



Белорусский государственный  
университет информатики и  
радиоэлектроники



Белорусские облачные  
технологии



Международный Союз  
Электросвязи

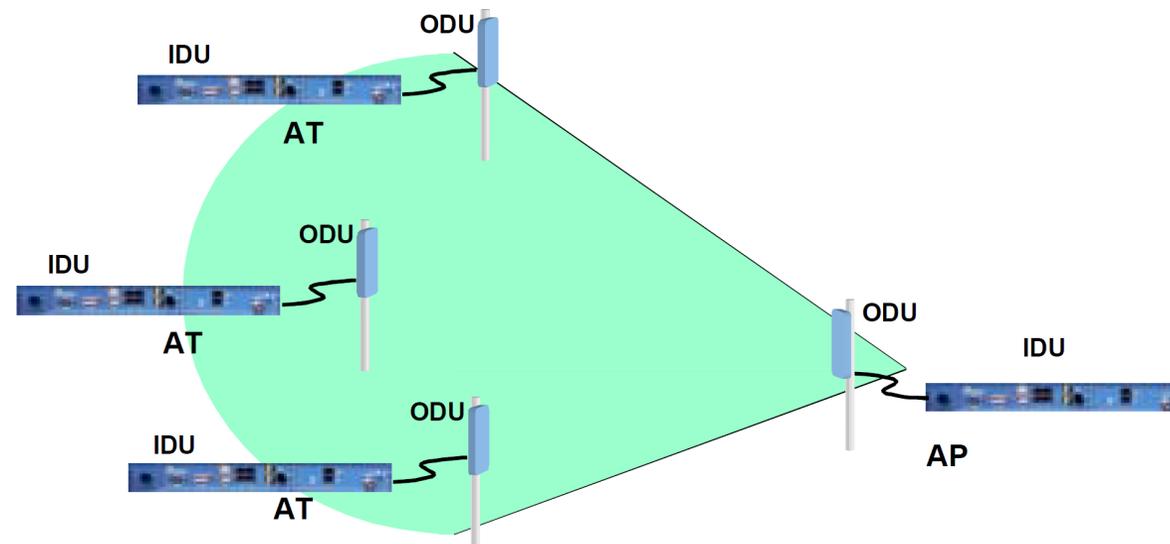
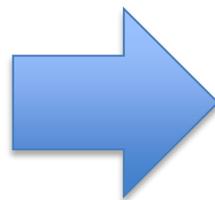
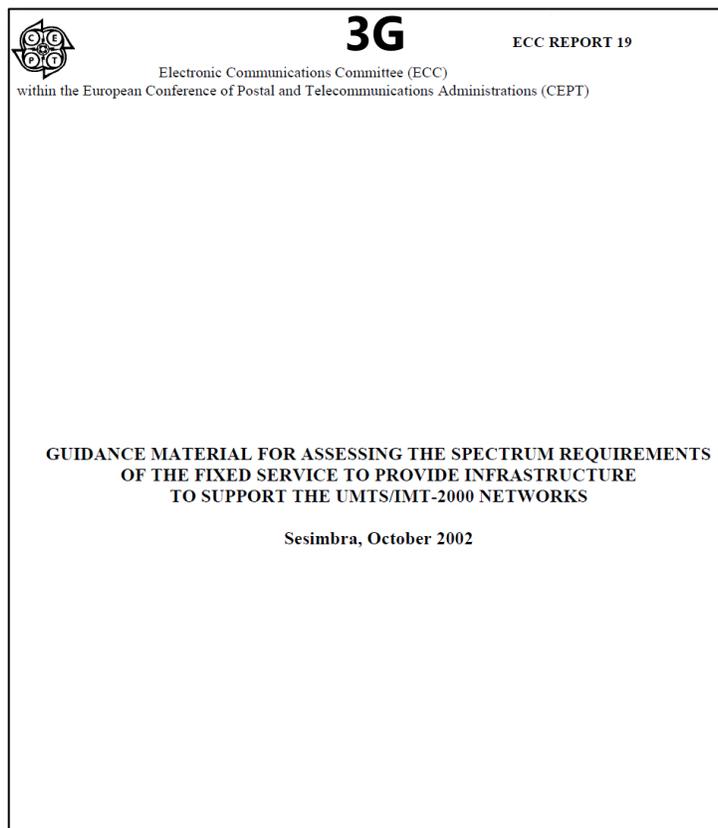
## **«Международный опыт внедрения доступ FWA на основе мобильных сетей»**

Вадим Посакаухин, Эксперт Международного союза электросвязи,  
Технический директор Ubiquitous Wireless LLP

# Содержание доклада

- История FWA до 5G
- Текущие состояние и прогнозы развития рынка FWA
- Примеры стратегий операторов по предоставлению услуг FWA

## Оценка потребности в переходе от РРЛ к топологии точка – многоточие на заре



Радиорелейные диапазоны и частотные планы, но в регионе СНГ некоторое распространение получили:

- 10 ГГц;
- 26 ГГц;
- 28 ГГц.

