

Лекція 1

Загальна характеристика і особливості систем мобільного зв'язку

1. Задачі вивчення дисципліни та її стисла характеристика

Системи мобільного зв'язку (СМЗ) є різновидом систем радіозв'язку, тобто систем зв'язку,

в яких інформація від передавача до приймача передається лінією зв'язку, в якості якої виступає вільний простір – оточуюче нас середовище або так званий ефір чи радіолінія, що принципово є бездротовою (безпроводовою).

Стільниковий зв'язок уперше з'явився в 1971 р. на рівні ідеї, у 1978 р. – у виді першої дослідної мережі, у 1985 р. – у виді самостійної системи з 200 000 абонентів. **Сьогодні це масова система радіотелефонного зв'язку, що охоплює практично всі країни світу.**

В Україні стільниковий зв'язок почав впроваджуватись з 1990 р.

Курс “СМЗ” у 6 семестрі складається:
з 9 лекцій (18 годин), 7 практичних занять (14 годин).

Мета навчальної дисципліни – забезпечити студентів комплексними знаннями принципів побудови СМЗ, їх технічних характеристик, особливостей функціонування систем і радіообладнання, яке застосовується при розгортанні відповідних мереж зв'язку.

ГОЛОВНА МЕТА:

Навчити студентів **самостійно** отримувати та аналізувати інформацію з СМЗ, робити вірні висновки і цим підготувати їх для **отримання робочого місця у мобільній компанії.**

Основна література:

1. Весоловский К. Системы подвижной радиосвязи. – М. Горячая линия – Телеком, 2006. – 536 с.
2. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами. – М.: Радио и связь, 2002. -440 с. – гл. 7-9 з 12-ти
3. Ратынский М.В. Основы сотовой связи. – М.: Радио и связь, 2000, – 248 с

2. Еволюція СМЗ та їх стислі характеристики.

Эволюция систем мобильной сотовой связи

Система	Год	Краткая характеристика системы
1	2	3
Поколение 0G		
MTS	1946	Мобильная телефонная связь (Mobile Telephone Service). Система полудуплексной радиосвязи операторского класса с обеспечением выхода в PSTN (до 25 каналов, диапазон частот 150 МГц)
AMTS	1965	Передовая мобильная телефонная система связи (Advanced Mobile Telephone System) – портативная система полнодуплексной радиосвязи, используемая в Японии (диапазон частот 900 МГц)
IMTS	1969	Усовершенствованная система мобильной телефонной связи (Improved Mobile Telephone Service) – двухдиапазонная система полнодуплексной связи с обеспечением выхода в PSTN (до 9 каналов в диапазоне 35–44 МГц, до 11 каналов в диапазоне 152–158 МГц, до 12 каналов в диапазоне 454–460 МГц; радиус зоны обслуживания 60–100 км)
Поколение 0.5 G		
PALM	1971	Public Automated Land Mobile – автоматизированная наземная сеть мобильной связи с обеспечением выхода в PSTN. Первая система с использованием цифровых сигналов для передачи управляющих сообщений и аналоговых сигналов для передачи голоса
ARP	1971	AutoRadioPuhelin – система автомобильной полудуплексной (позже полнодуплексной) радиосвязи операторского класса с размером зоны обслуживания до 30 км (до 80 каналов в диапазоне частот 150 МГц)

Поколение 1G

NMT	1979	Nordic Mobile Telephone – скандинавская двухдиапазонная аналоговая система мобильной сотовой телефонной радиосвязи операторского класса, ориентированная на покрытие больших территорий (ширина канала 12.5 кГц, рабочий диапазон частот 450 МГц и 900 МГц)
AMPS	1981	Advanced Mobile Telephone System – усовершенствованная подвижная телефонная система мобильной связи в диапазоне частот от 825 до 890 МГц (более 600 дуплексных каналов, ширина канала 30 кГц, мощность передатчика БС – 45 Вт, мощность передатчика автомобильной подвижной станции – 12 Вт, мощность передатчика переносного аппарата – 1 Вт)
TACS	1983	Total Access Communication Systems – аналоговая система радиосвязи общего пользования в частотном диапазоне 900 МГц (ширина канала 25 кГц, «Европейская версия» AMPS)
Hicap	1985	Система мобильной сотовой радиосвязи – усовершенствованная версия системы NTT (Nippon Telegraph and Telephone, Япония)
Mobitex	1988	Национальная общедоступная сеть беспроводной передачи данных – система передачи данных с общим доступом, включающая сетевую службу двусторонней пейджинговой связи (ширина канала 12.5 кГц, модуляция GMSK)

