the ground between the two sites, with a maximum elevation of 48.321 meters. The main part of the browser is a Google Maps view showing a river and a path between two points, with a distance of 10872 meters indicated.

## Страница онлайн калькулятора с расчетом доступности (Зона «С», расстояние 10.872км.)

The screenshot shows the DOK online calculator interface. It features a header with the DOK logo and the title 'Калькулятор энергетического запаса радиоканала'. Below the header are input fields for parameters like 'PPC-10G-E', '10000Mbps', and '10872'. There are also two 3D models of a parabolic antenna. A table of results is displayed at the bottom, showing various parameters for different signal strengths and distances.

Доступность	95%	97%	99%	99.1%	99.3%	99.5%	99.7%	99.9%	99.91%	99.93%	99.95%	99.97%	99.991%	99.993%	99.995%	99.997%	99.999%	
Вектор сигнала в пдм	184 dB	104.220-48m	33.159-26m	33.6h-30m	24.13h-13m	18.19h-48m	13.2h-10m	8h-4m	7h-2m	6h-55m	4h-23m	2h-27m	32m-13s	47m-13s	26m-45s	35m-16s	13m-45s	3m-13s
Интенсивность дождя	0,3 mm/h	0,5 mm/h	0,7 mm/h	1,5 mm/h	2,4 mm/h	3,2 mm/h	4,1 mm/h	5 mm/h	6 mm/h	7 mm/h	8 mm/h	11,5 mm/h	15 mm/h	17,5 mm/h	20,3 mm/h	23 mm/h	32,3 mm/h	42 mm/h
Загромождение в дожде	4,9 dB	6,7 dB	8,9 dB	14 dB	19,2 dB	24,4 dB	29,6 dB	34,7 dB	40 dB	45,2 dB	50,4 dB	63,2 dB	76,1 dB	86,3 dB	96,5 dB	106,9 dB	145,9 dB	184,9 dB
Потери затухание	187,8 dB	159,87 dB	162,15 dB	167,32 dB	172,9 dB	177,67 dB	182,85 dB	188,02 dB	193,24 dB	198,46 dB	203,68 dB	218,51 dB	229,34 dB	239,62 dB	249,92 dB	269,21 dB	299,13 dB	338,56 dB
Скорость передачи	10000 Mbps	10000 Mbps	10000 Mbps	10000 Mbps	8400 Mbps	7000 Mbps	5600 Mbps	2800 Mbps	2300 Mbps	1400 Mbps	330 Mbps	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Модуляция	128-QAM	128-QAM	128-QAM	128-QAM	64-QAM	32-QAM	16-QAM	QPSK	QPSK	BPSK	BPSK bi/4	BPSK bi/4	BPSK bi/4	BPSK bi/4	BPSK bi/4	BPSK bi/4	BPSK bi/4	BPSK bi/4
Ширина канала	2000MHz	2000MHz	2000MHz	2000MHz	2000MHz	2000MHz	2000MHz	2000MHz	2000MHz	2000MHz	500MHz	500MHz	500MHz	500MHz	500MHz	500MHz	500MHz	500MHz
Мощность	20,2 dBm	20,2 dBm	20,2 dBm	20,2 dBm	21,2 dBm	22,6 dBm	23,4 dBm	24,9 dBm	24,9 dBm	26,3 dBm	26,3 dBm	26,3 dBm	26,3 dBm	26,3 dBm	26,3 dBm	26,3 dBm	26,3 dBm	26,3 dBm
Чувствительность	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm
Бюджет радио	171,2 dB	171,2 dB	171,2 dB	171,2 dB	176,2 dB	180,6 dB	185,4 dB	192,9 dB	193,9 dB	196,5 dB	204,9 dB	204,9 dB	204,9 dB	204,9 dB	204,9 dB	204,9 dB	204,9 dB	204,9 dB
Запас на дождь	17,9 dB	17,9 dB	17,9 dB	17,9 dB	22,9 dB	27,9 dB	32,1 dB	43,9 dB	40,6 dB	43,2 dB	51,2 dB	51,1 dB	51,2 dB	51,1 dB	51,1 dB	51,1 dB	51,2 dB	51,2 dB

Радиомост 10 Гбит/с от ООО «ДОК» справился с погодными условиями и расстоянием, после чего на основании статистики доступности линии связи оператором «Единство» было принято решение о масштабировании в 4 параллельных беспроводных канала емкостью 10GE каждый. Монтаж выполняли специалисты компании «Единство», которые самостоятельно разобрались с тонкостями настройки по инструкциям к оборудованию. В конце июля 2019 года радиомост 40 Гбит/с (4x 10 Гбит/с) через Енисей был принят в промышленную эксплуатацию в присутствии шеф-монтажной команды от компании «ДОК».