**Несмотря на название FWA по факту не являлось технологией для подключения абонентов**

## Успех диапазона 5 ГГц в США



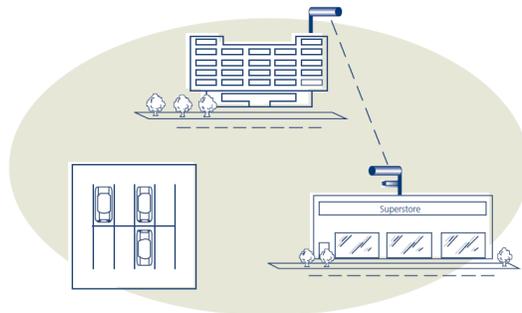
IEEE 802.11a

Увеличить мощность ЭИИМ на центральной и абонентской станции за счет антенн

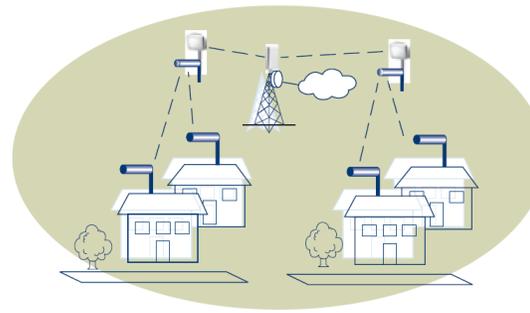


Добавить метод доступа поверх без коллизий поверх 802.11a

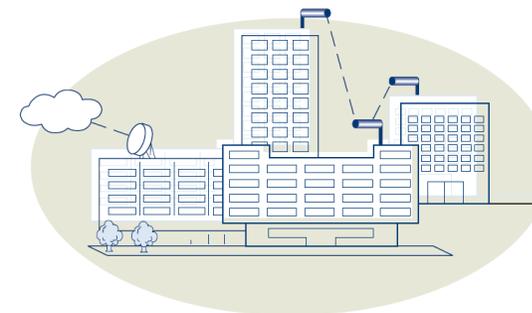
## Целый набор проприетарных решений



Security and Surveillance

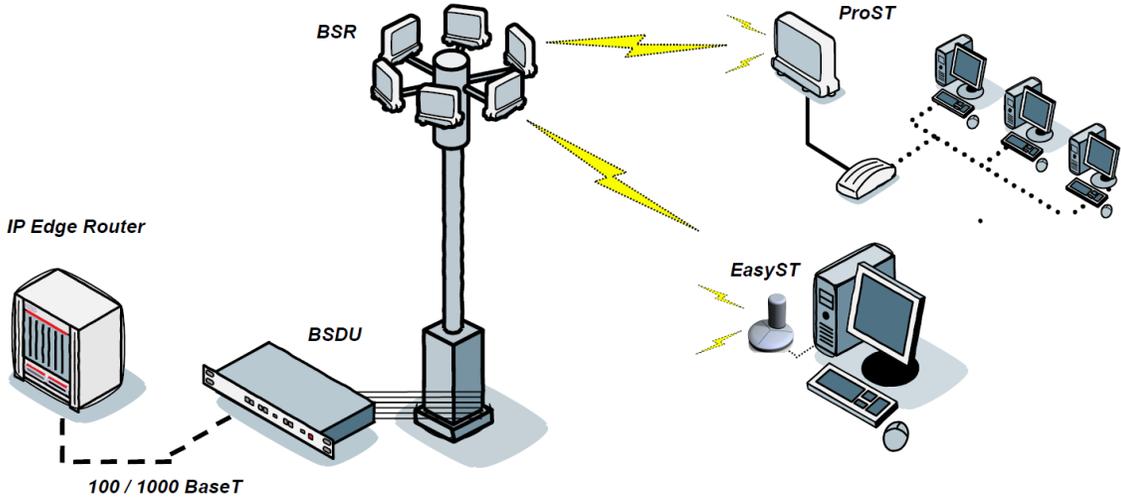


Last Mile Access



Metropolitan Area Networking

## Пример архитектуры сети Fixed WiMAX



## Mobile WiMAX как технология IMT-Advanced

112 Рек. МСЭ-R М.2012-1  
**Приложение 2**  
**Спецификация технологии радиointерфейса WirelessMAN-Advanced<sup>12</sup>**

**Введение**  
 IMT-Advanced является системой, разрабатываемой во всем мире, и спецификации наземных радиointерфейсов систем IMT-Advanced, определенные в настоящей Рекомендации, были разработаны МСЭ в сотрудничестве со *сторонниками GCS<sup>13</sup> и транспонирующими организациями*. В документе IMT-ADV/24(Rev.1) отмечается, что:

- *сторонник GCS* должен быть одним из *сторонников RT<sup>14</sup>/SRT<sup>15</sup>* по соответствующей технологии и должен иметь разрешение на предоставление МСЭ соответствующих прав на официальное использование соответствующих спецификаций, представленных в GCS в соответствии с технологией, описанной в Рекомендации МСЭ-R М.2012;
- *транспонирующая организация* должна получить разрешение от соответствующего *сторонника GCS* на разработку транспонированных стандартов для определенной технологии и также должна иметь соответствующие права на использование.

Далее отмечается, что *сторонники GCS и транспонирующие организации* должны быть также надлежащим образом квалифицированы в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 9-4 и руководящими указаниями МСЭ-R "по процедурам осуществления вклада по материалам других организаций в работу исследовательских групп и процедурам приглашения других организаций принять участие в изучении конкретных вопросов" (Резолюция МСЭ-R 9-4).

МСЭ установил глобальные и всеобщие рамки и требования, а также разработал Глобальную основную спецификацию вместе со *сторонниками GCS*. Признанные *транспонирующие организации*, работающие вместе со *сторонниками GCS*, взяли на себя обязательство по разработке подробной спецификации. Поэтому в настоящей Рекомендации часто используются ссылки на разработанные и/или спецификации.

Такой подход был признан наиболее подходящим решением для обеспечения возможности завершения разработки настоящей Рекомендации в кратчайшие сроки, установленные МСЭ, и удовлетворения потребностей администраций, операторов и производителей.

Таким образом, настоящая Рекомендация была разработана с использованием в полной мере этого метода работы и с соблюдением сроков всемирной стандартизации. Основной текст настоящей Рекомендации был разработан МСЭ. В каждом приложении содержится ссылка с указанием местоположения более подробной информации.

В настоящем Приложении 2 содержится подробная информация, разработанная МСЭ и IEEE (*сторонник GCS*), а также IEEE, ARIB, TTA, ITRI и Форумом WiMAX (*транспонирующие организации*). Использование механизма ссылок позволяет своевременно завершить разработку и осуществлять обновление имеющих большую важность элементов настоящей Рекомендации с проведением необходимых процедур контроля изменений, транспонирования и публичного обсуждения в сторонних организациях. Эта информация в основном принимается без изменений с учетом необходимости сведения к минимуму повторного выполнения работы, а также необходимости упрощения и поддержки непрерывного процесса обновления и актуализации.

Отмечая, что подробную информацию по радиointерфейсам в основном следует получать путем обращения к результатам работы сторонних организаций, в настоящем общем соглашении подчеркивается не только значительная роль МСЭ как катализатора процессов стимулирования,

<sup>12</sup> Разработана IEEE в качестве спецификации *WirelessMAN-Advanced*, включенной в стандарт IEEE Std 802.16 после утверждения стандарта IEEE Std 802.16m.  
<sup>13</sup> Глобальная основная спецификация.  
<sup>14</sup> Технология радиointерфейса.  
<sup>15</sup> Совокупность технологий радиointерфейса.

ТАБЛИЦА 2.1  
**Параметры OFDMA**

Номинальная полоса частот канала (МГц)		5	7	8,75	10	20		
Коэффициент дискретизации		28/25	8/7	8/7	28/25	28/25		
Частота дискретизации (МГц)		5,6	8	10	11,2	22,4		
Размер БПФ		512	1 024	1 024	1 024	2 048		
Разнос поднесущих (кГц)		10,94	7,81	9,76	10,94	10,94		
Полезная длительность символа $T_u$ (мкс)		91,429	128	102,4	91,429	91,429		
Длительность символа $T_s$ (мкс)		102,857	144	115,2	102,857	102,857		
CP $T_g = 1/8 T_u$	FDD	Количество символов OFDM в кадре длительностью 5 мс		48	34	43	48	48
	Незаполненный интервал (мкс)		62,857	104	46,40	62,857	62,857	
	TDD	Количество символов OFDM в кадре длительностью 5 мс		47	33	42	47	47
TTG + RTG (мкс)		165,714	248	161,6	165,714	165,714		
CP $T_g = 1/16 T_u$	FDD	Количество символов OFDM в кадре длительностью 5 мс		97,143	136	108,8	97,143	97,143
	Незаполненный интервал (мкс)		51	36	45	51	51	
	TDD	Количество символов OFDM в кадре длительностью 5 мс		45,71	104	104	45,71	45,71
TTG + RTG (мкс)		142,853	240	212,8	142,853	142,853		
CP $T_g = 1/4 T_u$	FDD	Количество символов OFDM в кадре длительностью 5 мс		114,286	160	128	114,286	114,286
	Незаполненный интервал (мкс)		43	31	39	43	43	
	TDD	Количество символов OFDM в кадре длительностью 5 мс		85,694	40	8	85,694	85,694
TTG + RTG (мкс)		42	30	37	42	42		
TTG + RTG (мкс)		199,98	200	264	199,98	199,98		

**Отсутствие поддержки FDD, сложность интеграции в 2G/3G и разработка LTE привели к прекращению развития WiMAX**



# Самый дешевый современный ФБД: Современный Wi-Fi вне помещений

## Значительный частотный ресурс и современные технологии

5GHz	5150-5250GHz UNII-1				5250-5350GHz UNII-2A				5470-5725GHz U-NII-2C								5725-5850GHz U-NII-3					5850-5895 GHz UNII-4							
	Center Frequency	5180	5200	5220	5240	5260	5280	5300	5320	5500	5520	5540	5560	5580	5600	5620	5620	5640	5680	5700	5720	5745	5765	5785	5805	5825	5845	5865	5885
20 Channel #		36	40	44	48	52	56	60	64	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	144	149	153	157	161	165	169	173	177
40 Channel #		38		46		54		62		102		110		118		126		134		142		151		159		167		175	
80 Channel #		42				58				106				122				138				155					171		
160 Channel #		50								114								163											