1	2	3
DataTac	1990	Двухдиапазонная система беспроводной передачи данных, типа Mobitex (ширина канала 25 кГц, диапазоны частот 403–433 МГц и 806–870 МГц, пропускная способность 19.2 кбит/с)
Поколение 2G		
PHS	1990	Personal Handy-phone System – разработанная в Японии система радиосвязи, основанная на использовании портативных телефонов, (TDMA-TDD, диапазон частот 1880–1930 МГц, скорость передачи данных до 32 кбит/с)
GSM	1991	Global System for Mobile Communications – четырехдиапазонная глобальная система мобильной сотовой связи (TDMA; диапазоны частот: 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц и 1900 МГц; модуляция GMSK, ширина канала 200 кГц)
Digital-AMPS	1991	Цифровой вариант аналоговой системы AMPS (FDMA, диапазон 825–890 МГц, модуляция $\pi/4$ -DQPSK, ширина канала 30 кГц)
PDC	1992	Personal Digital Cellular – стандарт персональной цифровой сотовой связи (TDMA, диапазон частот 800 МГц, ширина канала 25 кГц). Используется только в Японии
CdmaOne	1995	Первая система с CDMA-доступом и прямым расширением спектра, известная как стандарт IS-95 или TIA-EIA-95 (CDMA, рабочий диапазон частот 800 МГц, ширина канала 1.25 МГц, модуляция BPSK/QPSK)
CSD	1997	Circuit Switched Data – технология передачи данных с коммутацией каналов, изначально разработанная для систем GSM

Поколение 2.5G

WiDEN	1996	Wideband integrated Dispatch Enhanced Network – широкополосная интегрированная диспетчерская усовершенствованная сеть (до 4 каналов по 25 кГц, пропускная способность 100 кбит/с)
GPRS	2000	General Packet Radio System – усовершенствованная технология пакетной передачи данных для систем GSM (ширина канала 200 кГц, максимальная пропускная способность 171,2 кбит/с)
HSCSD	2000	High-Speed Circuit Switched Data – усовершенствованная технология высокоскоростной передачи данных с коммутацией каналов, совместимая с GSM. Максимальная скорость передачи данных 57,6 кбит/с (качество выше, чем в GPRS)

Поколение 2.75G

cdma2000	2000	3G-эволюционный вариант развития стандарта cdmaOne (скорость передачи данных увеличена до 2,4 Мбит/с, насчитывает на сегодняшний день несколько ревизий/релизов (Revision))
EDGE	2003	Enhanced Data rates for GSM Evolution – усовершенствованная цифровая технология передачи данных для систем мобильной связи GSM (TDMA, модуляция 8-PSK, максимальная скорость передачи данных до 384 кбит/с, ширина канала 200 кГц)

1	2	3
Поколение 3G		
UMTS	1999	Universal Mobile Telecommunications System – универсальная система мобильной сотовой связи технологии W-CDMA (диапазоны частот: 850 МГц, 1900 МГц, 2100 МГц; ширина канала 5 МГц, скорость передачи данных до 2 Мбит/с)
1xEV-DO	2000	Усовершенствованная версия системы cdma2000 (IS-856) (максимальная пропускная способность по линии «вниз» – 307 кбит/с, максимальная пропускная способность по линии «вверх» – 153 кбит/с)
FOMA	2001	Freedom of Mobile Multimedia Access – первый W-CDMA 3G сервис японской торговой марки NTT DoCoMo (W-CDMA/FDD, для полос частот 1920–1980 МГц, 2110–2170 МГц)
GAN/ UNA	2006	Generic access network – сеть общего доступа, ранее известная как нелицензированный мобильный доступ. Обеспечивает мобильные услуги GSM и GPRS в нелицензируемых диапазонах частот
Поколение 3.5G		
HSDPA	2006	High-Speed Downlink Packet Access – усовершенствованная технология высокоскоростной пакетной передачи данных по линии «вниз» для систем W-CDMA (скорость передачи данных до 14.4 Мбит/с)
Поколение 3.75G		
HSUPA	2007	High-Speed Uplink Packet Access – усовершенствованная технология высокоскоростной пакетной передачи данных по линии «вверх» для систем W-CDMA (скорость передачи данных до 5.76 Мбит/с)
Поколение 4G		
Широкое применение технологий MIMO, MultiCarrier CDMA (MC-CDMA), OFDMA, UWB и программно-реконфигурируемого радио (Software Defined Radio)		