## Доступное базовое и абонентское оборудование



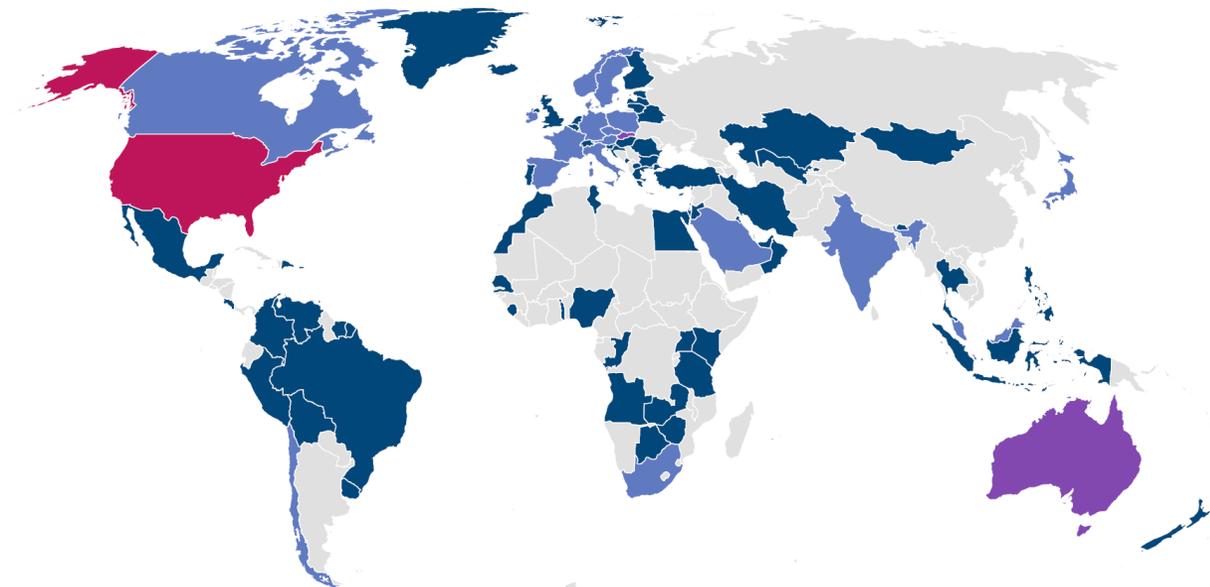
**В развивающихся странах все еще является дешевой альтернативой FWA на базе LTE или NR**

# Содержание доклада

- История FWA до 5G
- Текущие состояние и прогнозы развития рынка FWA
- Примеры стратегий операторов по предоставлению услуг FWA

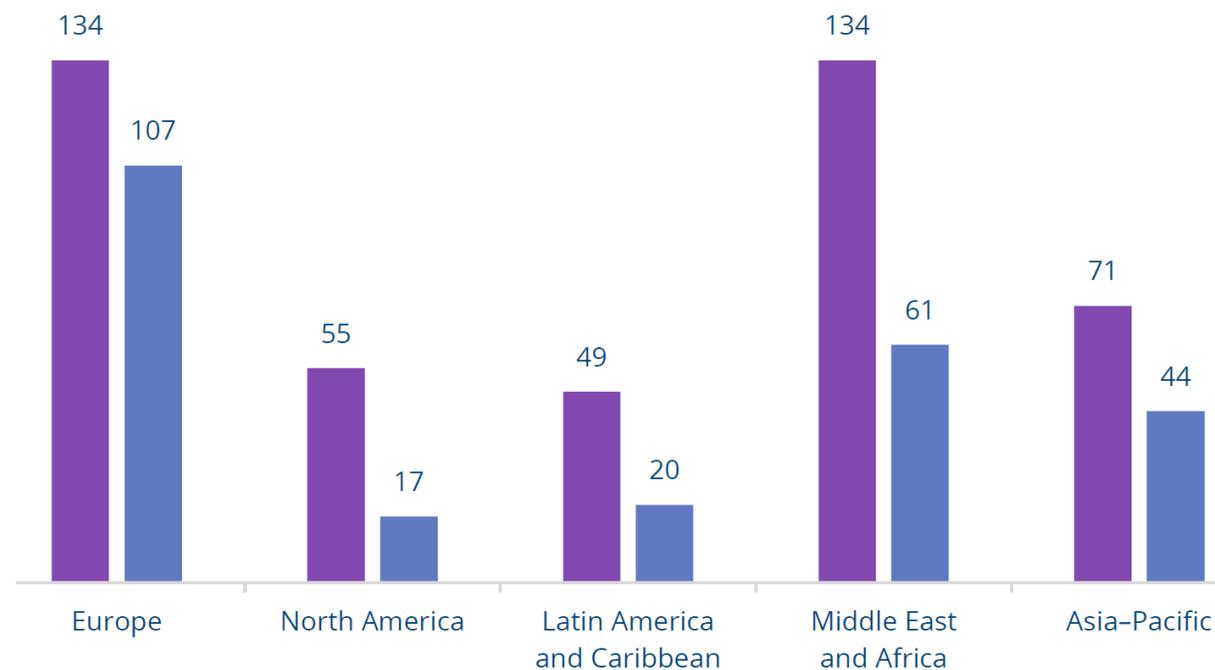
## Страны с запущенными сетями 5G FWA

■ One to three ■ Four to five ■ Six to 10 ■ More than 10



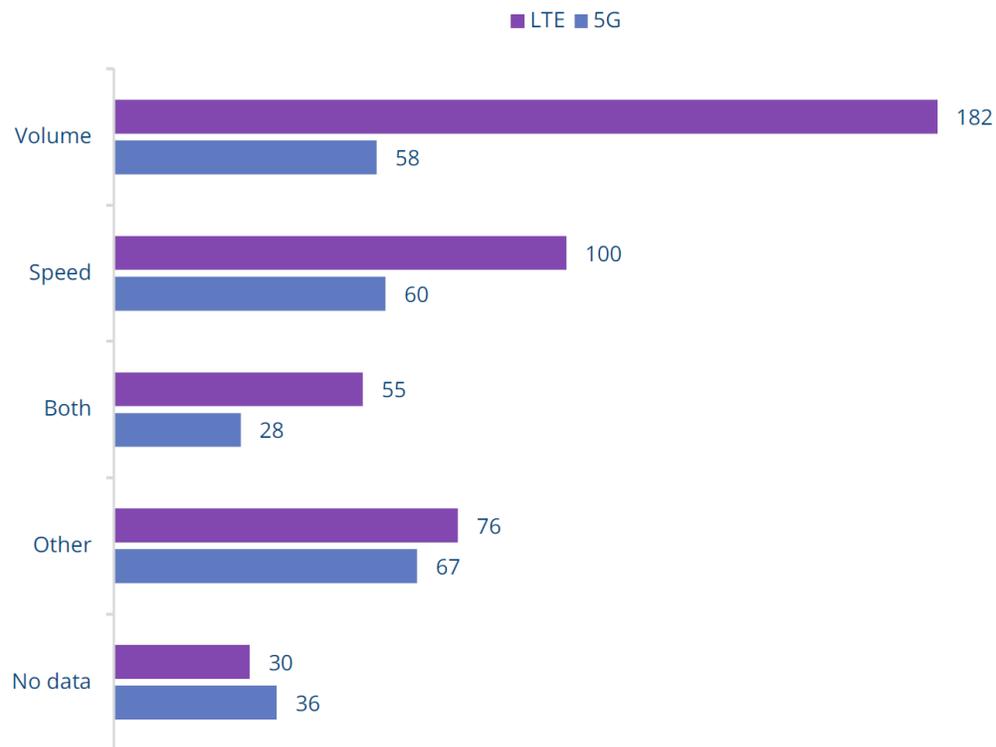
## Распределение технологий FWA в регионах

■ LTE ■ 5G



Источник: GSA, ноябрь 2025

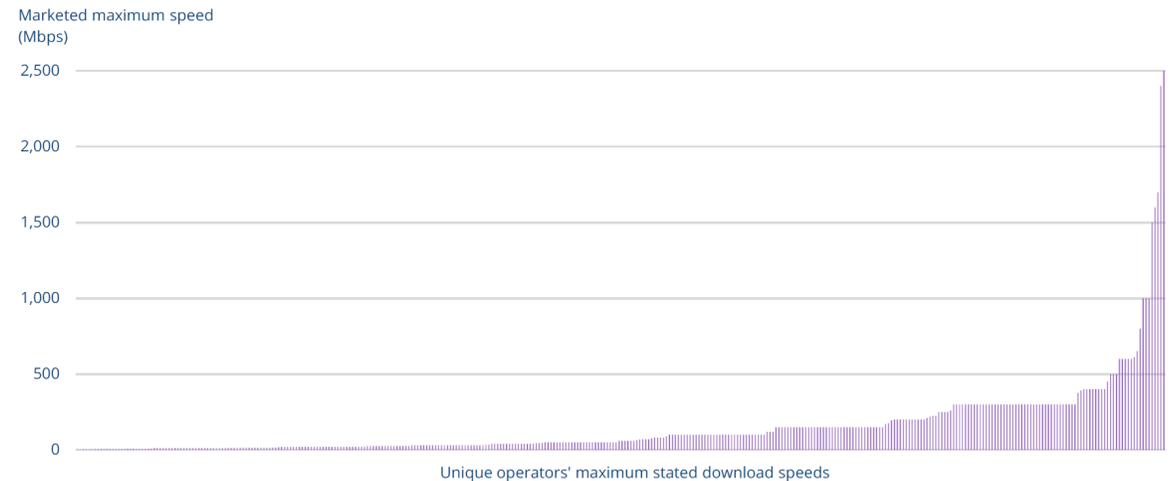
## Типы тарификации услуг FWA



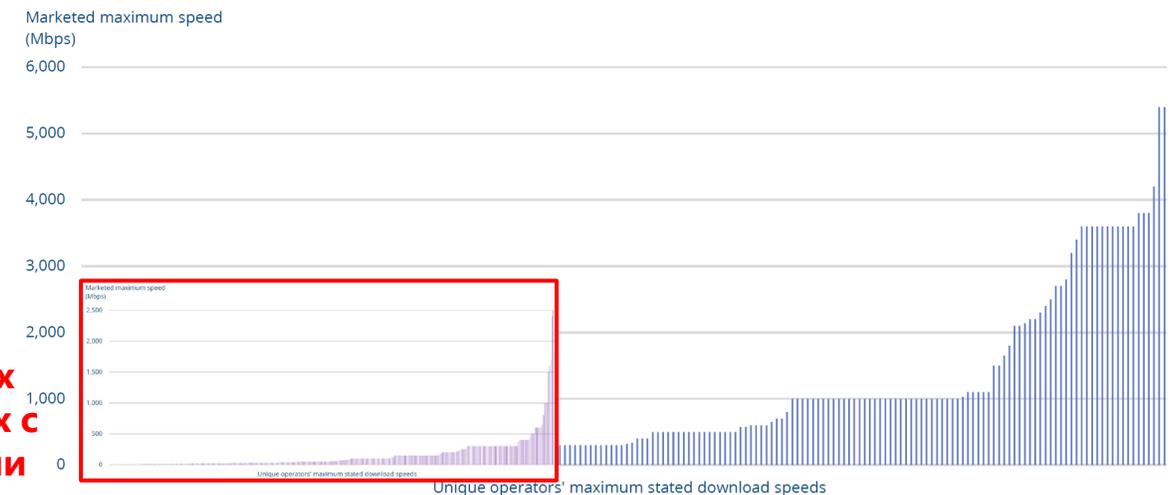
Источник: GSA, ноябрь 2025

**Значительный скачок в скорости передачи данных до уровней, сопоставимых с проводными технологиями**

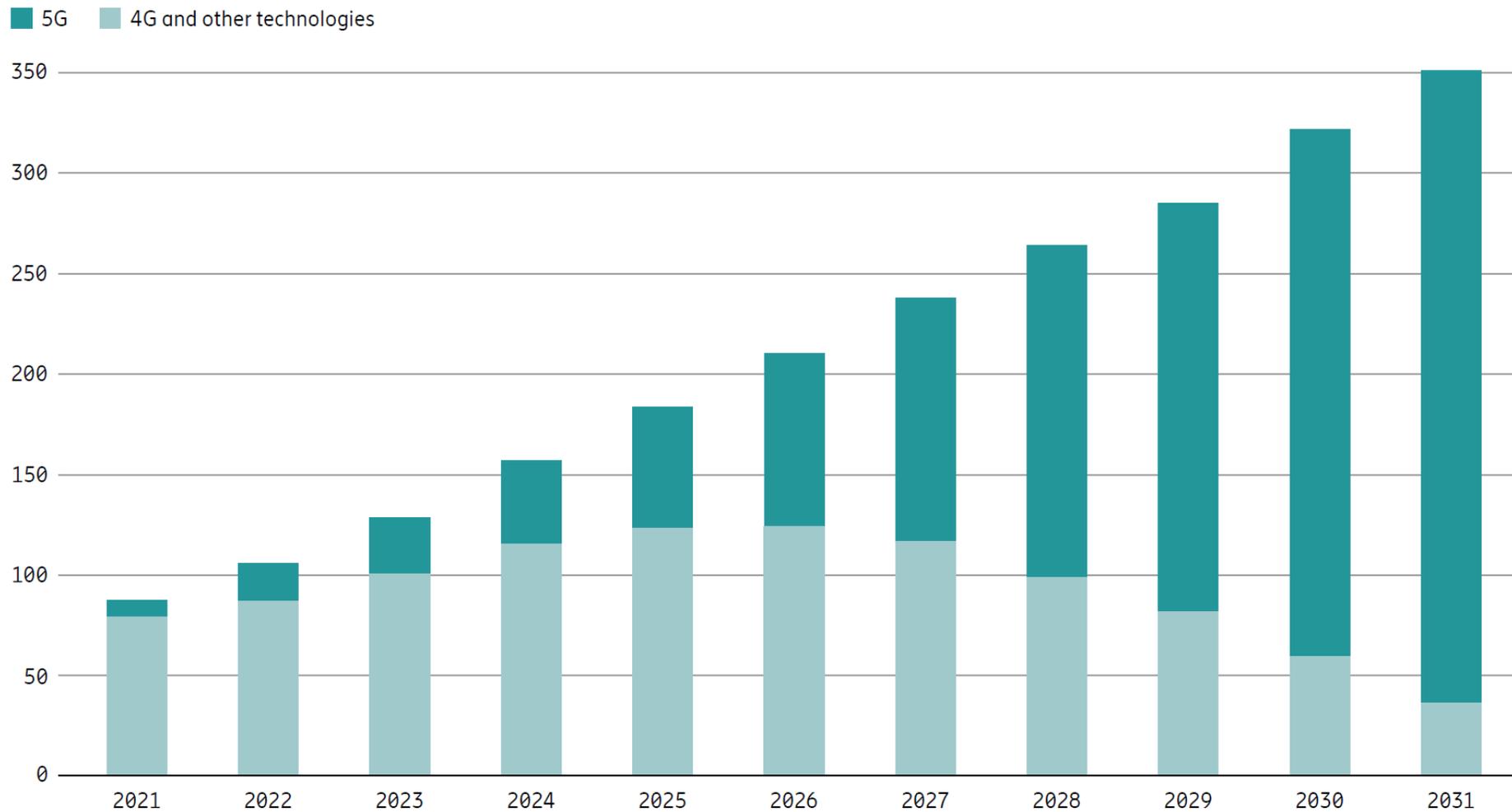
## Распределение рекламируемой скорости в сетях LTE FWA