Аналогові системи першого покоління

Стандарти аналогових систем:

- AMPS (Advanced Mobile Phone Service) – удосконалена мобільна телефонна служба, діапазон 800 МГц. Ця система поширена в США, Канаді, Центральній і Південній Америці, Австралії;
- TACS (Total Access Communications System) – загальнодоступна система зв'язку, діапазон 900 МГц;
- NMT 450 і NMT 900 (Nordic Mobile Telephone) – мобільний телефонний зв'язок північних країн, діапазони 450 і 900 МГц відповідно;
- C-450 (діапазон 450 МГц);
- RTMS (Radio Telephone Mobile System) – мобільна радіотелефонна система, діапазон 450 МГц;
- Radiocom 2000 (діапазони 170, 200, 400 МГц);
- NTT (Nippon Telephone and Telegraph system) – японська система телефону та телеграфу, діапазон 800...900 МГц.

Особливість аналогових стандартів: в них застосовуються частотна модуляція для передачі мови і частотна маніпуляція для передачі інформації управління.

Для передачі інформації різних каналів використовуються різні ділянки спектра частот – застосовується метод множинного доступу з частотним поділом каналів (Frequency Division Multiple, Access – FDMA), зі смугами каналів у різних стандартах від 12,5 до 30 кГц.

З цим безпосередньо зв'язаний основний недолік аналогових систем – відносно низька ємність, як прямий наслідок нераціонального використання виділеної смуги частот при частотному поділі каналів.

В останні три десятиліття системи мобільного зв'язку (СМЗ) стрімко розвивалися й удосконалювалися.

Так, якщо СМЗ першого покоління були аналоговими, то в подальшому були розроблені цифрові системи – в них використовувалися методи багатостанційного доступу TDMA і CDMA, мова про які піде в наступних лекціях курсу.

Незважаючи на наочні відмінності між конкретними реалізаціями системи мобільного зв'язку другого покоління мають такі загальні риси:

- низьку потрібну швидкість потоку цифрових даних, що представляють мовний сигнал користувача, обумовлену складними алгоритмами кодування мови; швидкість потоку даних не перевищує 13 кбіт/с, що **дозволяє збільшити ємність системи** за рахунок певного погіршення якості мовного сигналу;
- відносно невелику (порядку 200 мс) затримку передачі даних в обох напрямках, обумовлену алгоритмами кодування і декодування мови і складною системою детектування цифрового сигналу;

- дуплексну передачу даних з частотним поділом (FDD);
- контроль потужності рухомої станції, що гарантує незмінну якість зв'язку, що не залежить від відстані між рухомою і базовою станціями.

***Широке поширення мережі Internet,
загальний розвиток комп'ютерних мереж і
популярність переносних комп'ютерів (ноутбуків)***

створили попит на можливість доступу до Internet через рухомі станції,
що вимагало збільшення швидкості передачі даних у вже існуючих системах.

Саме тому було запропоновано спрощений протокол доступу до Internet, що у поєднанні з відповідним дизайном веб-сайтів дозволяло користувачам подорожувати по Internet за допомогою мобільних телефонів.

Цифрові системи другого покоління

Ці системи були розроблені для подолання основного недоліку аналогових систем – **їх відносно низької ємності**.

Перехід на цифрові системи наштовхнувся на ряд труднощів, пов'язаних з тим, що у США аналоговий стандарт AMPS був настільки широко поширеним, що його пряма заміна цифровим стандартом була практично неможлива.

Саме тому в США в 1988 – 1992 роках була розроблена дворежимна аналого-цифрова система, яка

дозволяла працювати в одному і тому самому діапазоні аналогової і цифрової систем у вигляді стандарту D-AMPS (Digital AMPS) – цифровий AMPS з діапазоном частот 800 МГц і 1900 МГц, чи IS-54 (IS – Interim Standard (проміжний стандарт)).

У Європі в 1988 – 1992 роках було розроблено і з 1991 року впроваджено єдиний загальноєвропейський стандарту GSM (Global System for Mobile communications) – глобальна система мобільного зв'язку, діапазони 900, 1800 і 1900 МГц. **Це другий по поширеності стандарт світу, що обслуговує більше чверті всіх абонентів.**

Стандарт GSM, продовжуючи технічно удосконалюватися (послідовне введення фаз 1, 2 і 2+), у 1989 р. освоїв новий частотний діапазон 1800 МГц, що дозволило освоїти порівняно з GSM 900 більш широку робочу смугу частот у поєднанні з меншими розмірами сот.