## Распределение рекламируемой скорости в сетях 5G FWA

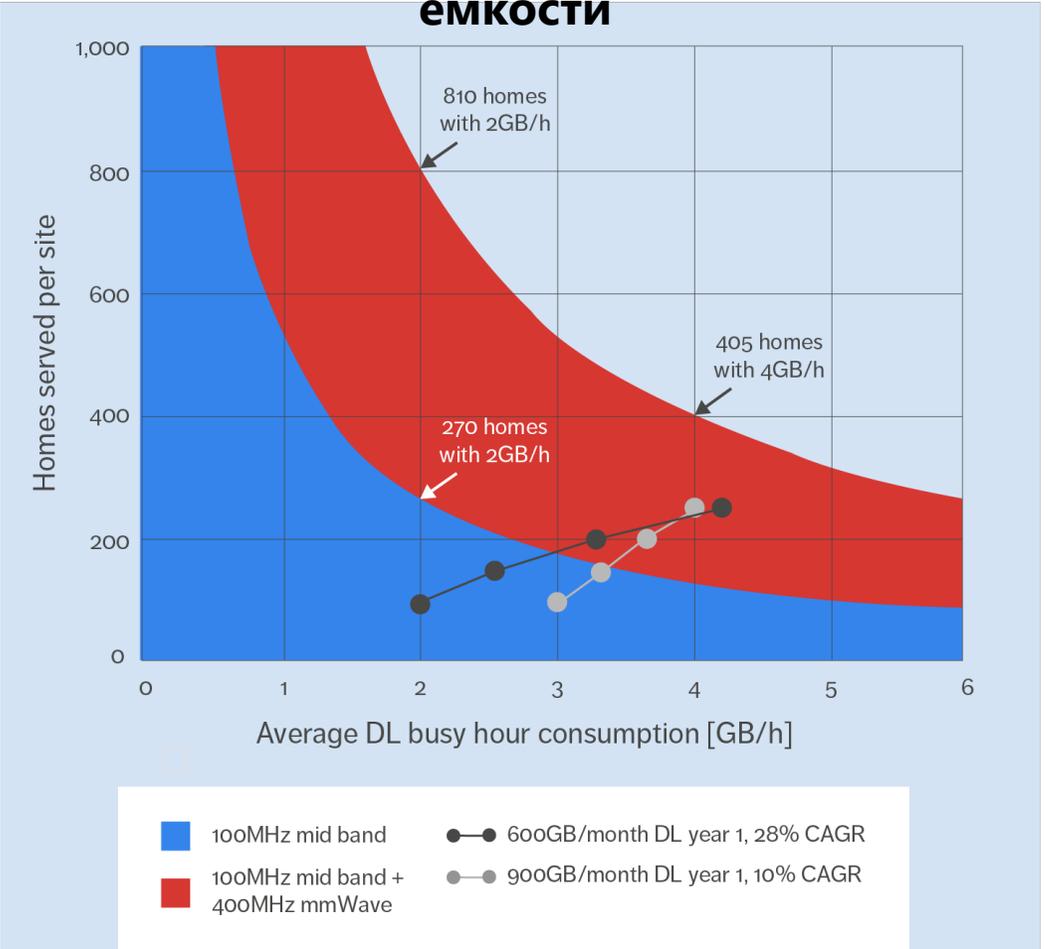


# Прогноз развития рынка FWA



Источник: Ericsson, ноябрь 2025

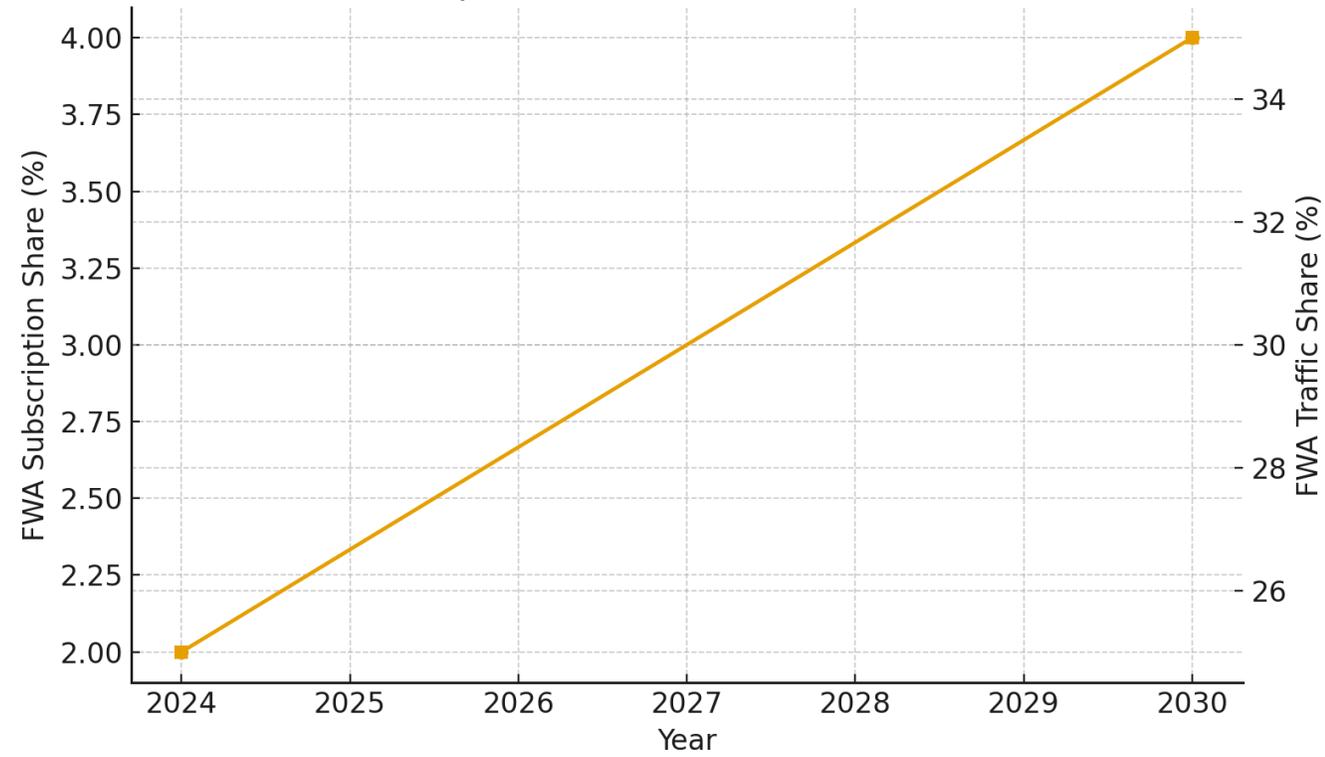
## Беспроводные сети ограничены по емкости