В Японії з 1993 р. діє стандарт PDC (Personal Digital Cellular – персональний цифровий стільниковий зв'язок), який подібний до стандарту DAMPS.

Таким чином, основними цифровими стандартами стільникового зв'язку другого покоління можна вважати наступні:

- D-AMPS, іноді цей стандарт називають NA TDMA (північноамериканський TDMA);
- GSM, діапазони 900, 1800 і 1900 МГц;
- CDMAOne (Code Division Multiple Access – множинний доступ з кодовим поділом каналів, діапазони 800 і 1900 МГц).

Стільникові системи третього покоління.

При цьому для нових систем була запропонована велика ємність і кілька типів трафіку. Швидкість передачі даних складає не менш 384 кбіт/с і може досягати від 2 Мбіт/с до 48 Мбіт/с, що дозволяє передавати відео дані в режимі HD.

3. Смуги частот призначені для забезпечення функціонування існуючих та перспективних мереж мобільного зв'язку.

Полосы частот, предназначенные для обеспечения функционирования сетей мобильной связи **определяются их назначением** (в частности, как систем массового обслуживания).

Первостепенными факторами, влияющими на потребности радиочастотного обеспечения систем мобильной сотовой связи (суммарная ширина представляемых полос частот, их положение в пределах используемого диапазона частот), являются:

- *Количество и территориальная плотность распределения пользователей*
- *размеры областей территориального покрытия сетей;*
- *разновидности услуг связи и обусловленная ими скорость передачи;*
- *требуемое качество предоставляемых услуг.*

С момента появления систем мобильной связи, перечень предоставляемых ими услуг, как и число пользователей, непрерывно увеличивается.

Это влечет за собой рост объема потребного частотного спектра.

На первом этапе развития мобильной связи (1G) общее число пользователей не достигало 1% планеты и к 1990 г. составляло 20 млн. чел. (изменение числа пользователей сотовой связью на протяжении двух последних десятилетий показано на рис. 1.)

Единственной услугой мобильной связи 1G была **речевая телефонная связь с шириной полосы каналов, не превышающей 30 кГц.**

Общий выделенный частотный ресурс, исчисляемый десятками МГц (40 МГц для систем AMPS, около 60 МГц - для систем NMT-450/NMT-900), выглядел при этом вполне достаточным.

К концу XX столетия, когда мобильная связь была представлена, главным образом, системами 2G (преимущественно GSM), общее число ее пользователей достигло 700 млн. (приблизительно 12% населения планеты). При этом **общая ширина необходимых частотных полос возросла до 200 МГц.**

По имеющимся данным, в 2010 г., когда наряду с системами 2G существенную роль играют системы 3G, а число пользователей превышает 4 млрд. (не менее 60% населения), **потребности в частотном ресурсе составляют 600 МГц.**

Наконец, оценочный прогноз потребностей в спектре на 2020 г (при населении планеты 7.5 млрд. и относительном числе пользователей 70-80%) - около 1.6 ГГц.

население,
млрд. чел.