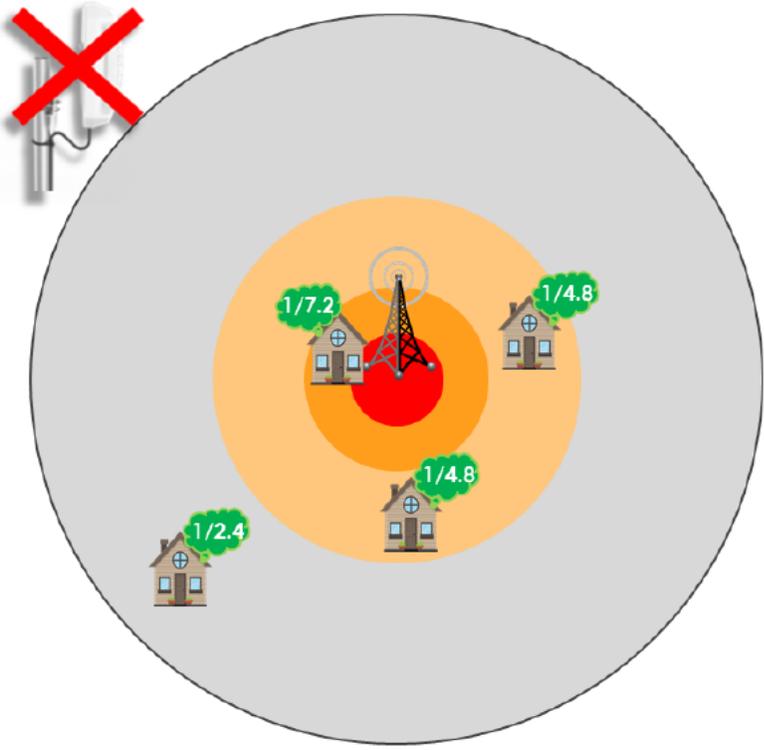
Источник: Ericsson, ноябрь 2025

## Абоненты FWA потенциально могут снизить доступность сети для мобильных абонентов

### FWA Subscription vs Traffic Share (2024 to 2030)



# Использование более эффективных CPE - пример с использованием внешних антенн

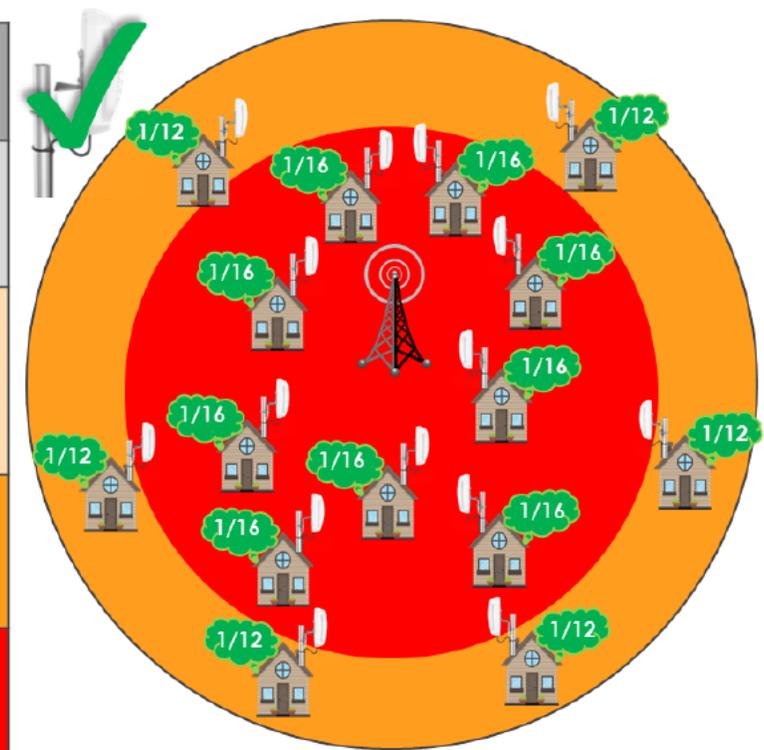


Base station capacity = 1.00  
At Capacity serving 40 customers

Indoor MIMO Gain (1.2x)	Bits Per Symbol	Outdoor MIMO Gain (2x)
2.4 bits per symbol	QPSK = Low throughput 2 bits per symbol	4 bits per symbol
4.8 bits per symbol	16 QAM = Medium throughput 4 bits per symbol	8 bits per symbol
7.2 bits per symbol	64 QAM = High throughput 6 bits per symbol	12 bits per symbol
9.6 bits per symbol	128 QAM = High throughput 8 bits per symbol	16 bits per symbol