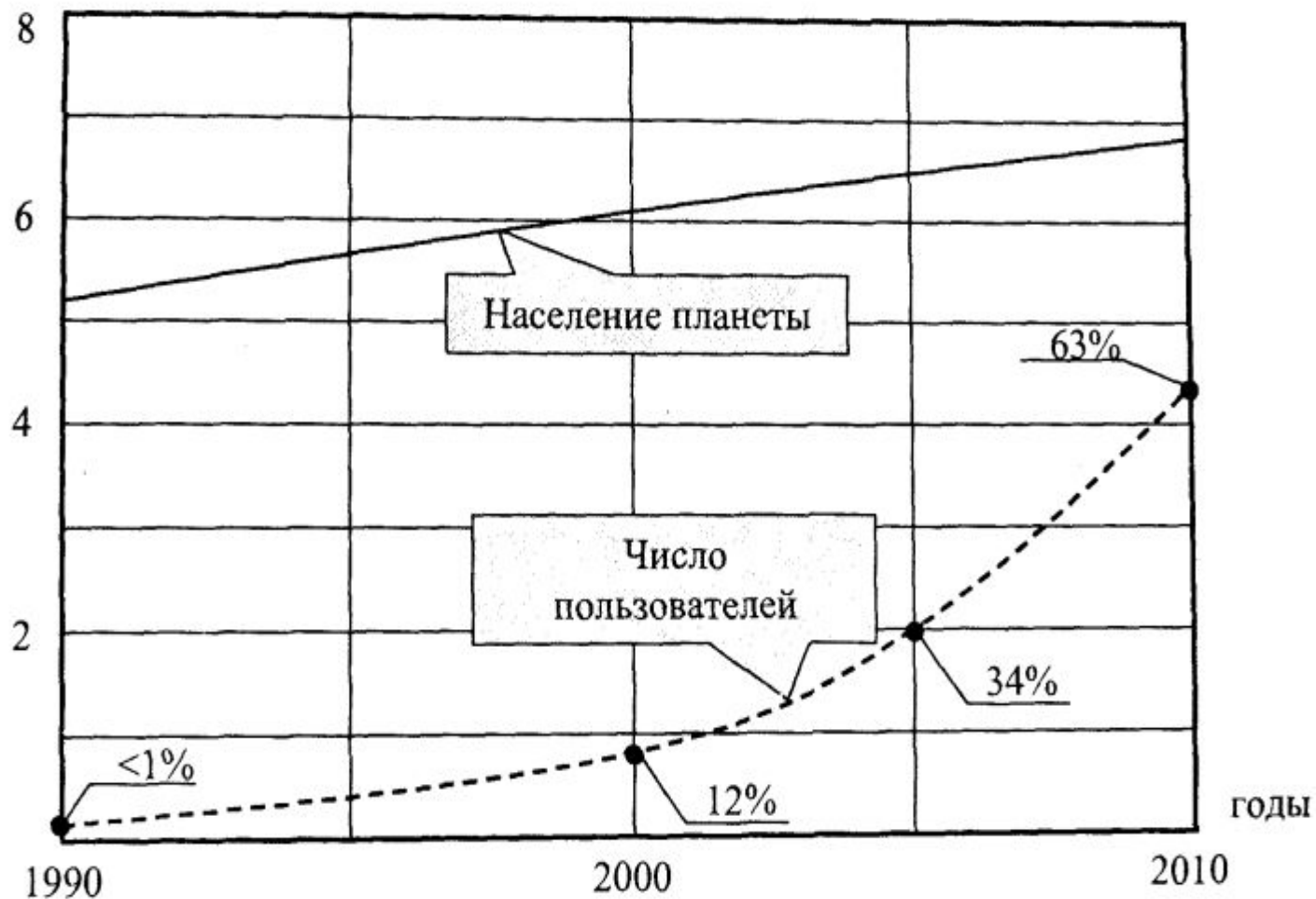


Рис.1 Изменение числа пользователей сотовой связью на протяжении двух последних десятилетий

На рис. 2. приведена диаграмма отражающая прогнозируемые потребности стран Европы в частотном обеспечении сотовой связи на период 2010-2020 гг.

Приведенные графики отображают результаты исследований проведенных:

- UMTS Forum – диаграмма “магическое будущее мобильной связи” («Magic Mobile Future»).
- Институтом перспективных исследований в области технологий (Institute for Prospective Technologies Studies - IPTS). Объединенного исследовательского центра (Joint Research Centre - JRC) Европейского союза, включая графики «Плавного развития» («Smooth Development»), «Постоянных изменений» («Constant Change») и «Экономической стагнации» («Economic Stagnation»), соответствующие различным социально-экономическим сценариям «будущего рынков и служб мобильной связи» («Future Mobile Communications Markets and Services» - FMS).

Названные исследования выполнены в 2005-2006 гг. Наиболее близкой к прогнозам (см. выше) является оценка, предусматривающая к 2020 г. суммарную потребность в частотном ресурсе около 1.5 ГГц. В случае реализации сценария стагнации экономического развития эти потребности сохранятся на уровне существующего частотного обеспечения (пунктирная линия на рис.2)