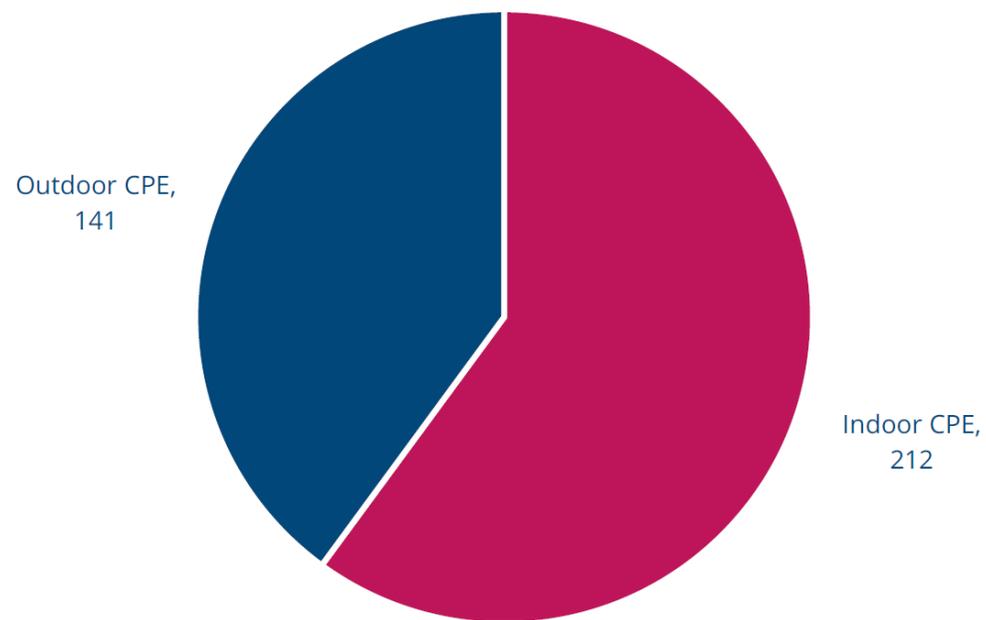


Represents 10 houses as an example

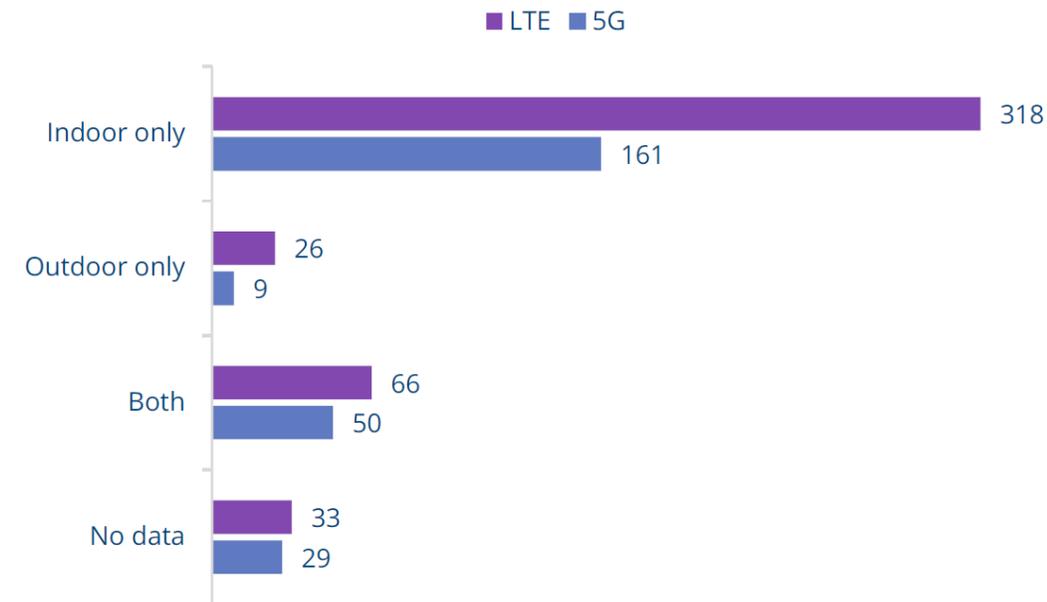


Base station capacity = 1.00  
At Capacity serving 150 customers

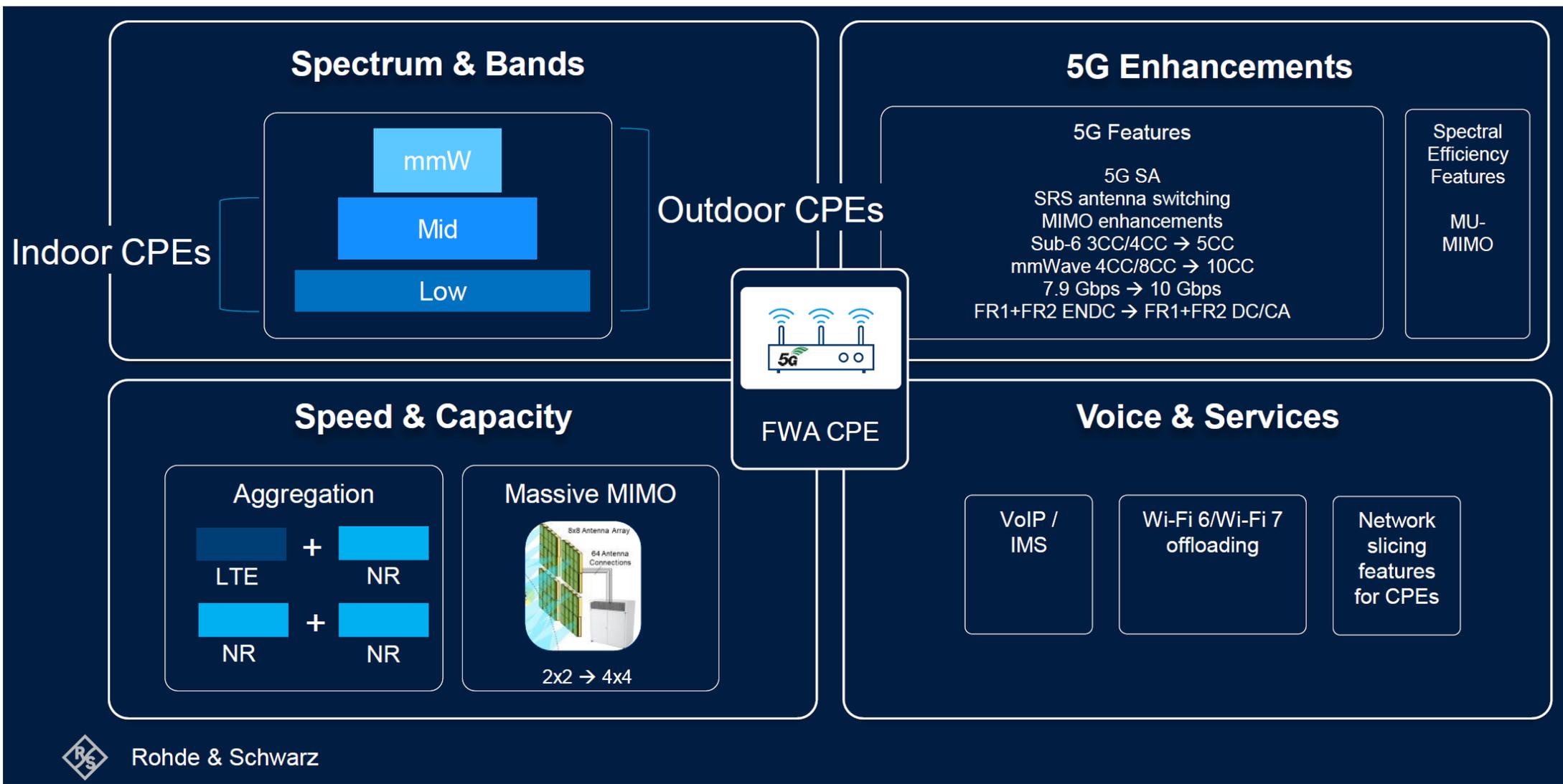
## Число моделей терминалов 5G FWA



## Количество операторов, предлагающих терминалы FWA в своих ретейл сетях



# Возможные требования к CPE для максимизации эффективности 5G FWA



# Содержание доклада

- История FWA до 5G
- Текущие состояние и прогнозы развития рынка FWA
- Примеры стратегий операторов по предоставлению услуг FWA

## the 3 pillars of 5G FWA

### the network

Resource management that allows 5G MBB & 5G FWA to coexist

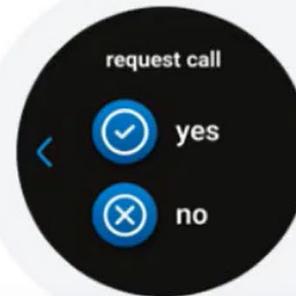
Analytics that let you know where to sell 5G FWA and where to build additional 5G capacity.



### the CPE

High spectral efficiency  
High-quality wifi  
Smart user interface  
Network probe

A 5G smart router... the101™



### the service

A platform that lets you manage the customer experience, from onboarding to everyday use.

With proactive support

**all 3 need to be engineered & integrated to offer an end-to-end managed service**

# We need new data models

where to target



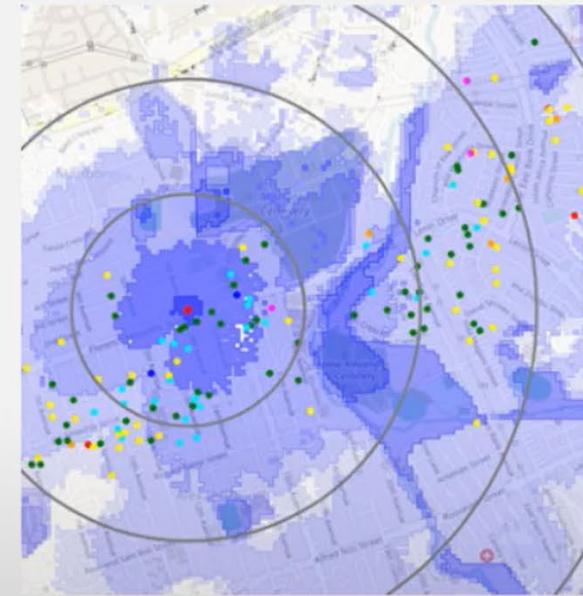
market insights

where to build



capacity & planning

where to sell



signal & experience prediction

## FWA network engineering requires different configuration & optimization vs 5G MBB

### static data

Height, Tilt, Azimuth, CM Data

### reference data

Cluster data, topography

### performance data

MR data, Drive test data



CPE network  
probe data



Where to build  
Where to sell

We use a combination of traditional NPO data combined with **the101 probe data** to generate analytic models for in/out coverage prediction and capacity modelling.

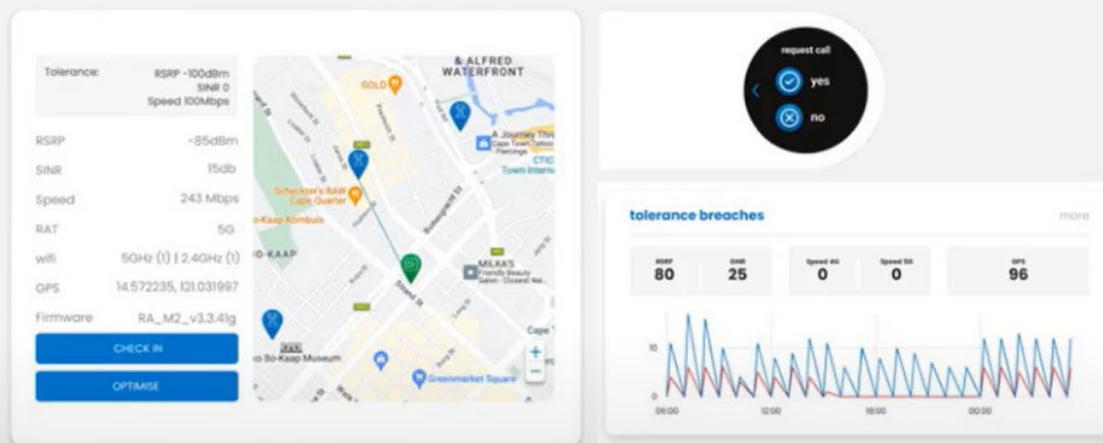
# It is more than device management

## Device management

update currently  
in progress.  
do not power off  
the device.

Fully managed  
firmware-over-the-air updates

## Customer experience management



Proactive monitoring of tolerance &  
virtual boundary breaches

**Rain использует в своей сети только CPE MIMO**

## Home Wireless Access (HWA) Solutions for Unserved and Underserved Communities

### Unserved

**1**  **Connecting unconnected homes and businesses**  
Around 500 million households without fixed broadband globally in emerging markets as well as rural areas of more developed markets.