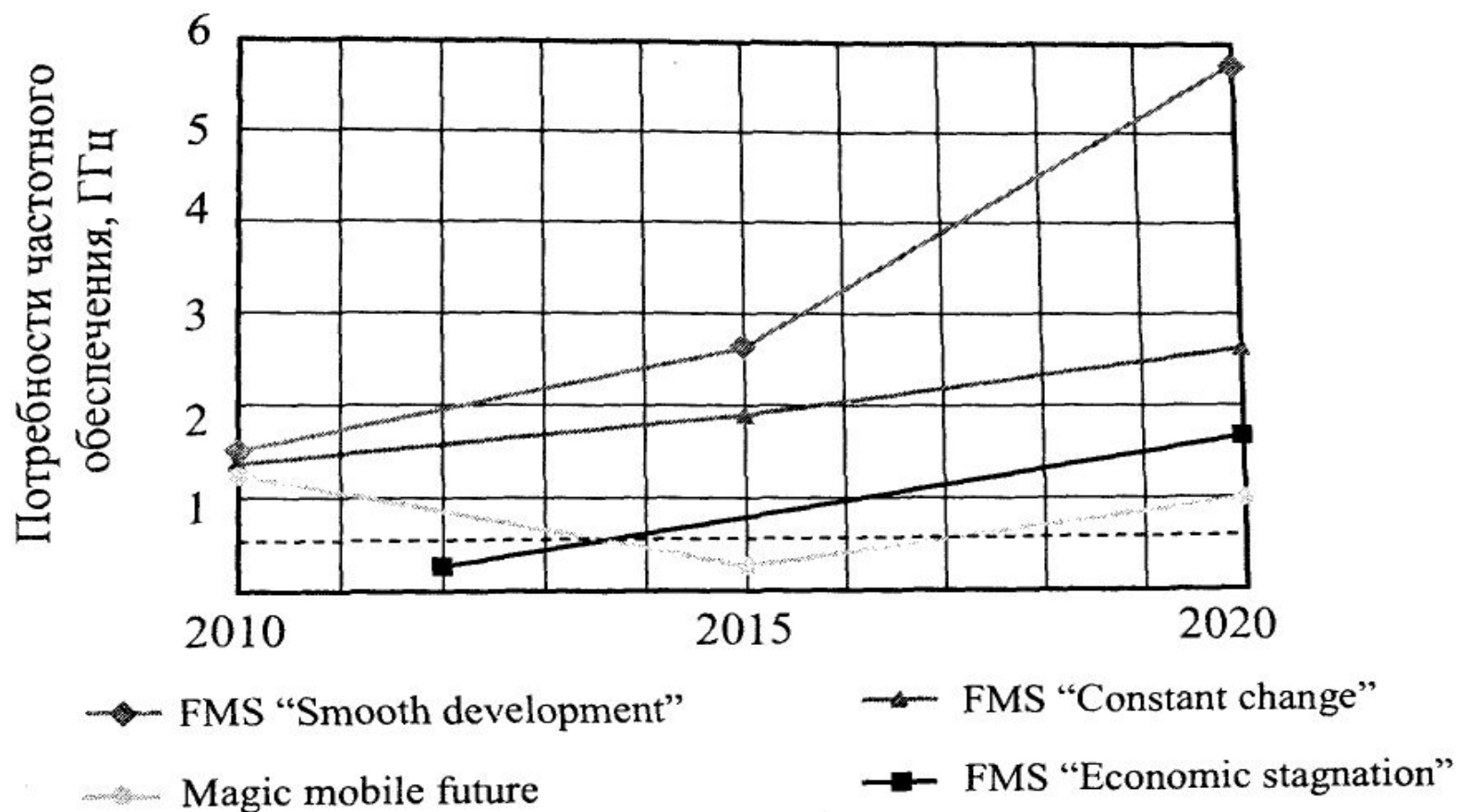


Рис.2. Прогноз потребностей радиочастотного обеспечения

Краткая история развития технологий мобильной связи

Поколение	1G	2G	2.5G	3G	4G
Начало разработок, внедрение	1970, 1984	1980, 1991	1985, 1999	1990, 2002	2000, после 2016
Виды услуг	Аналоговая речь, передача данных до 9.6 кбит/с	Цифровая речь, SMS	Высоко-скоростная пакетная передача	Широкополосная передача данных (до 2 Мбит/с)	Передача данных и мультимедиа на базе IP-протокола (до сотен Мбит/с)
Стандарты	AMPS, TACS, NMT и др.	TDMA, GSM, CDMA, PDC	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, cdma2000	Единый стандарт
Скорость передачи	1.9 кбит/с	14.4 кбит/с	384 кбит/с	2 Мбит/с	200 Мбит/с
Метод мультиплексирования	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA, OFDMA?
Базовая сеть	PSTN	PSTN	PSTN, пакетная сеть	Пакетная сеть	Internet



Рис. 3. Базовые технологии физического уровня систем беспроводной связи разных поколений