**2**  **Secondary homes**  
As many people want broadband connectivity for leisure and/or work.

### Underserved

**3**  **Cable Alternative**  
FWA is an alternative for cable subscribers when there is no other choice of fixed broadband provider, with lower cost and/or higher speeds.

**4**  **Fiber Alternative**  
FWA can be viable where there is only one Fiber provider, and consumers want choice.

**5**  **DSL Replacement**  
DSL replacement for service providers delivering broadband over copper-based local loops to provide higher speeds and reduced network operation costs.

**6**  **SME Opportunity**  
SME is typically for connectivity solutions, primarily addressing premises with fewer than 100 employees.

FBB Penetration, 2023  
 **18%**  
(13 of 73Mn HH)

FWA in Indonesia will focus to some segments that still have limitation in accessing digital information/connectivity, such as : **SME / UMKM & Unconnected homes (most rural)**, and other segment such as xDSL old tech replacement, Fiber challenger, cutting cable, secondary home

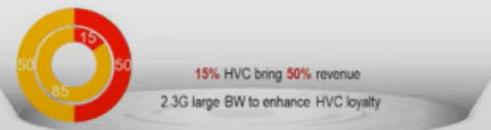
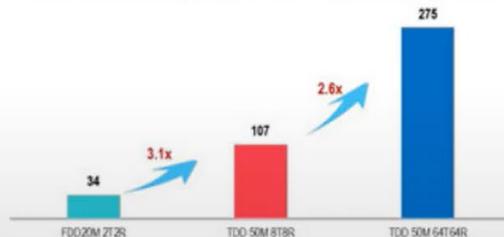
## M-MIMO becomes a Key Enabler for HWA

The beamforming, single-user (SU), and multiuser (MU) MIMO enhance the user experience, capacity, and coverage.

### 2.3 Ghz Large Bandwidth



### Large BW Improves Cell Throughput



\*HVC Characteristics: Month sensitive to network speed

### Massive MIMO Solution



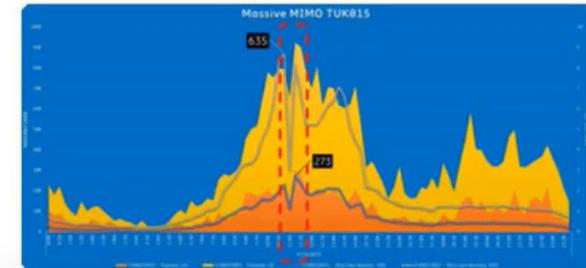
High rise building, dense area, special event, stadium, concert, very dense population area, etc.

### 2.5x MM Capacity Gain\*

with beamforming, spatial multiplexing, spatial diversity, and Multiuser MIMO features

(\*) depend on the traffic profile and deployment scenarios

### Sample Event (Sail Nias)



### 1x Sector MM handle 900+ users

2300 MHz with 16 layers MM, can handle more than 900 users in the peak time (20+10MHz BW)



## Telkomsel HWA Strategy Penetration

	Off The Grid	In Full Swing	Chip Away	Cast A Wider Net
Objective	<ul style="list-style-type: none"> <li>To capture market household with no fiber coverage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FWA solution to accelerate home broadband solution in high fiber utilization area</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>To expand our services in clusters where there are high barriers to fiber entry</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>To capture market in sub urban / rural residential area where household and infra readiness is scattered with minimum capex</li> </ul>
Market	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blue ocean / untapped market</li> <li>No FBB provider presence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indihome fortress, market is already mature</li> <li>Competition is low</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Competitor fortress</li> <li>Almost non-existent fiber subs &amp; infrastructure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scattered household</li> <li>Rural area, preferably household with no need for modem mobilization</li> </ul>
Solution	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>4G Large BW</b></li> <li>No guaranteed throughput</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>5G Large BW</b></li> <li>Guaranteed throughput</li> <li>FWA as temporary solution as fiber capacity upgraded</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>4G &amp; 5G combined large BW</b></li> <li>Guaranteed throughput</li> <li>Aggressive product pricing for acquisition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FWA new product using <b>Wireless Extender</b></li> <li>No guaranteed throughput</li> </ul>



# Степень востребованности FWA для Беларуси - нишевая технология для сельской местности

Country	Indicator values										Normalized progress scores (0-100)								
	Individuals using the Internet (%)	Households with Internet access at home (%)	Mobile broadband subscriptions per 100 inhabitants	Percentage of the population covered by at least a 3G mobile network	Percentage of the population covered by at least a 4G/LTE mobile network	Mobile broadband Internet traffic per mobile broadband subscriptions (GB)	Fixed broadband Internet traffic per fixed broadband subscriptions (GB)	Mobile data and voice high consumption basket price (as % of GNI per capita)	Fixed broadband Internet basket price (as % of GNI per capita)	Individuals who own a mobile phone (%)	Individuals using the Internet (%)	Households with Internet access at home (%)	Mobile broadband subscriptions per 100 inhabitants	3G and 4G/LTE Network Coverage	Mobile broadband Internet traffic per mobile broadband subscriptions (GB)	Fixed broadband Internet traffic per fixed broadband subscriptions (GB)	Mobile data and voice high consumption basket price (as % of GNI per capita)	Fixed broadband Internet basket price (as % of GNI per capita)	Individuals who own a mobile phone (%)
Barbados	80.0†	82.1†	64.7‡	100.0‡	99.0‡	n.a.	n.a.	3.1	3.6	86.3†	84.2	86.4	43.1	99.4	n.a.	n.a.	89.8	92.1	90.8
Belarus	91.5	92.5	103.7	99.9	98.4	166.0	2005.3	1.2	0.7	97.6	96.3	97.4	69.2	99.0	82.3	82.6	99.1	100.0	100.0
Belgium	94.6	94.5	97.4	100.0	100.0	78.1	3255.6	0.5	0.7	87.2	99.6	99.5	64.9	100.0	70.3	87.8	100.0	100.0	91.8
Benin	32.2†	34.4‡	50.1	85.0	80.0	39.6	1758.1	12.2	23.8	61.3†	33.9	36.2	33.4	82.0	59.6	81.1	44.9	29.3	64.5
Bhutan	88.4†	99.6‡	96.8	97.0	97.0	205.6	71.8	2.0	2.6	89.2†	93.1	100.0	64.5	97.0	85.7	46.6	95.0	94.9	93.9
Bosnia and Herzegovina	83.4	81.6	69.9	99.0	99.0	83.4	4798.0	1.9	1.7	87.9†	87.8	85.8	46.6	99.0	71.4	92.0	95.6	97.8	92.6
Botswana	81.4†	75.3†	111.9	98.0	91.0	67.8	921.8	2.8	6.1	90.6†	85.6	79.2	74.6	93.8	68.1	74.1	91.3	84.2	95.3
Brazil	84.2	84.1	97.5	93.4	93.2	61.7	1701.9	0.8	2.7	88.1	88.6	88.5	65.0	93.3	66.6	80.8	100.0	94.8	92.8
Brunei Darussalam	99.0‡	95.0‡	118.8	99.1	99.0	106.3	5540.9	0.5	0.9	91.8‡	100.0	100.0	79.2	99.1	75.2	93.6	100.0	100.0	96.7
Bulgaria	80.4	88.5	118.0	100.0	99.9	167.8	3247.9	1.3	1.3	93.6†	84.6	93.2	78.6	99.9	82.5	87.8	98.4	99.2	98.5
Burundi	11.1†	n.a.	10.3	53.2	32.2	65.4	1981.7	52.5	n.a.	21.0†	11.7	n.a.	6.8	40.6	67.5	82.4	0.0	n.a.	22.1
Cabo Verde	73.5†	75.4†	100.8	94.2	84.7	57.1	2766.3	2.1	2.2	84.2†	77.4	79.4	67.2	88.5	65.3	86.1	94.8	96.3	88.6
Cambodia	60.7†	73.6†	109.2	93.1	93.1	221.0	n.a.	2.8	12.7	79.4†	63.9	77.5	72.8	93.1	86.9	n.a.	91.0	63.7	83.6

**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ**