

 **Нов Български Университет**
Магистърски Факултет
Департамент “Телекомуникации”

ТЕОДОРА ИВАНОВА ПАСАРЕЛСКА

**“ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕТОДИТЕ ЗА ПЛАНИРАНЕ И
РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА РАДИОЧЕСТОТНИЯ СПЕКТЪР В
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ”**

АВТОРЕФЕРАТ

на

ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД

**за придобиване на образователна и научна степен
“ДОКТОР”**

по

**Професионално направление: 5.3. „Комуникационна и компютърна
техника“**

Научна специалност: „Телекомуникации“

Научен ръководител: проф. д-р Пламен Маринов Цветков

СОФИЯ
- 2024 -

СЪДЪРЖАНИЕ

ВЪВЕДЕНИЕ.....	2
ЦЕЛИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯТ ТРУД.....	2
ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯТ ТРУД.....	2
МЕТОДОЛОГИЯ НА ДОКТОРСКАТА РАБОТА.....	3
ПРИЛОЖИМОСТ И ПОЛЕЗНОСТ.....	4
ОБЩ ОБЕМ И СТРУКТУРА.....	5
СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯТ ТРУД.....	5
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
ПРИНОСИ И НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ РЕЗУЛТАТИ.....	64
ПУБЛИКАЦИИ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯТ ТРУД.....	66
ИЗПОЛЗВАНА БИБЛИОГРАФИЯ И ИЗТОЧНИЦИ НА ИНФОРМАЦИЯ.....	67

ВЪВЕДЕНИЕ

Радиочестотният спектър е природен ресурс, който има значително влияние върху развитието на телекомуникационния сектор, както и на икономиката като цяло. Той се отнася до диапазона от електромагнитни честоти, използвани за безжично предаване и получаване на информация.

Управлението на радиочестотния спектър е съвкупност от технически процедури, които да осигуряват неговото ефикасно използване и ефективно управление. Това е процес на планиране, разпределяне, присвояване и регулиране на използването на радиочестотния спектър за различни безжични комуникационни услуги и технологии [5]. Управлението е от ключова важност, за да се гарантира, че различни безжични системи могат да си взаимодействат без смущения и че ограничените ресурси на спектъра се използват ефективно.

Дисертационният труд обхваща част от планирането и разпределянето на радиочестотния спектър, които са актуални за днешния ден и които ще осигурят бъдеще на гигабитовото общество и разгръщане на мрежи с голям капацитет и пренос на данни.

При стартирането на докторската работа са поставени следните основни цели и задачи в условията на Република България:

ЦЕЛИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯТ ТРУД:

- 1) Изследване на методите за разпределение, планиране и управление на радиочестотния спектър за обезпечаване на внедряването на съвременни безжичните широколентови електронни съобщителни услуги и постигане на ефикасно, споделено, динамично и лоялно използване на този ресурс;
- 2) Разпределяне на достатъчен и подходящ радиочестотен спектър за предоставяне на телекомуникационни услуги;
- 3) Осигуряване на условия за координирано и хармонизирано използване на радиочестотния спектър.

За постигане на посочените цели в дисертационният труд са заложили следните задачи:

ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯТ ТРУД

Задача 1: Анализ на актуалното състояние на методите, подходите и стратегиите за планиране и управление на радиочестотния спектър в Република България и хармонизирането им с Европейските и световни тенденции.

Задача 2: Изследване и анализ на основните принципи и съвременни тенденции при управлението и разпределението на радиочестотния спектър.

Задача 3: Изследване на възможностите и планиране на необходимите техническите, регулаторни и организационни процедури за обезпечаване внедряването на съвременни безжичните ширококолентови електронни съобщителни услуги.

Задача 4: Разработване на подходи и методика за управление на радиочестотния спектър. Разработване на компютърни модели, провеждане на симулационни и реални полеви изследвания на обекти.

Във връзка с изпълнението на поставените цели и задачи, настоящият дисертационен труд изследва и анализира основните принципи при управлението и разпределението на радиочестотния спектър, свързани с ефективното му използване по радиочестотни обхвати и радиочестотни ленти, както и неговото ефикасно управление.

Дисертационният труд е разработен и цели да послужи като научно-методическо ръководство при решаване и въздействие на реални проблеми при управлението и разпределението на радиочестотния спектър.

МЕТОДОЛОГИЯ НА ДОКТОРСКАТА РАБОТА

В дисертационният труд методично се следва следният план за действие:

1. Представя се аналитичен преглед на актуалното състояние на радиочестотния спектър в Република България и хармонизиране с европейските и световни тенденции.
2. Обстойно се анализират наземните мрежи и радиочестотни обхвати 900 MHz и 1800 MHz. Разгледани са радиочестотни обхвати 2 GHz, 2.3 GHz, 2.6 GHz и 3.6 GHz, обхвати 700 MHz и 800 MHz.
3. Обследват се радиочестотният спектър за четвърто поколение (LTE), за наземно цифрово радиоразпръскване - DVB-T, честотните обхвати подходящи за мрежи от вида „точка към точка” и мрежи от вида „точка към много точки”, както и сателитни телекомуникационни мрежи за предоставяне на мобилни услуги, радиочестотен спектър за устройства с малък обхват на действие, честотни обхвати предназначени за комуникация „Машина-Машина” (Machine to Machine-M2M) и други.
4. Изследват се методите за разпределение, планиране и управление на радиочестотния спектър, като се акцентира на метод за ползване на спектър, който не е индивидуално определен, метод при индивидуално определен ограничен ресурс, метод на лицензиран съвместен достъп до радиочестотен спектър и метод за определяне правото за ползване на радиочестотен спектър.
5. Изследват се и се планират техническите, регулаторни и организационни процедури при внедряването на съвременни безжични ширококолентови електронни съобщителни услуги.
6. Обстойно се изследва внедряването на съвременни безжични ширококолентови електронни съобщителни услуги. Акцент се поставя на нововъведения като технологията 5G и интеграция на IoT.
7. Анализира се управлението на спектъра и нормативната рамка, като се отбелязват лицензирането и разпределението на честотния спектър, публично-частните партньорства, организационните стратегии и развитие на инфраструктурата, както и оперативното управление.
8. Разработва се методика за провеждане на симулационно изследване за определяне на взаимното влияние между радиоелектронно оборудване на ползвателите на радиочестотен ресурс за смесено ползване.
9. Представят се сценарии и изложение на метод на симулационно изследване. Събират се и се анализират данни.

10. Изготвя се математически анализ и модели на смущения при нововъзникващи системи и техника като 5G базови станции. Определят се математически концепции и подходи за изследване на смущенията на базовите станции, като се обследва разпространение на сигнала, моделиране на смущения и техники за намаляване на смущенията.
11. Провеждат се тестове и изследвания, които завършват с конкретни резултати и оценка на валидацията на взаимното влияние между радиоелектронното оборудване на ползвателите на радиочестотен ресурс за смесено ползване.
12. Методологията включва обобщаването на анализирани проблеми и направените тестове и изследвания в разширено заключение, което представя постигнатите резултати и приносите от дисертационният труд.

ПРИЛОЖИМОСТ И ПОЛЕЗНОСТ

С изготвянето на дисертационният труд са постигнати съществени приноси и полезни научни и научно-приложни резултати в условията на Република България.

Докторската работа може да бъде приложена в идентифициране на проблеми с трансграничното координиране между държави-членки на ЕС, които могат да произтекат от въвеждането на безжични технологии за интернет на нещата в радиочестотните обхвати 900 MHz и 1800 MHz.

Изследванията и насоките в дисертационният труд относно ефективното управление и използване на спектъра и достъпът до широколентови мрежи, който става все по-важен за образованието, здравеопазването, комуникацията и социалната сфера, са изключително полезни за преодоляване на цифровото разделение, като се гарантира, че необслужваните общности имат достъп до основни услуги и информация.

Обстойният анализ на фактори свързани с методите за разпределение, планиране и управление на радиочестотния спектър е от съществена полза и ще подпомогне избора на най-подходящата честотна лента за въвеждане на нови технологии, приложения и услуги в ИКТ сектора.

Разработената в докторската работа методика дава насоки и решения за определяне на взаимното влияние върху работата на наземните системи за радионавигация и радиоелектронното оборудване и мобилни терминали в радиочестотни обхвати определени за 5G.

Тази методика може да бъде полезна при конкретни измервателни постановки, които с подходящата измервателна апаратура биха могли да бъдат обект на реално изследване и анализ от страна на преподаватели и студенти на НБУ, както и от трети заинтересовани страни. Ще може да се придобие реална представа за постановките при взаимното влияние върху нормалното функциониране на радионавигационни (бордни и наземни) системи и радиоелектронна апаратура и мобилни терминали в радиочестотни обхвати 700 MHz и 800 MHz.

Извършените изследвания са особено важни по функционален принцип и съгласно своята взаимосвързаност, като дават пълна картина как се използва спектъра при радиокомуникационно оборудване от специален тип и как при мобилно телекомуникационно оборудване.

Резултатите, постигнати от изследванията могат да се използват, както от различни организации и ведомства, свързани с тематиката на дисертационният труд, също така и от департамент „Телекомуникации“ към НБУ, с цел реализиране на проекти в ИКТ сектора. Възможно е да се участва в договорни задачи към заинтересованите държавни органи и служби, както и Европейския съюз, с което да се финансира актуализиране и усъвършенстване на учебните програми и курсове по „Телекомуникации и компютърни технологии“ в НБУ.

Дисертационният труд е полезен и може да послужи като научно-методическо ръководство при решаване на реални проблеми при изграждане на радиокомуникационни системи и използване на ефективни радиочестотни обхвати.

ОБЩ ОБЕМ И СТРУКТУРА

Дисертационният труд е в общ обем от 214 страници (текст, фигури и таблици). Състои се от 5 основни глави включително и заключение. В края на докторската работа са представени – списък на използвана библиография и източници на информация (общо 212 литературни източника) и списък на използвани съкращения и дефиниции.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯТ ТРУД

Дисертационният труд започва с кратко въведение в темата и представяне на поставените основни цели и задачи в условията на Република България.

ГЛАВА ПЪРВА

ОБЩ ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗ НА АКТУАЛНОТО СЪСТОЯНИЕ НА РАДИОЧЕСТОТНИЯ СПЕКТЪР В РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ И ХАРМОНИЗИРАНЕ С ЕВРОПЕЙСКИТЕ И СВЕТОВНИ ТЕНДЕНЦИИ.

Глава първа от докторската работа представя аналитичен преглед на актуалното състояние на радиочестотния спектър в Република България и хармонизиране с европейските и световни тенденции. В нея обстойно се анализират наземните мрежи и радиочестотни обхвати 900 MHz и 1800 MHz. Разгледани са радиочестотни обхвати 2 GHz, 2.3 GHz, 2.6 GHz и 3.6 GHz, обхвати 700 MHz и 800 MHz. Изследва се радиочестотният спектър за четвърто поколение (LTE), за наземно цифрово радиоразпръскване - DVB-T, честотните обхвати подходящи за мрежи от вида „точка към точка” и мрежи от вида „точка към много точки”, както и сателитни телекомуникационни мрежи за предоставяне на мобилни услуги, радиочестотен спектър за устройства с малък обseg на действие, честотни обхвати предназначени за комуникация „Машина-Машина” (Machine to Machine-M2M) и други.

Точка 1.1. от глава I е посветена на наземните комуникационни мрежи. Тези мрежи използват различни технологии, за да осигурят комуникация по наземни среди като кабели, оптични влакна или безжични системи [14]. В контекста на телекомуникациите наземните мрежи обикновено включват:

- Стационарни мрежи - традиционни телефонни мрежи, които използват физически проводници или кабели за предаване на глас и сигнали за данни на големи разстояния.
- Кабелни мрежи - включват кабелни телевизионни мрежи, които предават телевизионни сигнали през коаксиални кабели и в някои случаи осигуряват достъп до интернет чрез същата инфраструктура.
- Безжични наземни мрежи - обхващат клетъчни мрежи (като 4G/5G), които използват наземни клетъчни кули и антени за предоставяне на мобилни комуникационни услуги.

Тези мрежи играят жизненоважна роля в предоставянето на комуникационни услуги, интернет свързаност и излъчване на сигнали на широк кръг потребители. Някои от ключовите обхвати [14] и честотни ленти, използвани за наземни мрежи в Европа, включват:

- Радиочестотен обхват 700 MHz - тази лента 694-790 MHz [49] е преназначена за мобилни широколентови услуги, особено за 4G и 5G мрежи, за подобряване на безжичната свързаност и достъпа до интернет [28].
- Радиочестотен обхват 800 MHz - честотната лента 790-862 MHz се използва за мобилни комуникационни услуги, като осигурява покритие върху по-големи области поради своите благоприятни характеристики на разпространение [28].

- Радиочестотен обхват 900 MHz [43] - честотните ленти 880-915 MHz и 925-960 MHz [61] се използват и за мобилни комуникации, особено за GSM (2G) мрежи [22], и може да поддържат услуги за глас и данни [28].
- Радиочестотен обхват 1800 MHz лента [29] - тази лента (1710-1785 MHz и 1805-1880 MHz) се използва за 2G и 4G услуги, като предлага по-висок капацитет за мобилни услуги за данни [69].
- Радиочестотен обхват 2100 MHz лента - честотите в диапазона 2100 MHz (1920-1980 MHz и 2110-2170 MHz) обикновено се използват за 3G (UMTS) [3] и някои 4G услуги в Европа [192].
- Радиочестотен обхват 2600 MHz - честотите в диапазона 2600 MHz (2500-2690 MHz) се използват за 4G LTE мрежи, като предлагат увеличен капацитет и по-високи скорости на данни [187].

Тези честотни ленти се управляват и регулират от националните органи и Европейската комисия, за да се осигури ефективно и координирано използване в европейските страни, позволявайки безпроблемни комуникационни услуги и технологичен напредък в региона. Усилията за хармонизиране имат за цел да създадат последователна рамка за използване на спектъра, за да се улесни трансграничната комуникация и оперативната съвместимост между различни мрежи и устройства.

В тази точка се посочва, че Европейската комисия е приела решения за хармонизирано използване на обхвати 800 MHz (радиочестотна лента 790-862 MHz), 900 MHz (радиочестотни ленти 880-915 MHz и 925-960 MHz) [30], 1800 MHz (радиочестотни ленти 1710-1785 и 1805-1880 MHz) [29], 2 GHz (радиочестотни ленти 1920-1980 и 2110-2170 MHz) [35], 2.6 GHz (радиочестотна лента 2500-2690 MHz) [34] и 3.6 GHz (радиочестотна лента 3400-3800 MHz) от наземни мрежи [14], позволяващи предоставянето на електронни съобщителни услуги [40] [53].

В т.1.2. от глава I се анализират радиочестотни обхвати 900 MHz и 1800 MHz и тяхното ефикасно използване, с цел да се обхванат допълнителни технологии, като в същото време чрез подходящи средства да се осигури техническа съвместимост с GSM и други безжични широколентови системи, както е определено в Директива 87/372/ЕИО на Съвета [29]. Радиочестотните обхвати 900 MHz и 1800 MHz за наземни безжични широколентови електронни съобщителни услуги се разглеждат и използват за приложения на Интернет на нещата (IoT) в различни региони, включително Европа. Тези ленти предлагат благоприятни характеристики за IoT устройства, включително по-добро покритие и проникване, което ги прави подходящи за широкообхватни и вътрешни разполагания [69].

В тази точка се отбелязва Решение 2009/766/ЕО на Европейската комисия, което хармонизира техническите условия за използване на радиочестотния спектър в 880-915 MHz и 925-960 MHz честотни ленти (900 MHz честотна лента) и в 1710-1785 MHz и 1805-1880 MHz честотни ленти (1800 MHz честотна лента) за наземни системи, способни да предоставят електронни съобщителни услуги в Съюза, включително безжични широколентови услуги [29]. Регулаторните органи и организациите за стандартизация работят за разпределяне на части от тези ленти за използване на IoT, без непременно да променят значително техническите условия. Този подход осигурява възможност на IoT устройствата да работят в рамките на съществуващите технически параметри, определени за тези честотни ленти, свеждайки до минимум необходимостта от значителни промени или поправки.

В тази секция от докторската работа се засягат безжичните технологии, подходящи за Интернет на нещата във връзка с мобилни широколентови съобщителни системи като - GSM с разширено покритие за Интернет на нещата (EC-GSM-IoT), комуникации от машинен тип чрез LTE (LTE-MTC) и еволюирали комуникации от машинен тип чрез LTE (LTE-eMTC), както теснолентов Интернет на нещата (NB-IoT). В тази връзка е препоръчително да се направи изменение на техническите условия за използване на радиочестотните обхвати 900 MHz и 1800 MHz по отношение на самостоятелното

разполагане и разполагането в защитна лента [29], като параметри следва да се вземат под внимание - активни антенни системи (AAS) и неактивни антенни системи (non-AAS).

Поставя се акцент на технически параметри за базовите станции като маска на ръба на блока (BEM), която гарантира съвместното съществуване между съседни електронни съобщителни мрежи при липса на двустранни или многостранни споразумения между оператори на такива съседни мрежи. Маската на ръба на блока BEM се отнася до технически условия, свързани с правата за използване на радиочестотния спектър и избягване на смущения между ползвателите на радиочестотния спектър, които се възползват от такива права. Базовото ограничение на мощността гарантира, че спектрът на други оператори в рамките на 900 MHz или 1800 MHz честотната лента е защитена [61].

В края на тази точка се правят изводи и препоръки:

➤ Наличният свободен честотен ресурс следва да бъде предоставен за ползване за разширяване, модернизиране и развитие на електронните съобщителни мрежи на действащите мобилни оператори при спазване на принципите и съобразно изискванията на Закона за електронните съобщения.

➤ С оглед осигуряване на компактни и непрекъснати честотни блокове и ефективно използване на радиочестотния спектър в обхват 1800 MHz при необходимост следва да се извърши преразпределение на предоставения на операторите честотен ресурс.

➤ Идентифициране на проблеми с трансграничното координиране [9] между държавите-членки, които могат да произтекат от въвеждането на посочените по-горе безжични технологии за Интернет на нещата в радиочестотните обхвати 900 MHz и 1800 MHz.

➤ Надграждането на мрежите до най-новите и най-ефективни технологии, ще създаде условия за дивиденти от спектъра в съответствие с принципите на обслужване и технологични неутралност. Следователно, използването на честотни ленти 900 MHz и 1800 MHz с големи размери на блокове от поне 5 MHz в подкрепа на следващото поколение (5G) наземни безжични системи следва да бъдат улеснени в изпълнение на целите на регулаторната рамка на ЕС и в съответствие с правото на ЕС.

➤ Интегрирането и търсенето на нови технологии следва да бъде възможно, предвид нарастващото пазарно търсене. Важно е да се отбележи, че при използването на Интернет на нещата в клетъчните мрежи, в радиочестотните обхвати 900 MHz и 1800 MHz, се осигурява подходяща защита на съществуващите системи в съседните радиочестотни ленти.

В т.1.3. от глава I докторската работа продължава с обследване на радиочестотните ленти 1920-1980 MHz и 2110-2170 MHz, които се използват предимно за мобилни комуникационни услуги, особено за 3G (UMTS) [3] и 4G (LTE) мрежи в Европа. Тези честотни ленти са част от спектъра, разпределен за мобилна широколентова връзка и са от съществено значение за внедряването на тези технологии на целия континент. Конкретизират се:

➤ 1920-1980 MHz - тази част от спектъра се използва за комуникация нагоре (uplink) в мобилни мрежи, което позволява на устройствата да изпращат данни към базовите станции.

➤ 2110-2170 MHz - този диапазон се използва за комуникации надолу (downlink), улеснявайки предаването на данни от базовите станции към потребителските устройства [35].

Тези ленти са важни за предоставянето на мобилни широколентови услуги, включително високоскоростен достъп до интернет и свързаност на данни за смартфони и други мобилни устройства. Освен това те поддържат различни приложения с интензивно използване на данни, стрийминг услуги и мобилен интернет достъп в европейските страни.

Усилията за оптимизиране на използването на тези честотни ленти продължават, особено след като по-новите технологии като 5G постоянно се развиват. Хармонизирането между държавите-членки на Европейския съюз е приоритет за осигуряване на последователно и ефективно използване на тези ленти за мобилни комуникационни

услуги, като същевременно се минимизират смущенията и се гарантира оперативна съвместимост между различни мрежи и устройства.

Тази секция от глава I завършва с изводи и препоръки:

➤ Съвместното използване на активните и неактивни антенни системи, използвани в системи, могат да предоставят безжични широколентови електронни съобщителни услуги (WBB ECS) в радиочестотната лента и взаимодействието им с услуги в съседни ленти (като космически услуги в лентите под 2110 MHz и над 2200 MHz). Този метод следва да се отрази благоприятно върху предоставянето и използването на сдвоените ленти в наземния обхват 2 GHz за внедряване на 5G, като същевременно се спазват принципите на неутралност по отношение на технологиите и услугите.

➤ Определяне на цели относно свързаността към Интернет в Европейския съюз, които следва да бъдат постигнати чрез повсеместно разгръщане и внедряване на мрежи с много голяма пропускателна способност. За тази цел е необходимо действие на равнището на ЕС, в това число от идентифициране и хармонизиране на радиочестотен спектър за 5G, за да се гарантира постигането на непрекъснато 5G покритие на всички градски райони и основни сухопътни маршрути до 2025 г.

➤ Определянето и предоставянето на сдвоените ленти в наземния обхват 2 GHz намира реализация в следните стъпки:

- предприемане на подходящи мерки, подкрепени чрез стартирането на процес на консултации със заинтересованите страни, ако е целесъобразно, за да се позволи използването на тази радиочестотна лента в съответствие с действащата правна рамка на равнището на Съюза, включително хармонизираните технически условия;

- адаптиране на националната правна рамка относно разпределяне на радиочестотите, за да се включи в нея предвиденото използване на тази лента, съгласно хармонизираните технически условия;

- предприемане на всички необходими мерки, за да се гарантира съвместното съществуване, до необходимата степен, с настоящото използване на тази лента.

В т.1.4. от глава I от дисертационният труд се анализира радиочестотния диапазон от 3400-3800 MHz, който се явява като ключова честотна лента, идентифицирана за внедряването на 5G технология, по-специално в средния честотен спектър, който предлага баланс между покритие и високи скорости на пренос на данни. Хармонизирането на техническите условия в тази честотна лента е приоритет за европейските страни и региони за улесняване на разгръщането на 5G мрежи [40]. Хармонизирането в този контекст включва установяване на общи технически стандарти и условия за използването на този спектър в държавите-членки на Европейския съюз. Тази хармонизация дава възможност за:

➤ Оперативна съвместимост - гарантиране, че 5G мрежите и устройствата могат да работят безпроблемно в различни страни, насърчавайки трансграничната свързаност.

➤ Ефективно използване на спектъра - задаване на технически параметри за оптимизиране на използването на тази честотна лента за 5G услуги, като същевременно се смекчат смущенията и се увеличи максимално спектралната ефективност.

➤ Регулаторна рамка - създаване на последователна регулаторна рамка за разпределение на спектъра, лицензиране и права за използване, за да се улесни разгръщането и управлението на 5G мрежи.

Усилията за хармонизиране в обхвата 3400-3800 MHz имат за цел да осигурят широко разпространено внедряване на 5G, поддържайки подобрен мобилен широколентов достъп, масивен IoT и критични комуникационни услуги [53]. Тази честотна лента се счита за съществена за осигуряване на високоскоростна свързаност с ниска латентност към широк набор от приложения и индустрии, включително интелигентни градове, автономни превозни средства, телемедицина и др.

Европейската комисия, заедно с националните регулаторни органи и организациите за стандартизация, си сътрудничат за определяне на технически условия и стандарти, за да се гарантира съгласувано и ефективно използване на този спектър за напредъка на 5G технологията в цяла Европа. Изискването е да се предоставя радиочестотната лента 3400-3800 MHz съгласно условията и реда на Решение № 2008/411/ЕО и да се разрешават, в зависимост от пазарното търсене, използването на тази лента, без да се засягат вече въведени услуги и при условия, които осигуряват на потребителите лесен достъп до безжични ширококолентови услуги. В отговор на развитието на технологиите за безжичен ширококолентов достъп, особено тези, които използват канали с широка честотна лента като тези, предназначени за 5G, техническите условия за използване на радиочестотния спектър в честотната лента 3400-3800 MHz са от съществено значение. Тези технически условия са създадени, за да осигурят ефикасното и ефективно използване на този обхват на спектъра, като същевременно подкрепят внедряването на усъвършенствани безжични ширококолентови технологии [53]. Целта на определянето на тези технически условия е да се създаде рамка, която позволява внедряването на безжични ширококолентови технологии, включително 5G, като същевременно се гарантира, че ресурсите на спектъра се използват ефективно и че услугите могат да съществуват едновременно, без да причиняват вредни смущения една на друга или на други потребители на спектъра.

В тази точка се анализират параметрите на използване в обхват 3.6 GHz, определени като:

Общи параметри -

➤ Вариант 1 - подлента 3400-3600 MHz - дуплексен режим с разделяне на каналите по време (TDD). Дуплексното отстояние е 100 MHz, като крайните станции предават в обратна посока (FDD uplink) в долната част на лентата (от 3410 MHz до 3490 MHz), а базовите станции предават в права посока (FDD downlink) в горната част на лентата (от 3510 MHz до 3590 MHz).

➤ Вариант 2 в подлентата 3400-3600 MHz - дуплексен режим на работа с разделяне на каналите по честота (FDD). Вариант 2 е алтернатива, с която ще се осигури по-висока ефикасност на използването на радиочестотния спектър. Този подход намира приложение при споделено ползване на съществуващи права върху радиочестотния спектър за определен период на успоредно съществуване или чрез прилагане на пазарно-ориентирано управление на радиочестотния спектър. Друго важно значение при използването на Вариант 2 е защита на съществуващите приложения или избягване на вредни радиосмущения. Също така определя и координация с държавите-членки на ЕС.

Като общи изводи и препоръки от т.1.4. от глава I могат да бъдат систематизирани:

➤ Техническите условия за хармонизиране на честотния спектър за наземни безжични системи в радиочестотната лента 3400-3800 MHz, не гарантират съвместимостта с всички съществуващи права на ползване от такива системи в тази радиочестотна лента. В тази връзка на съществуващите вече ползватели на радиочестоти следва да се осигури достатъчно време за прилагането на техническите условия без да се ограничава достъпът до спектъра в тази радиочестотна лента за ползватели, които отговарят на техническите условия.

➤ На национално ниво следва да се осигури достатъчно гъвкавост, да се даде възможност за отлагане прилагането на техническите условия в зависимост от търсенето на пазара.

➤ За да се гарантира прилагането на параметрите, с цел избягване на вредните радиосмущения, за да се използва по-ефикасно спектъра и да се подобри сближаването на приложенията при това използване, прилагането на метода за трансгранични споразумения е препоръчителен.

➤ Разпределяне и впоследствие предоставяне на неизключителен принцип на радиочестотната лента 3400-3800 MHz за наземни електронни съобщителни мрежи. Този

подход следва да гарантира, че няма да бъде засегната защитата и продължаването на работата на други съществуващи приложения.

В точка 1.5. от глава I от докторската работа се акцентира на хармонизиране на радиочестотната лента 2500-2690 MHz за наземни системи, позволяващи предоставяне на електронни съобщителни услуги в Общността [31]. Хармонизирането на радиочестотната лента 2500-2690 MHz [187] за наземни системи, позволяващи предоставянето на електронни съобщителни услуги в Европейската общност, включва процеса на установяване на общи технически и регулаторни условия за използването на този специфичен честотен диапазон в държавите-членки на Европейския съюз [66]. Усилията за хармонизиране имат за цел:

- Технически стандарти – установяване на общи технически стандарти и спецификации за устройства и мрежи, работещи в обхвата 2500-2690 MHz. Това включва дефиниране на параметри като техники за модулация, нива на мощност и методи за намаляване на смущенията [187].

- Регулаторна рамка – разработване на последователна регулаторна рамка за разпределяне на спектъра, лицензиране и права за ползване. Това включва гарантиране, че националните регулаторни органи в различните страни от ЕС се придържат към подобни правила и условия по отношение на използването на този спектър за електронни съобщителни услуги.

- Оперативна съвместимост - насърчаване на оперативната съвместимост между различни електронни комуникационни услуги и оборудване, използващо този честотен диапазон [17]. Това позволява безпроблемна комуникация и свързаност през границите и между различни мрежи и устройства.

- Ефективно използване на спектъра - оптимизиране използването на честотната лента 2500-2690 MHz, за нарастващото търсене на електронни комуникационни услуги [17], включително широколентов Интернет, мобилна комуникация и потенциално нововъзникващи технологии като 5G.

Хармонизирането е от съществено значение за насърчаването на единен подход към управлението на радиочестотния спектър в Европейската общност.

Целта е да се осигури ефективно използване на радиочестотната лента 2500-2690 MHz, което позволява предоставянето на електронни комуникационни услуги, като същевременно минимизира смущенията и максимизира потенциала за иновативни услуги и технологии [70].

Подчертава се, че за постигане на по-малко ограничения следва да са разработени технически условия и насоки за прилагането на възможно най-малко ограничителни условия за базови станции и крайни станции, функциониращи в радиочестотната лента 2500-2690 MHz [31], които са подходящи за справяне с риска от вредни смущения в рамките на националните територии, както и извън тях, без да се изисква използването на специална технология, основаваща се на оптимизирани параметри за най-вероятното използване на лентата.

За да се постигане съвместимост е необходимо отстояние 5 MHz между границите на спектралните блокове, използвани за неограничена дуплексна връзка с разделяне по време (TDD) и дуплексна връзка с честотно разделяне на каналите (FDD) или в случай на две несинхронизирани мрежи, функциониращи в режим TDD. Такъв вид разделяне следва да се постигне или като тези блокове от 5 MHz се оставят неизползвани, така че да служат като предпазни; или чрез използване, съобразено с параметрите на ограничената маска за границите на блоковете (BEM), когато са в близост до блок FDD (права връзка - от крайна към базова станция) или между два блока TDD; или чрез използване, съобразено с параметрите на ограничени или неограничени BEM, когато са в близост до блок FDD (обратна връзка - от базова към крайна станция). Всякакво използване на защитни блокове от 5 MHz е изложено на увеличен риск от смущения.

Разработването на подходящи критерии за споделяне на спектъра са с оглед на съвместно съществуване на някои системи при разпределянето и предоставянето на

радиочестотната лента 2500-2690 MHz [31]. За други системи и услуги подходящите критерии за споделяне на спектъра, с оглед на съвместното им съществуване, могат да се основават на национални съображения. С оглед на това се въвежда концепция за маски за границите на блоковете (BEM), които представляват технически параметри, валидни за целия спектрален блок на конкретен потребител, независимо от броя на каналите, заети от избраната от потребителя технология. Целта е тези маски да бъдат част от разрешителния режим за използване на спектъра. Те са предназначени, както за излъчването в рамките на блока от спектъра (т.е. мощността в рамките на блока), така и за излъчването извън блока (т.е. мощността извън блока). Това са нормативни изисквания, целящи управление на риска от вредни смущения между съседни мрежи и не са в противоречие с граничните стойности, зададени в стандартите за оборудването от Директива 1999/5/ЕО на Европейския парламент и на Съвета от 9 март 1999 година относно радионавигационното оборудване и далекосъобщителното крайно оборудване и взаимното признаване на тяхното съответствие.

Точка 1.5. от глава I завършва с общи изводи и препоръки, както следва:

➤ с оглед споделяне на спектъра, се предлага да се разработват подходящи критерии за съвместно съществуване на някои системи при разпределянето и предоставянето на радиочестотната лента 2500-2690 MHz.

➤ Относно постигане на по-малко ограничения следва да се разработят технически условия и насоки за прилагане на възможно най-малко ограничителни условия за базови станции и крайни станции, функциониращи в радиочестотната лента 2500-2690 MHz.

Акцентираща се на необходимост от разработване на нормативни изисквания, целящи управление на риска от вредни смущения между съседни мрежи при противоречиви гранични стойности, съгласно стандартите за оборудването. Също така се отбелязва, че предприемането на механизми за трансгранична координация между страните е от изключително значение за ефективното използване на този честотен обхват в пограничните райони.

Точка 1.6. от дисертацията е посветена на радиочестотният обхват 800 MHz, който е предназначен за хармонизирани технически условия за използването на радиочестотната лента 790-862 MHz [65] за наземни системи, даващи възможност за предоставяне на електронни съобщителни услуги [28]. Радиочестотната лента от 790 MHz до 862 MHz, е разпределена за наземни системи, за да позволи предоставянето на електронни комуникационни услуги. Хармонизираните технически условия в тази честотна лента имат за цел да установят последователни и стандартизирани правила за нейното използване в различните държави-членки на Европейския съюз.

Целта на хармонизирането в този контекст включва:

➤ Технически стандарти - определяне на общи технически параметри и стандарти за устройства и мрежи, работещи в обхвата 790-862 MHz.

Това включва спецификации за модулационни техники, нива на мощност на сигнала и методи за управление на смущенията.

➤ Регулаторна рамка - установяване на единни правила и насоки за разпределяне на спектъра, процедури за лицензиране и права за използване. Това гарантира, че националните регулаторни органи в страните от ЕС се придържат към подобни правила по отношение на използването на този спектър за електронни съобщителни услуги.

➤ Оперативна съвместимост - насърчаване на оперативната съвместимост между различни електронни комуникационни услуги и оборудване, работещи в този честотен диапазон. Това улеснява безпроблемното свързване и комуникация между различни мрежи и устройства, подобрявайки съвместимостта и потребителското търсене.

➤ Ефективно използване на спектъра - оптимизиране на използването на честотната лента от 800 MHz, за да се отговори на нарастващото търсене на електронни комуникационни услуги, като мобилна широколентова връзка, като същевременно се

гарантира ефективно управление на спектъра и минимизиране на проблемите с интерференцията.

Хармонизираните технически условия за честотната лента 790-862 MHz позволяват съгласуван подход към управлението на спектъра, насърчавайки благоприятна среда за предоставяне на електронни съобщителни услуги в целия Европейски съюз. Тя има за цел да подкрепи технологичния напредък, да насърчи иновациите и да осигури последователни, надеждни комуникационни услуги за потребителите и бизнеса, използващи тази честотна лента. За превръщане на цифровия дивидент в социални ползи и икономически растеж следва да се освободят съответните радиочестотни ленти, предназначени за цифров дивидент във възможно най-кратки срокове. Пълноценно използване на предимствата от цифровия дивидент в Европа е общ подход към използването на радиочестотния спектър, освободен при преминаване към цифрово радиоразпръскване [13]. Цифровият дивидент се отнася до спектъра, освободен в резултат на прехода от аналогово към цифрово излъчване. Този преход освободи ценен радиочестотен спектър, който се използваше за аналогови телевизионни предавания, създавайки възможност за пренасочване на този спектър за други услуги, особено за безжична широколентова връзка и мобилна комуникация. В Европа цифровият дивидент е ключов фокус за максимално използване на този новоналичен спектър. Някои от общите подходи за използване на този спектър включват:

- Мобилна широколентова връзка (4G и 5G) - пренасочване на спектъра на цифровия дивидент, особено в UHF обхвата (обикновено около 700 MHz), за мобилни широколентови услуги. Този спектър, със своите благоприятни характеристики на разпространение, позволява по-широко покритие и по-добро проникване в сградите, което го прави изключително подходящ за предоставяне на високоскоростни мобилни интернет услуги.

- Безжични комуникационни услуги - освен мобилната широколентова връзка, спектърът на цифровия дивидент се използва и за други безжични комуникационни услуги, включително IoT (Интернет на нещата) приложения, мрежи за обществена безопасност и потенциално за бъдещи технологии като разширяване на 5G или иновативни услуги.

- Хармонизиране и оперативна съвместимост - усилията в европейските държави са насочени към хармонизиране на използването на спектъра на цифровия дивидент, за да се гарантира последователност и оперативна съвместимост между различни мрежи и устройства. Това улеснява трансграничната комуникация и повишава ефективността при използването на спектъра.

Точка 1.6. от глава I завършва с общи изводи и препоръки:

- Необходима е подкрепа от страна на ЕК и подпомагане в процеса на постигане на тясно сътрудничество между държавите-членки, както и с трети държави в координацията на използването на радиочестотния спектър и за пълно оползотворяване на предимствата от цифровия дивидент.

- Предоставянето на обхват 800 MHz за мрежи, различни от мрежите за радиоразпръскване с голяма мощност, трябва да се извършва на неизключителен принцип за наземни системи [13], позволяващи предоставянето на електронни съобщителни услуги.

- Необходимо е да се гарантира, че системите, предназначени за този обхват, осигуряват подходяща защита за системите, функциониращи в съседни радиочестотни ленти.

- Постигането на споразумения за трансгранична координация е препоръка, с цел да се създават възможности за функционирането на системите, като се отчитат съществуващите регулаторни процедури и права.

- Препоръчва се координация в географски области с трети страни, което ще улесни разрешаване на проблема с отклонението от параметрите.

В точка 1.7. от глава I се анализира обхват 700 MHz, който все още не е освободен напълно за граждански нужди. Част от обхвата е предоставен за използване за наземно цифрово телевизионно радиоразпръскване (DVB-T), а останалата част се използва за нуждите на националната сигурност [5].

Радиочестотни ленти 694-726 MHz (от 49 до 52 ТВ канали) и 758-766 MHz (57 ТВ канал) са определени за граждански нужди. Радиочестотните ленти 726-758 MHz (от 53 до 56 ТВ канали) и 766-790 MHz (от 58 до 60 ТВ канали) се използват от националната сигурност (с изключение на 5 канала, които могат да се използват за определени зони на обслужване за DVB-T). Стремешът е към координиран подход, включващ определяне възможно най-скоро на хармонизирани технически условия за използване на обхват 700 MHz за безжични ширококолентови услуги. Процесът на освобождаване на цялата честотна лента от 700 MHz за граждански нужди, предимно за мобилни ширококолентови услуги като 5G, въпреки това, може да варира в различните страни в Европа. Въпреки че много страни постигат значителен напредък в пренасочването на тази лента за мобилен ширококолентов достъп, някои региони може все още да имат части от спектъра в рамките на лентата от 700 MHz, разпределени за други цели или преминаващи през преходни фази. Факторите, влияещи върху забавянето на пълното освобождаване, може да включват:

- Преход към излъчване - някои региони може да са били по-бавни в завършването на прехода от аналогово към цифрово телевизионно излъчване, забавяйки пълното освобождаване на честотната лента от 700 MHz за граждански нужди.

- Регулаторни процеси - закъсненията в регулаторните процеси или преговорите между заинтересованите страни също могат да повлияят на графика за пълното освобождаване на спектъра.

Обикновено се полагат усилия за ускоряване на процеса и за пълно освобождаване на честотната лента от 700 MHz за граждански нужди, като се има предвид нейното значение за разширяване на покритието на мобилния ширококолентов достъп и улесняване на внедряването на напреднали безжични технологии като 5G. Конкретните срокове и темпото на това освобождаване обаче могат да варират в зависимост от регионалните и националните особености. В тази връзка следва да се разработи план за миграцията на радиоразпръскването в лентите под 700 MHz, като се уведомят своевременно заинтересованите страни за това.

В тази точка от докторската работа се прави изследване и анализ на оценка на ефективността от ползването на обхват 700 MHz. В контекста на възможностите за бъдещо преразпределение е от гледна точка на потенциалните ползи и в зависимост от инвеститорския интерес. Анализирани са изискванията за радиочестотния спектър на бъдещите безжични ширококолентови системи (WBB), след отчитане на различните географски характеристики, пазарни ситуации, както и различни сценарии за използване. Целта е да се гарантира, че радиочестотният спектър е добре усвоен и изисквания за капацитет на бъдещата скорост и покритие са изпълнени. Фокусът е насочен върху хармонизиране на възможни бъдещи ECS честотни ленти: 700 MHz, 1452-1492 MHz [42], 2.3-2.4 GHz. При проучването е взето предвид търгове и текущите тенденции за най-добрите практики в европейската общност.

Точка 1.7. от глава I завършва с общи изводи и препоръки относно бъдещото използване на радиочестотния обхват 700 MHz, като дългосрочна стратегия за дециметровия обхват. Поставя се акцент, че е препоръчително същият да е на разположение за електронни съобщителни услуги (ЕС), като му бъде използван пълният капацитет. Също така следва да се осигури възможност сегашните потребности да бъдат хармонизирани в близко бъдеще с допълнителни ресурси в две честотни ленти: 2.3 - 2.4 GHz / 700MHz.

В точка 1.8. от глава I се анализира радиочестотния обхват 2.3 GHz и по точно радиочестотната лента 2300-2400 MHz, който е определен за хармонизирани технически условия за наземни системи, позволяващи предоставянето на електронни съобщителни услуги в Европейския съюз. Това цели да се хармонизират условията за достъп и

ефективно използване на радиочестотна лента 2300-2400 MHz при прилагане на принципа на лицензиран съвместен достъп (LSA). Лицензираният споделен достъп (LSA) е признатият подход от СЕРТ за администрации, които желаят да въведат MFCN, като същевременно запазят текущата употреба. Регулаторните разпоредби, базирани на LSA, могат да осигурят дългосрочно традиционно използване на честотната лента. Подчертава се, че през 2022 г. ЕСС извършва преглед на това решение на ЕСС и въз основа на тази оценка разработва хармонизиран план, подходящ за 5G ново радио (NR), включително активни антенни системи (AAS), както и LTE с AAS. Определени са технически условия, които осигуряват съвместимост между наземните мрежи, позволяващи предоставянето на електронни съобщителни услуги, в лента 2300-2400 MHz от една страна и съвместимост на тези мрежи с приложенията, работещи над 2400 MHz от друга страна. Следва да се гарантира, че наземните системи могат да работят заедно със съществуващите системи в лента 2300-2400 MHz и в съседните ленти, като възможността за прилагане на споделено използване на спектъра трябва да се определя за всеки отделен случай.

На национално ниво радиочестотната лента 2300-2400 MHz е определена за ползване от радиосъоръжения от електронни съобщителни мрежи SAP/SAB, включително ENG/OB (безжични камери, портативни и мобилни видео връзки). Електронните съобщения от мрежи SAP/SAB, включително ENG/OB се осъществяват при спазване разпоредбите на Правилата за осъществяване на електронни съобщения чрез радиосъоръжения, които ползват радиочестотен спектър, който не е необходимо да бъде индивидуално определен. Съгласно Правилата, мрежите SAP/SAB, включително ENG/OB не следва да причиняват вредни смущения на други ползватели на същата радиочестотна лента или радиосъоръжения от други радиослужби и не следва да претендират за защита от вредни смущения, произхождащи от други ползватели на същата радиочестотна лента или радиосъоръжения от други радиослужби, при условие че не се нарушават изискванията за несъздаване на смущения при ползване на радиочестотния спектър. Радиочестотната лента 2300-2400 MHz е определена за ползване и от радиосъоръжения от любителска радиослужба [12] на вторична основа при спазване на определени изисквания. Съгласно Националния план за разпределение на радиочестотния спектър радиослужбите на вторична основа не трябва да създават вредни смущения и не могат да имат претенции за защита от вредни смущения от радиослужбите на първична основа, на които честотите вече са присвоени или могат да бъдат присвоени по-късно. Любителската радиостанция не следва да причинява смущения на други радиосъоръжения и на други електронни мрежи, отговарящи на съответните стандарти. Осъществяването на електронни съобщения чрез радиосъоръжения от любителската радиослужба се извършва при спазване на Техническите изисквания за осъществяване на електронни съобщения чрез радиосъоръжения от любителската радиослужба.

Съгласно българското законодателство съществуващите мрежи (SAP/SAB, включително ENG/OB и любителските радиостанции) не следва да причиняват вредни смущения и да претендират за защита от други мрежи, включително наземните мрежи, позволяващи предоставянето на електронни съобщителни услуги, за които се предвижда радиочестотна лента 2300-2400 MHz.

Относно бъдещите мерки за хармонизиране на използването на радиочестотната лента 2300-2400 MHz подходът за споделено ползване на сегашното разпределение на радиочестотната лента 2300-2400 MHz от WBB услуги и националната сигурност е възможен, само ако сценариите за споделяне са определени на национално ниво. Следва да се продължи насърчаването за гъвкав подход за споделяне на радиочестотната лента 2300-2400 MHz, за да може мисията на НАТО да поддържа и да изпълни своите национални изисквания за отбрана. Този метод може да срещне трудности при общоевропейско хармонизиране, предвид на това че в някои държави-членки (напр. Република Чехия) тази лента вече е разпределена за национална сигурност.

Точка 1.8. от глава I завършва с общи изводи и препоръки, както следва:

➤ Радиочестотен обхват 700 MHz - тази по-ниска честотна лента (по-специално 694–790 MHz) е известна с отличните си характеристики на разпространение,

позволявайки на сигналите да преминават на по-големи разстояния и да проникват по-ефективно в сградите. Той обикновено се използва за 4G LTE мрежи и също така се счита за решаващ за разгръщането на 5G мрежи, като осигурява широко покритие и поддържа високоскоростно предаване на данни.

- Радиочестотен обхват 1.5 GHz покрива диапазон от честоти около 1.5 GHz. Често се използва за мобилни комуникационни технологии, включително 3G и 4G LTE мрежи. Той предлага баланс между покритие и капацитет за пренос на данни.

- Радиочестотен обхват 2.3 GHz обикновено варира около 2.3 GHz. Това е друг обхват, използван за 4G LTE мрежи и също така е сред опциите за спектър, разглеждан за 5G.

- Радиочестотен обхват 2.5 GHz - по-специално около 2.5-2.69 GHz е известен със своята пригодност за предаване на данни с голям капацитет. Често се използва за технологии за широколентов безжичен достъп, включително WiMAX и определени внедрявания на 4G LTE. Освен това се счита за ценен за 5G мрежи, особено при осигуряване на висок капацитет и по-високи скорости в градска и гъста градска среда.

- Следва да се вземе под внимание, че бъдещето на хармонизиран спектър за WBB под 2.5 GHz (700 MHz, 1.5 GHz, 2.3 GHz) ще преодолее разстоянието с други региони, което е предпоставка Европа да запази лидерската си позиция в сравнение с останалите региони.

В точка 1.9. от глава I се анализира развитието на мрежи от четвърто поколение (4G) и технологията LTE, която е важен фокус в телекомуникационната общност на Европейския съюз. Технологията LTE осигурява по-бързи скорости на пренос на данни, намалено забавяне и подобрен мрежов капацитет в сравнение с предишни поколения. В ЕС развитието и внедряването на LTE мрежи има за цел:

- Подобряване на широколентовата свързаност - LTE технологията предлага високоскоростен достъп до Интернет както в градските, така и в селските райони, като се справя с нарастващото търсене на услуги и приложения с интензивно използване на данни.

- Подобряване на мобилните услуги - LTE мрежите позволяват по-качествени услуги за глас и данни за мобилни потребители, поддържащи мултимедийни приложения, поточно видео, онлайн игри и др.

- Активиране на IoT и индустриални приложения - възможностите на LTE са използвани за IoT приложения, свързващи различни устройства и позволяващи интелигентни решения в индустрии като здравеопазване, транспорт, селско стопанство и производство.

Усилията за хармонизиране на използването на спектъра, осигуряване на оперативна съвместимост между операторите и насърчаване на лоялната конкуренция са от важно значение за насърчаване на развитието на LTE в държавите-членки. Въпреки това, докато LTE мрежите бяха широко разпространени и значително подобриха мобилната свързаност в ЕС, вниманието се насочи към продължаващата еволюция на мобилните мрежи към още по-напреднали технологии като 5G, които обещават допълнителни подобрения в скоростта, капацитета и поддръжката на иновативни приложения. В България са налице механизмите за осигуряване на ефективно ползване на радиочестотния спектър и създаване на условия за развитие на конкурентен съобщителен сектор. Въпреки, че принципът на неутралност относно използваните технологии е приложен по отношение на обхвати 900 MHz, 1800 MHz, 2 GHz, 2.6 GHz и 3.6 GHz, интересът на бизнеса за развитие на LTE в България е насочен предимно към обхват 800 MHz (т. нар. „цифров дивидент“). Тази тенденция се наблюдава и на европейско ниво, където в повечето случаи за развитие на широколентови мобилни мрежи от ново поколение се ползва ресурс от обхвати 800 MHz, 1800 MHz и 2.6 GHz.

Точка 1.9. от глава I завършва с общи изводи и препоръки в аспекта на използването на спектъра в диапазоните 800 MHz и 2.6 GHz за мобилни широколентови мрежи като стратегически ход, който предлага няколко предимства:

➤ Покритие и капацитет - спектърът от 800 MHz осигурява отлично покритие, особено в селски райони или на закрито, поради способността си да прониква в сгради и да покрива по-големи разстояния. От друга страна, спектърът от 2.6 GHz предлага голям капацитет и по-високи скорости, което го прави идеален за градски райони с голямо търсене на данни.

➤ Подобрена свързаност - комбинирането на тези два спектъра позволява по-всеобхватна и балансирана мрежова инфраструктура. Той гарантира, че потребителите изпитват надеждна свързаност в различни среди, независимо дали градски или селски.

➤ Икономически растеж - чрез осигуряване на широко разпространен достъп до високоскоростен широколентов достъп, бизнесите могат да процъфтяват, да се появят нови индустрии и иновациите да процъфтяват. Това води до икономически растеж чрез насърчаване на благоприятна среда за предприемачество и технологичен напредък.

➤ Социални ползи - достъпът до широколентови мрежи става все по-важен за образованието, здравеопазването, комуникацията и социалното включване. Ефективното използване на спектъра помага за преодоляване на цифровото разделение, като гарантира, че необслужваните общности имат достъп до основни услуги и информация.

➤ Конкуrentно предимство - страните или регионите, които инвестират и използват ефективно тези честоти, получават конкурентно предимство в привличането на бизнеси, насърчаването на иновациите и осигуряването на високо качество на живот за своите граждани.

➤ Регулаторни рамки - създаването на ефективни регулаторни рамки за разпределяне и управление на спектъра е от решаващо значение.

Добрите европейски практики показват, че за изграждането на мобилни широколентови мрежи се ползва спектър в комбинация от двата обхвата - 800 MHz и 2.6 GHz. Това е от интерес, както от страна на бизнеса така и възможността за превръщане на ресурса в източник на социални ползи и икономически растеж.

В точка 1.10. от глава I се анализира въвеждането на наземното цифрово радиоразпръскване (DVB-T), което е стандарт за излъчване на цифрова телевизия с помощта на наземни средства, като антени, за приемане на телевизионни сигнали. В Европейския съюз DVB-T е важна технология за прехода от аналогова към цифрова телевизия. Акцентира се на основните моменти относно DVB-T в ЕС:

- Преход към цифрова телевизия.
- Ефективност на спектъра.
- Преход към по-модерни стандарти.
- Географски различия.
- Миграция към технологии от следващо поколение.

Честотните ленти, използвани за DVB-T (цифрово видеоразпръскване-наземно), варират в зависимост от региона и държавата поради разликите в разпределението на спектъра и регулаторните решения. Но най-често използваните честотни ленти за DVB-T излъчване в различни части на света, включително Европа, са в обхвата UHF (свръхвисока честота).

В Европа типичните честотни ленти, използвани за DVB-T излъчване, включват:

➤ 470-694 MHz (UHF обхват) - Този обхват обикновено се използва за DVB-T излъчване в много европейски страни. Той включва канали от 21 до 48, а понякога дори и по-високи честоти до канал 60 за предаване на цифрова телевизия.

➤ 174-230 MHz (VHF лента) - Въпреки че е по-рядко срещан за DVB-T поради ограничения в честотната лента и капацитета на канала в сравнение с UHF, някои страни в Европа може да са използвали по-ниската VHF лента за цифрови телевизионни услуги.

В България, подобно на много други европейски страни, е разпределена UHF лента за DVB-T излъчване. Това обикновено включва честотния диапазон от 470-694 MHz.

Въвеждането на наземно цифрово радиоразпръскване на национално ниво е съществено значение, както и заинтересоваността на бизнеса, относно предпочитаният честотен обхват и технология за въвеждане на цифрово радиоразпръскване. Това е с оглед осигуряване на възможност за ефективно ползване радиочестотен спектър и създаване на предпоставки за развитие на мрежи за наземно цифрово радиоразпръскване.

Предприетите действия по препланиране на телевизионни канали във връзка с освобождаването на обхват 700 MHz е с оглед технологично неутралното използване [5]. С приемането на Национална пътна карта за изпълнение на задълженията на Република България по Решение (ЕС) 2017/899 се създадоха условия за хармонизиране използването на радиочестотната лента 694-790 MHz (обхват 700 MHz) [173]. В Пътната карта е посочено, че за обхват 700 MHz най-оптималният вариант за новия цифров план за наземна цифрова телевизия за България включва 4 национални и 18 регионални мрежи за наземно цифрово телевизионно радиоразпръскване в радиочестотната лента 470-694 MHz. С освобождаването на предвидените радиочестотни ленти 753-758 MHz (5 MHz) и 766-778 MHz (12 MHz) ленти и лентите, освободени от цифрова телевизия, в обхват 700 MHz се осигурява честотен ресурс от 2x20 MHz (ленти 703-723 MHz и 758-778 MHz) за граждански нужди и 2x5 MHz (698-703 MHz и 753-758 MHz) за мрежи за обществена безопасност, защита на населението и реакция при бедствия (Public Protection and Disaster Relief – PPDR) с разпределение на честотните блокове според приложението на Решение за изпълнение (ЕС) 2016/687. Част от обхвата (радиочестотните ленти 726-753 MHz и 778-790 MHz) продължава да се използва за целите на обществения ред, обществената сигурност и отбраната от Министерство на отбраната [5].

Точка 1.10. от глава I завършва с общи изводи и препоръки в аспекта на внедряване и подобряване на цифровото наземно излъчване (DVB-T):

- Ефективност на спектър - следва да има непрекъснато оптимизиране използването на спектъра чрез приемане на по-ефективни технологии за кодиране и компресиране. Усъвършенстваните кодеци като HEVC (високоефективно видео кодиране) могат да помогнат за увеличаване на броя на каналите в рамките на даден спектър.

- Качество и иновации - фокус върху предоставянето на съдържание с висока разделителна способност (HD) и ултрависока разделителна способност (UHD), за да се подобри качеството на предлаганата услуга за зрителя.

- Оперативна съвместимост и стандарти - осигуряване на съвместимост между различни DVB-T устройства и стандарти. Това насърчава възприемането на нови технологии.

- Покритие и достъпност - разширено покритие, за да се достигне до недостатъчно обслужвани или отдалечени райони. Това може да се постигне чрез оптимизиране на мрежите на предавателите и разполагане на запълващи пропуски в зони със слаба сила на сигнала.

- Екологични подходи - следва да бъдат изследвани екологични методи за излъчване, за да се минимизира въздействието върху околната среда на инфраструктурата за излъчване. Това включва оптимизиране на използването на енергия в предавателите и възприемане на устойчиви практики в операциите по излъчване.

Точка 1.11. от глава I разглежда радиочестотни обхвати подходящи за мрежи от вида „точка към точка”. При мрежите от неподвижна радиослужба [10] от вида „точка към точка” в обхвати 6 GHz, 7 GHz, 11 GHz, 13 GHz 18 GHz, 23 GHz, 28 GHz и 38 GHz се забелязва устойчиво насищане. Отчита се използването на по-усъвършенствани технологии, което обуславя изграждането на мрежи с общ цифров капацитет от 150 до 900 Mbit/s и модулационни нива от порядъка на 256/512/1024 QAM или 2048 QAM в едно направление. Фиксираните радиослужби от точка до точка (P2P) в различни честотни ленти, включително 6 GHz, 7 GHz, 11 GHz, 13 GHz, 18 GHz, 23 GHz, 28 GHz и 38 GHz [107], се отнасят за специални безжични комуникационни връзки, установени между две конкретни точки. Тези връзки използват радиочестоти в тези разпределени ленти за предаване на данни или комуникационни сигнали директно между крайните точки.

Тези честотни ленти предлагат различни характеристики, включително разпространение, капацитет и чувствителност към фактори на околната среда. Фиксираните P2P радиоуслуги в тези честотни ленти обикновено се използват за различни приложения, като например телекомуникационен бекхаул, корпоративна свързаност, достъп до последната миля и опорни връзки [107].

Тази секция от докторската работа завършва с изводи и препоръки относно нарасналата нужда от широколентова свързаност:

- следва да се разширят тенденциите за предоставяне за ползване на радиочестотен спектър от обхвати 74-76 GHz и 84-86 GHz за висококапацитетни радиорелейни участъци (над 1500 Mbps).

- Интересът към използването на високите обхвати от страна на бизнеса се запазва, което е претовареност за определяне на техническите условия за използване на радиочестотна лента 57-64 GHz от неподвижна радиослужба.

- Обхват 6 GHz - тази лента предлага добър капацитет и разумни характеристики на разпространение. Подходящ е за връзки с по-малък обхват, изискващи по-високи скорости на данни. Освен това е относително по-малко претоварен в сравнение с по-ниските честоти, което го прави благоприятен за връзки от точка до точка и от точка до много точки в градските райони.

- Обхват 7 GHz - подобно на честотната лента от 6 GHz, предлага приличен капацитет и е подходящ за връзки с малък до среден обхват. Използването му може да варира в зависимост от регионалните разпоредби и наличния спектър, но обикновено се използва за микровълнови връзки от точка до точка.

- Обхват 11 GHz - често се използва за комуникационни връзки на дълги разстояния, поради способността му да прониква през атмосферни условия като дъжд и мъгла. Той е предпочитан заради своята надеждност в такива сценарии и се използва за преносни връзки в телекомуникационни мрежи.

- Обхват 13 GHz - тази честотна лента е подходяща за безжични комуникационни връзки със среден обхват, често използвани за връзки от точка до точка и от точка до много точки. Неговата надеждност и умерени скорости на данни го правят подходящ за различни приложения, включително свързаност в селските райони и пренос.

- Обхват 18 GHz - известен със своите по-високи скорости на предаване на данни и характеристики на относително малък обхват, той обикновено се използва за комуникационни връзки с голям капацитет на къси разстояния. Това е от полза за градски или гъсто населени райони, където се изисква висока производителност на данни.

- Обхват 23 GHz – този обхват предлага връзки с голям капацитет и често се използва за градски или крайградски връзки от точка до точка, особено за приложения с висока честотна лента като клетъчни бекхаул и корпоративни мрежи.

- Обхват 28 GHz - считан за честота на милиметрови вълни, той предлага изключително високи скорости на данни, но има ограничен обхват и възможности за проникване. Често се използва за внедряване на малки клетки в 5G мрежи, осигурявайки ултра-бърза свързаност в гъста градска среда.

- Обхват 38 GHz - друг обхват на милиметрови вълни, той предлага ултрависоки скорости на данни, но има дори по-къс обхват и по-ограничени възможности за проникване в сравнение с 28 GHz [110] [111]. Използва се предимно за специфични приложения, изискващи изключително висока честотна лента в много гъста градска среда.

Като препоръки за специални безжични комуникационни връзки в тези честотни диапазони трябва да се вземат предвид фактори като регулаторни ограничения, антенни технологии, наличност на спектъра, разстояние на връзката, изисквания за пропускателна способност и условия на околната среда.

Осигуряването на правилна линия на видимост, използването на усъвършенствани техники за модулация и използването на стратегии за редуциране на смущенията са ключови за максимизиране на производителността в тези честотни ленти.

В точка 1.12. от глава I се анализират радиочестотни обхвати подходящи за мрежи от вида „точка към много точки”. Представят се няколко честотни ленти, които могат да се използват за мрежи от точка към много:

➤ Под - 6 GHz ленти (напр. 2.4 GHz, 5 GHz) - тези ленти предлагат добро покритие и възможности за проникване, което ги прави подходящи за мрежи от точка към много в различни среди. Те обикновено се използват за Wi-Fi и някои безжични комуникационни системи [83].

➤ 6 GHz лента - с неотдавнашното отваряне на 6 GHz спектър за нелицензирано използване в много региони, тази лента осигурява по-широки канали и намалено претоварване, което я прави подходяща за мрежи от точка към много с голям капацитет, особено за Wi-Fi 6E и Wi-Fi 7 технологии [88].

➤ Честотни ленти с милиметрови вълни (напр. 24 GHz, 28 GHz, 60 GHz) - тези ленти предлагат изключително високи скорости на данни, но имат ограничен обхват и може да изискват по-сложно оборудване [44]. Те могат да бъдат подходящи за мрежи от точка към много в гъста градска среда или за специфични приложения с висока честотна лента [60].

➤ Лицензирани микровълнови ленти (напр. 11 GHz, 18 GHz, 23 GHz) - лицензираните ленти осигуряват надеждна и устойчива на смущения комуникация, което ги прави подходящи за мрежи от точка към много, изискващи свързаност на дълги разстояния, като клетъчни преносни или опорни връзки [89].

Изборът на подходяща честотна лента за мрежа от точка към много включва разглеждане на фактори като зона на покритие, необходими скорости на данни, нива на смущения, регулаторни ограничения, цена на оборудването и мащабируемост. За широкообхватно покритие и умерени скорости на данни може да са подходящи ленти под 6 GHz, като 5 GHz [26] или новодостъпната честотна лента 6 GHz. Въпреки това, за градска среда с висока плътност, изискваща изключително високи скорости на предаване на данни, могат да се вземат предвид ленти с милиметрови вълни като 28 GHz или 60 GHz, въпреки по-късия им обхват.

На национално ниво все още не е отчетен интерес от страна на бизнеса към мрежи от вида неподвижен безжичен достъп (Fixed Wireless Access, FWA). Перспективите са за ползване на свободния ресурс в радиочестотния обхват 26 GHz. Извършено е преразпределение на радиочестотния спектър в обхвата, като за FWA мрежите са определени за използване канали от 1 до 12, а канали от 14 до 25 (с лента 28 MHz всеки) определени за мрежи от вида „точка към точка”.

Тази точка от дисертационният труд завършва с изводи и препоръки относно изборът на честотна лента за мрежа от точка към много точки:

➤ Широка зона на покритие с умерени скорости на пренос на данни - следва да се обмисли използването на честотните ленти 2.4 GHz или 5 GHz. Тези честоти предлагат добро покритие и възможности за проникване и обикновено се използват в Wi-Fi мрежи.

➤ Висок капацитет и смекчаване на задръстванията - честотната лента от 6 GHz представлява добър избор за мрежи от точка към много точки, като предлага по-широки канали и редуциране на задръствания, като позволява по-високи скорости на данни и побира повече устройства с по-малко смущения. Това е особено полезно за приложения с голям капацитет, като Wi-Fi 6E или Wi-Fi 7 технология.

➤ Градска среда с висока плътност - в гъсти градски райони с голямо търсене на честотна лента и свързаност, честотните ленти на милиметрови вълни, като 28 GHz или 60 GHz могат да осигурят изключително високи скорости на пренос на данни. Тези ленти, въпреки че предлагат по-къс обхват, могат да служат добре в сценарии, при които връзките от точка към много трябва да поддържат приложения с висока честотна лента в ограничена зона.

➤ Далекобхватна и надеждна свързаност - лицензираните микровълнови ленти в обхвата 11 GHz, 18 GHz или 23 GHz предлагат надеждна, устойчива на смущения комуникация, подходяща за мрежи от точка към много, изискващи свързаност на дълги

разстояния. Тези честотни ленти обикновено се използват за приложения като клетъчна връзка или опорни връзки.

➤ Балансиране на покритие и капацитет - диапазоните под 6 GHz, като 3.5 GHz или 4.9 GHz, могат да предложат баланс между покритие и капацитет. Те осигуряват прилично покритие, като същевременно поддържат по-високи скорости на данни в сравнение с по-ниски честотни ленти като 2.4 GHz.

В точка 1.13. от глава I се прави аналитичен преглед на сателитните телекомуникационни мрежи за мобилни услуги, които работят в специфични радиочестотни диапазони. Представени са някои често срещани честотни диапазони, използвани в сателитната телекомуникация за мобилни услуги:

➤ L-обхват (1-2 GHz) - този диапазон често се използва за мобилни сателитни услуги (MSS) [19] поради способността му да прониква в атмосферни условия като дъжд и листа. L-лентовите честоти се използват за сателитни телефонни услуги, осигуряващи глобално покритие за комуникация с глас и данни.

➤ S-лента (2-4 GHz) - S-лентовите честоти се използват за различни сателитни комуникационни услуги, включително мобилно излъчване, мобилни данни и широколентови услуги. Те предлагат баланс между покритие и скорости на данни, което ги прави подходящи за определени мобилни приложения.

➤ C-обхват (4-8 GHz) - широко използван в сателитната комуникация, C-обхватът поддържа различни приложения, включително мобилни услуги. Въпреки че не е предназначен изключително за мобилни устройства, той се използва за някои мобилни услуги за обратна връзка и широколентови услуги поради способността му да прониква през неблагоприятни метеорологични условия.

➤ Ku-обхват (12-18 GHz) - честотите на Ku-обхвата обикновено се използват за сателитно излъчване, широколентови интернет услуги и някои мобилни приложения. Въпреки че не се използват толкова често за директни мобилни услуги, сателитите в Ku-обхвата могат да поддържат индиректна мобилна свързаност чрез обратна връзка или мрежова инфраструктура.

➤ Ka-лента (26.5-40 GHz) - известна с високите си скорости на данни, Ka-лентата се използва все повече за широколентови сателитни услуги, включително достъп до мобилен интернет и пренос. Неговите по-високи честоти позволяват приложения с повече данни, но може да са с ограничено покритие в сравнение с по-ниските честотни ленти.

Акцентираща се Европейските решения, имащи отношение за развитието на спътниковите услуги, а именно:

➤ Решение 2011/667/ЕС, определящо условията за съгласувано прилагане на правилата за привеждане в изпълнение по отношение на мобилни спътникови услуги (МСУ);

➤ Решение 2009/449/ЕО относно подбора на оператори на общоевропейски системи, предоставящи мобилни спътникови услуги (МСУ);

➤ Решение 2007/98/ЕО относно хармонизиране на използването на радиочестотния спектър в честотния обхват от 2 GHz за въвеждането на системи, предоставящи мобилни спътникови услуги;

➤ Решение № 626/2008/ЕО на Европейския парламент и на Съвета относно подбора и издаването на разрешения за системите, предоставящи мобилни спътникови услуги.

На национално ниво са създадени условия за предоставяне на МСУ на територията на Република България, с оглед изпълнение на разпоредбите на Решение 2007/98/ЕО и Решение № 626/2008/ЕО.

Точка 1.13. от дисертационният труд завършва с общ извод, че в Европейския съюз (ЕС) сателитните телекомуникационни мрежи за мобилни услуги работят в честотни диапазони, които са в съответствие с международните стандарти, но специфичните разпределения може леко да варират, поради регионалните разпоредби. Подчертава се,

че регулаторни органи като Европейската конференция на пощенските и телекомуникационните администрации (СЕПТ) и Европейският институт за телекомуникационни стандарти (ETSI) играят значителна роля в хармонизирането на разпределението на спектъра и гарантирането на съвместимостта на сателитните мрежи в държавите-членки на ЕС. Констатира се, че за конкретни проекти или внедрявания в рамките на ЕС е изключително важно да се извърши консултация с регулаторните органи или организациите, участващи в управлението на спектъра, за да се осигури съответствие с настоящите разпоредби. Освен това, като се имат предвид технологичният напредък и текущите разработки в областта на сателитните комуникации, поддържането на актуална информация за регулаторните промени и стандарти е от съществено значение за внедряването на ефективни сателитни телекомуникационни мрежи за мобилни услуги в ЕС.

Точка 1.14. от глава I е посветена на ползване на радиочестотен спектър, който не е необходимо да бъде индивидуално определен. В Европейският съюз има определени честотни ленти, които могат да се използват за радиокомуникации, без да е необходимо индивидуално присвояване. Тези ленти често се наричат “освободени” от лиценз или нелицензирани ленти, където потребителите не изискват специално разрешение за тяхното използване. Тези ленти обикновено са налични за различни технологии, включително Wi-Fi, Bluetooth и други устройства с малък обseg на действие [37]. Някои често срещани освободени от лиценз честотни ленти включват:

- Честотна лента 2.4 GHz.
- Честотна лента 5 GHz.
- Честотна лента 863-870 MHz.
- Честотна лента 24.25-27.5 GHz.

Тези освободени от лиценз ленти са предмет на определени технически ограничения и разпоредби, за да осигурят работа без смущения сред различните потребители. Въпреки това, те осигуряват гъвкавост за устройства и технологии, които работят в тези ленти, без да се нуждаят от индивидуални честотни назначения или лицензи [38]. Отбелязано е, че въпреки че тези ленти не изискват индивидуално присвояване, спазването на съответните технически стандарти и разпоредби, определени от регулаторните органи (като СЕПТ, ETSI и националните регулаторни органи в държавите-членки на ЕС), е задължително, за да се гарантира ефективност и използване на спектъра без смущения [127].

Точка 1.14. от дисертационният труд завършва с общ извод подчертаващ, че осигуряването на достатъчно радиочестотен спектър, който не е необходимо да бъде индивидуално определен, хармонизиран на равнището на Европейския съюз, улеснява индустрията, потребителите в ежедневието, бизнеса и стимулира научноизследователската и развойната дейност. Това от своя страна укрепва единния Европейски пазар в сектора на електронните съобщения.

В точка 1.15. от глава I се анализират радиочестотни обхвати за устройства с малък обseg на действие. Устройствата с малък обseg на действия ползват радиочестотен спектър, който не е необходимо да бъде индивидуално определен и заема голяма част от общия спектър. Комбинацията от категории хармонизирани устройства с малък обseg на действие и техническите условия за ползването им създават благоприятна среда за съвместно използване на спектъра по начин, който позволява устройствата да използват спектъра при условията на неизключителен достъп, независимо от целта на това използване, като се прилагат принципите за неутралност на технологиите и услугите [37].

Устройства с малък обхват (SRD) [45] в Европейския съюз се отнасят до различни безжични комуникационни устройства, които работят в рамките на специфични честотни ленти и нива на мощност, обикновено използвани за комуникация на къси разстояния без необходимост от индивидуални лицензи за спектър [27]. Тези устройства служат за различни цели, от потребителска електроника до индустриални приложения. Някои често срещани типове устройства с малък обseg в ЕС включват:

- Bluetooth устройства - честотната лента от 2.4 GHz.
- Wi-Fi устройства - честотни ленти 2.4 GHz и 5 GHz.
- RFID (радиочестотна идентификация - 865-868 MHz в ЕС за пасивни RFID системи
- Безжични микрофони и аудио устройства.
- Безжични аларми и сензори.

Регламентите на ЕС определят технически изисквания, честотни ленти, нива на мощност и други условия за работа на устройства с малък обсег, за да се предотвратят смущения и да се гарантира хармонизирана употреба в държавите-членки. Европейският институт за телекомуникационни стандарти (ETSI) определя технически стандарти за тези устройства, за да осигури оперативна съвместимост и ефективно използване на спектъра [37].

Производителите и потребителите на устройства с малък обхват трябва да спазват тези разпоредби и стандарти, за да осигурят правилно функциониране и да предотвратят смущения с други устройства, споделящи същите честотни ленти.

Точка 1.15. от дисертационният труд завършва с общи изводи и препоръки:

- с Решение 2006/771/ЕО, изменено с Решение 2013/752/ЕС са определени хармонизираните условия за използване на радиочестотния спектър от радиосъоръжения с малък обсег на действие. Разпоредбите на Решение 2006/771/ЕО са напълно въведени в българското законодателство.
- Осигуряването на условия за хармонизирано използване на радиочестотния спектър от устройства с малък обсег на действие е в съответствие с европейските решения и националните особености при ползването на радиочестотния спектър.

В точка 1.16. от глава I се прави аналитичен преглед на радиочестотни обхвати, предназначени за оборудване за подготовка на програми и специални събития. Безжичното аудио и видео оборудване, използвано за създаване на програми и специални събития, наричано устройства за създаване на програми и специални събития (PMSE), работи в рамките на специфични честотни ленти, определени за тяхното използване в Европейския съюз. Тези устройства включват безжични микрофони, интерком системи, монитори за поставяне в ушите и друго оборудване за аудио/видео предаване. Ключовите честотни ленти, определени за PMSE в ЕС, включват:

- UHF честота (470-694 MHz) - тази лента традиционно се използва за целите на PMSE. Въпреки това, част от тази честотна лента, по-специално честотната лента 700 MHz (694-790 MHz) [49], е преназначена за мобилни широколентови услуги и потребителите на PMSE трябваше да освободят този спектър в много европейски страни до определени срокове (напр. разрешение за 700 MHz процес). В резултат на това потребителите на безжично аудио и видео оборудване в тази лента са се сблъскали с промени и премествания, за да се съобразят с регулаторните корекции.
- 2.4 GHz и 5 GHz ленти - някои PMSE оборудване, особено системи за безжично видео предаване, също работят в 2.4 GHz и 5 GHz ленти, въпреки че тези ленти се споделят с други технологии като Wi-Fi и Bluetooth [26].

За да осигурят работа без смущения в съответствие с разпоредбите, потребителите на PMSE трябва да се придържат към плановете за разпределение на честотите, определени от държавните и регулаторни органи в съответните държави-членки на ЕС. Тези плановете може да варират в различните страни и националните органи управляват разпределението на спектъра и координацията за използване на PMSE на техните територии.

Точка 1.16. от докторската работа завършва с общи изводи и препоръки:

- Повишеното търсене на спектър за PMSE в европейски мащаб води до разглеждането на възможността за определяне на допълнителен честотен спектър, който да бъде технически подходящ и достатъчен за такъв вид оборудване. Насоките към

стандартизационните организации и производителите са за по-ефикасно използване на спектъра и по-ефективни технологии.

➤ Европейската комисия е приела Решение за използването на радиочестотни ленти 1900-1920 MHz и 2010-2025 MHz, като в него радиочестотна лента 2010-2025 MHz е определена за безжични камери, портативни и мобилни видео връзки (video PMSE).

➤ На национално ниво са осигурени условия за хармонизирано използване на радиочестотния спектър от оборудване за подготовка на програми и специални събития с цел улесняване на ползване на такова оборудване.

Точка 1.17. от глава I обхваща радиочестотните обхвати, предназначени за комуникация „Машина-Машина” (Machine to Machine-M2M), която включва устройства или сензори, които комуникират помежду си безжично, което дава възможност за обмен на данни и автоматизирани действия без пряка човешка намеса. Приложенията M2M обхващат различни сектори, включително индустриална автоматизация, транспорт, здравеопазване и др. В Европейския съюз комуникацията M2M обикновено работи в няколко честотни ленти:

➤ Устройства с малък обseg на действие (SRD) - използват освободени от лиценз ленти като 2.4 GHz и 868 MHz в ЕС [27].

➤ Клетъчни ленти (напр. GSM, LTE, NB-IoT) - използват лицензирани клетъчни ленти в диапазоните 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz и 2600 MHz.

➤ 2G (GSM/GPRS/EDGE) - честоти в обхватите 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz и 1900 MHz.

➤ 3G (UMTS/HSPA) - използва честотните ленти 800 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1700 MHz, 1900 MHz и 2100 MHz.

➤ 4G LTE - използва различни честотни ленти, включително 700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz, 2500 MHz и 2600 MHz, наред с други.

➤ 5G - разполага с честоти в диапазона под 6 GHz (напр. 600 MHz, 700 MHz, 800 MHz, 2.5 GHz) и mmWave спектър (напр. 24 GHz, 28 GHz, 39 GHz) [89].

➤ IoT-специфични ленти (напр. LoRa, Sigfox) – използва се честотна лента 868 MHz.

➤ Bluetooth - работи в обхвата 2.4 GHz.

➤ Zigbee - използва честоти в обхватите 2.4 GHz и 900 MHz.

Изборът на честотни параметри за M2M комуникация зависи от фактори като покритие, консумация на енергия, скорости на данни, регулаторни ограничения и съществуваща инфраструктура. Различни технологии и приложения могат да използват специфични честотни ленти въз основа на тези съображения, за да позволят ефективна и надеждна комуникация машина-машина. Регулаторните органи и организациите за стандартизация в ЕС, като Европейския институт за телекомуникационни стандарти (ETSI) и националните регулаторни органи, наблюдават разпределението на спектъра и стандартизацията за M2M комуникация, за да осигурят оперативна съвместимост и ефективно използване на честотите.

Точка 1.17. от докторската работа завършва с общи изводи и препоръки:

➤ Нуждите от радиочестотен спектър за подобни устройства ще нарастват непредвидимо, което следва внимателно да се следи развитието на технологиите и съпътстващите ги европейски решения, с оглед осигуряването на достатъчно радиочестотен спектър за тяхното развитие.

➤ Конвергенцията на интелигентни технологии като интелигентни мрежи, интелигентни измервателни уреди, интелигентни транспортни системи, Интернет на нещата (IoT) и комуникации от машина към машина (M2M) драматично оформя търсенето на радиочестотен спектър с малък обseg. Тези подобрения разчитат на безжична свързаност и обмен на данни, което прави наличността на спектъра от решаващо значение за тяхната работа.

Точка 1.18. от глава I анализира използването на несдвоените ленти от радиочестотен обхват 2 GHz. Решенията на Европейската комисия относно използването на радиочестотни ленти 1900-1920 MHz и 2010-2025 MHz имат за цел да хармонизират техническите условия за използване на тези несдвоени честотни ленти [82]. Основните аспекти, които обикновено се разглеждат при такива решения са:

- Техническа хармонизация.
- Лицензиране и разпределение на радиочестотен спектър.
- Насърчаване на безжични услуги.
- Управление на смущенията.
- Съответствие с международните стандарти.

Тези решения на Европейската комисия са от съществено значение за улесняване на ефективното и координирано използване на специфични честотни ленти, насърчаване на технологичните иновации и възможности за внедряването на различни безжични услуги в целия ЕС, като същевременно се гарантира съответствие с регулаторните и технически стандарти.

Техническите условия 2 GHz обхват са под формата на радиочестотни разпределения и маски за границите на блоковете (ВЕМ). ВЕМ представлява маска на излъчването, която се определя като функция на радиочестотата спрямо границата на блок от радиочестотния спектър, за който на конкретен оператор са предоставени права за ползване. Маската се състои от компоненти, които са в рамките и извън рамките на блока и съответно определят разрешените нива на излъчване на радиочестоти в лицензирания блок от радиочестотния спектър и извън него.

Точка 1.18. от докторската работа завършва с общи изводи и препоръки относно несдвоените ленти в спектъра от 2 GHz:

- Мобилни широколентови услуги - разпределяне на тези несдвоени ленти за мобилни широколентови услуги, особено за технологии като LTE или бъдещи нововъведения като 5G NR (Ново радио). Несдвоеният спектър може да се използва за предаване на връзка нагоре или надолу, осигурявайки високоскоростна свързаност на потребителите.

- Интернет на нещата (IoT) и комуникации M2M - тези несдвоени ленти могат да бъдат подходящи за IoT и M2M приложения, поради способността им да поддържат нискоенергийно широкообхватно покритие за свързване на устройства и сензори. Теснолентовите технологии, оптимизирани за IoT, като NB-IoT или LTE-M, могат да се възползват от този спектър.

- Безжичен бекхаул и фиксиран безжичен достъп (FWA) - несдвоени ленти могат да се използват за безжични бекхаул решения за свързване на мрежова инфраструктура, подобряване на свързаността в отдалечени райони или осигуряване на фиксиран безжичен достъп за домове и фирми.

- Услуги за обществена безопасност и спешни случаи - разпределяне на част от тези ленти за комуникации за обществена безопасност, предоставяне на специален спектър за спешни услуги, осигуряване на надеждна и устойчива комуникация по време на критични ситуации.

- Регулаторна рамка - създаване на ясни и хармонизирани регулаторни рамки в държавите-членки на ЕС за използването на тези несвързани ленти. Стандартизирането на техническите условия и процедурите за лицензиране насърчава последователността и насърчава инвестициите в услуги, използващи тези честоти.

В точка 1.19. от глава I се прави аналитичен преглед на **радиочестотен обхват 26 GHz**. Радиочестотната лента 24.25-27.5 GHz от обхват 26 GHz е една от ключовите честотни ленти, определени за внедряването на 5G технология в Европейския съюз, като за нея се отбелязва:

- Разгръщане на 5G - честотната лента от 26 GHz е част от спектъра на милиметровите вълни, който предлага значително по-високи скорости на пренос на данни и капацитет в сравнение с по-ниските честотни ленти.
- Регулаторна рамка - ЕС и държавите-членки работят върху регулаторни мерки и политики, за да позволят използването на честотната лента от 26 GHz за 5G. Това включва разпределяне на спектъра, лицензиране и определяне на технически условия за улесняване на разгръщането на 5G мрежи в този честотен диапазон.
- Разгръщане на малки клетки - поради характеристиките на спектъра на милиметровите вълни, включително по-къс обхват и по-голяма чувствителност към препятствия, внедряването на 5G в честотната лента от 26 GHz често включва използване на малки клетки или уплътнени мрежи, за да се осигури адекватно покритие и капацитет.

Честотната лента от 26 GHz е фокусна точка за развитието на 5G в ЕС, в съответствие с усилията за подкрепа на технологичния напредък и насърчаване на иновациите в безжичните комуникационни мрежи. Регулаторните усилия продължават да гарантират ефикасното му и ефективно използване за внедряване на 5G.

ОБЩИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ КЪМ ГЛАВА I

Разработването на глава първа, обстоятелствено определя нуждата от осигуряване на условия за хармонизирано използване на радиочестотния спектър, което да е в съответствие с европейските решения и националните особености при ползването на радиочестотния спектър.

Условията следва да бъдат насочени към стимулиране развитието на вътрешния пазар и хармонизираното използване на радиочестотния спектър в рамките на Съюза.

За да се определи необходимостта от условия, насърчаващи хармонизирано използване на радиочестотния спектър в съответствие с европейските решения и националните особености, трябва да се вземат предвид няколко ключови съображения:

- Развитие на пазара и иновации - оценка на текущия пазар и технологичния напредък, за да се определи търсенето на спектър в различни сектори. Идентифициране на нововъзникващи технологии и услуги, които разчитат на наличността на спектъра, като 5G, IoT, M2M комуникации и безжичен широколентов достъп, за да се стимулират иновациите и растежа на пазара.

- Привеждане в съответствие с европейските решения - гарантиране, че националните политики и условия за радиочестотния спектър са в съответствие с решенията и директивите, определени от Европейската комисия за хармонизиране на използването на радиочестотния спектър в целия ЕС. Спазването на тези решения насърчава оперативната съвместимост, трансграничните комуникационни услуги и сплотения вътрешен пазар.

- Национални специфики - разпознаване на уникалните нужди и особености на отделните държави-членки на ЕС при използването на радиочестотния спектър. Следва да се вземе под внимание фактори, като гъстота на населението, географски характеристики, съществуваща инфраструктура и специфични индустриални изисквания, когато се формулира разпределението на спектъра и условията за използване.

- Насърчаване на вътрешния пазар - разработване на политики и условия за радиочестотния спектър, които насърчават развитието на единен вътрешен пазар за комуникационни услуги. Улесняване на лоялната конкуренция, насърчаване на инвестициите и премахване на бариерите пред трансграничните услуги чрез хармонизиране на техническите условия и процедурите за лицензиране.

- Ефективно управление на спектъра - прилагане на мерки за осигуряване на ефективно и оптимизирано използване на спектъра, като се избягва ненужната фрагментация или неефективност. Механизмите за споделяне на спектъра, гъвкавите рамки за лицензиране и стратегиите за пренастройване на спектъра могат да подобрят използването, като същевременно предоставят разнообразни услуги.

➤ Намаляване и координация на смущенията - разработване на механизми за управление на смущенията и координация между съседните държави, за да се предотвратят проблеми с трансграничните смущения. Създаване на механизми за координация, които насърчават споразуменията за споделяне на спектъра и улесняват сътрудничеството между националните регулаторни органи.

➤ Сътрудничество със заинтересовани страни - поемане на ангажименти от заинтересованите страни, включително играчи от индустрията, регулаторни органи, доставчици на технологии и потребителски групи, в процеса на създаване на политики. Насърчаване на сътрудничеството и диалога за справяне с различни нужди и осигуряване на широка подкрепа за хармонизирани условия на радиочестотния спектър.

В края на глава I са представени приносни елементи към тази глава от докторската работа.

ПРИНОСНИ ЕЛЕМЕНТИ КЪМ ГЛАВА ПЪРВА

➤ Задълбочено изследване и анализ относно намирането на механизъм за функциониране, препоръки за запазване на възможността за търгуване и лизинг на права за използване на радиочестотния спектър в определени честотни ленти.

➤ Анализ на радиочестотния спектър в съответствие с установените европейски практики.

➤ Детайлно изследване на радиочестотния спектър за наземни мрежи [14], включващи стационарни мрежи, кабелни мрежи, безжични наземни мрежи и др.

➤ Анализ и изследване на ключови честоти и честотни обхвати, използвани за различни безжични комуникационни услуги и технологии.

➤ Математически анализ на честотни ленти, които се управляват и регулират от националните органи и Европейската комисия, за да се осигури ефективно и координирано използване в европейските страни, позволявайки безпроблемни комуникационни услуги и технологичен напредък в региона.

➤ Инвентаризация и математически анализ на радиочестотни обхвати 800 MHz (радиочестотна лента 790-862 MHz), 900 MHz (радиочестотни ленти 880-915 MHz и 925-960 MHz), 1800 MHz (радиочестотни ленти 1710-1785 и 1805-1880 MHz), 2 GHz (радиочестотни ленти 1920-1980 и 2110-2170 MHz) [35], 2.6 GHz (радиочестотна лента 2500-2690 MHz) и 3.6 GHz (радиочестотна лента 3400-3800 MHz), използвани от наземни мрежи [14].

➤ Систематизиране на честотни обхвати и честотни ленти, които са от изключително значение за всяка група.

- честотна лента 790-862 MHz (700 MHz обхват).
- Честотни ленти 880-915 MHz и 925-960 MHz.
- Честотни ленти 1710-1885 MHz и 1920-1980 MHz.
- Честотна лента 2110-2170 MHz
- Честотна лента 2.5-2.69 GHz
- Честотен спектър 3.4-3.8 GHz.

➤ Систематизиране и изследване относно осигуряването на лоялна конкуренция, предотвратяване на натрупване на спектър и поддържане на съответствие с регулаторните стандарти и европейски насоки.

➤ Анализ на прилагането на механизми за търговия и отдаване под наем на правата за ползване на радиочестотния спектър. Този подход може да насърчи ефективното използване на спектъра и да насърчи инвестициите в комуникационни технологии от следващо поколение в рамките на европейския пазар.

➤ Изследване и анализ на добрите европейски практики на честотните обхвати, разгледани в Глава първа, с оглед запазване на възможността за търговия и отдаване под наем на правата за ползване на радиочестотния спектър в следните честотни

ленти: 790-862 MHz, 880-915 MHz, 925-960 MHz, 1710-1785 MHz, 1805-1880 MHz, 1920-1980 MHz [34], 2110-2170 MHz, 2.5-2.69 GHz и 3.4-3.8 GHz.

ГЛАВА II

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕТОДИТЕ ЗА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ, ПЛАНИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА РАДИОЧЕСТОТНИЯ СПЕКТЪР

Глава втора от докторската работа започва с точка 2.1. Изследване и анализ на планирането, разпределението и управлението на радиочестотния спектър. При подробен преглед и анализ относно планирането и разпределение на радиочестотния спектър в световен и европейски мащаб, се отчита необходимостта от управление на радиочестотния спектър [6], което е съгласно разпоредбите на Радиорегламента на Международния съюз по далекосъобщения, решенията и препоръките на Европейската комисия и Комитета за електронни съобщения към Европейската конференция по пощи и далекосъобщения [5]. Анализът при управлението на радиочестотния спектър е съобразен и с българското законодателство, при което се спазват принципите на законоустановеност, предвидимост, прозрачност, публичност, консултативност, равнопоставеност, пропорционалност, неутралност по отношение на използваните технологии и/или предоставяните услуги и свеждане на регулаторната намеса до минимално необходимата. Основните принципи на управление и разпределение на радиочестотния спектър включват комбинация от технически, регулаторни и организационни съображения.

В тази точка от глава II се формулират някои ключови аспекти:

- Координиране на радиочестоти - Създават се механизми за координация за управление на смущенията, особено в споделени честотни ленти [9]. Това е от важно значение за осигуряване на надеждна работа без смущения на различни безжични услуги.
- Динамичен достъп до спектъра - Някои регулаторни рамки изследват динамичния достъп до спектъра, позволявайки по-гъвкаво и адаптивно използване на ресурсите от спектъра въз основа на търсене и наличност в реално време.
- Наблюдение и прилагане на радиочестотния спектър - Системи за наблюдение на спектъра - редовното наблюдение на използването на спектъра помага за идентифициране на неоторизирано използване или смущения. Усъвършенстваните системи за мониторинг на спектъра позволяват на регулаторните органи да откриват и адресират проблемите своевременно.
- Механизми за прилагане - Регулаторните органи създават механизми за прилагане за справяне с нарушенията на разпоредбите за радиочестотния спектър. Санкции, отнемане на лиценз и други мерки могат да бъдат приложени, за да се гарантира съответствие.
- Ефективно използване на спектъра - За да се отговори на нарастващото търсене на безжични услуги, има фокус върху подобряването на ефективността на спектъра. Това включва разработването и приемането на нови технологии, като когнитивно радио и софтуерно дефинирано радио, за по-ефективно използване на наличния спектър.
- Споделяне на спектър - Иновациите в техниките за споделяне на спектъра, като динамично споделяне на спектъра и бази данни за споделяне на спектър, имат за цел да дадат възможност на множество потребители да оперират съвместно в една и съща честотна лента, като същевременно минимизират смущенията.
- Напредък в технологиите - управлението на радиочестотния спектър трябва да се развива заедно с технологичния напредък. Например разгръщането на 5G мрежи и бъдещото развитие на 6G ще изискват корекции на стратегиите за разпределение и управление на спектъра.
- Стандартизация - международните организации по стандартизация играят ключова роля в разработването на стандарти, които улесняват оперативната съвместимост и ефективното използване на спектъра в различни технологии и услуги.

В точка 2.2. от глава II се обследват обстоятелства за управление на радиочестотния спектър. Управлението на радиочестотния спектър се влияе от различни обстоятелства, включително технологичен напредък, промени в търсенето на безжични услуги, международна координация и развиващи се регулаторни политики [5].

Представени са някои съществени обстоятелства, които оказват влияние върху управлението на радиочестотния спектър.

➤ **Технологичен напредък:**

Въвеждане на нови технологии - разработването и внедряването на нови безжични технологии, като 5G и други, често изискват корекции на разпределението на спектъра и стратегиите за управление, за да се приспособят към повишени скорости на данни, по-ниско забавяне и други технологични постижения.

➤ **Нарастващо търсене на безжични услуги:**

Нарастващи нужди от свързаност - с разпространението на мобилни устройства, устройства за интернет на нещата (IoT) и други безжични технологии, има постоянно нарастване на търсенето на спектър за поддръжка на тези услуги. Регулаторните органи е необходимо да управляват спектъра и да разпределят честоти в тези условия, за да отговорят на нарастващите нужди на потребителите и индустрията.

➤ **Инициативи за споделяне на радиочестотен спектър:**

Усилия за оптимизиране на използването на спектъра - инициативите за споделяне на спектър, включително лицензиран споделян достъп (LSA) и динамичен достъп до спектъра (DSA), имат за цел да оптимизират използването на спектъра, като дават възможност на множество потребители да споделят едни и същи честотни ленти. Това е особено важно в сценарии, при които определени честотни ленти се използват недостатъчно в определени моменти или места.

➤ **Глобална хармонизация:**

Международна координация - поради глобалния характер на радиочестотния спектър, международната координация е от важно значение за избягване на смущения и осигуряване на ефективно използване. Усилията за хармонизиране включват уеднаквяване на разпределенията на спектъра и правилата за използване в различни страни и региони, често улеснявани от организации като Международния съюз по далекосъобщения (ITU).

➤ **Политика и регулаторни промени:**

Адаптиране на регулаторните рамки - промените в регулаторните политики, като приемане на технологично неутрално лицензиране, насърчаване на споделянето на спектъра или преразглеждане на механизмите за търгове, оказват влияние върху начина, по който се управлява спектърът [48]. Регулаторните органи могат да актуализират своите рамки, за да насърчат иновациите и да се справят с възникващите предизвикателства.

➤ **Търгове за спектър:**

Преотстъпване на права за спектър - търговете за спектър предоставят метод за възлагане на изключителни права за използване на специфични честотни ленти. Промените в тръжните методологии, като например използването на стимулиращи търгове или нови механизми за наддаване, могат да повлияят на разпределението на правата върху спектъра между различни субекти [48].

➤ **Извънредни ситуации и нужди за обществена безопасност:**

Разпределение на услуги за обществена безопасност - спектърът често се разпределя за услуги за обществена безопасност и спешни комуникационни услуги. Обстоятелства като природни бедствия или извънредни ситуации в областта на общественото здраве могат да доведат до преоценка на разпределенията на спектъра, за да се поддържат критични комуникационни нужди.

➤ **Когнитивни и софтуерно дефинирани радиотехнологии:**

Приемане на когнитивно радио - когнитивните радио технологии позволяват динамичен достъп до спектъра, като дават възможност на устройствата интелигентно да

адаптират използването на спектъра въз основа на условията в реално време. Възприемането на такива технологии може да повлияе на подходите за управление на спектъра.

➤ **Инициативи за ефективност на спектъра:**

Усилия за подобряване на ефективността - постоянните усилия за подобряване на ефективността на спектъра чрез усъвършенстване в модулационните техники, антенните технологии и стратегиите за редуциране на смущенията влияят върху решенията за управление на спектъра.

➤ **Екологични и научни съображения:**

Защита на радиоастрономията и сателитните услуги за изследване на Земята - определени честотни ленти са запазени за научни цели, като например радиоастрономия и сателитни услуги за изследване на Земята [98]. Управлението на спектъра трябва да обмисли защитата на тези услуги от вредни смущения.

Ефективното управление на спектъра изисква баланс между осигуряването на достатъчен спектър за нововъзникващи технологии и защитата на съществуващите услуги от смущения. Ефективното и иновативно използване на радиочестотния спектър се постига чрез подобрене на мрежовите технологии като еволюция от HSPA към HSPA+, LTE, 4G, 5G, както и новите изследвания в 6G и когнитивни техники. Други технологични фактори, които оказват влияние при определянето на обстоятелствата за управление на радиочестотния спектър са тези, които биха могли да намалят търсенето на спектрален капацитет. Това са примерни решения за намаляване на трафика в мобилните мрежи, пренасочвайки го към WiFi мрежите, определени там където това е възможно, чрез така наречените фемто или пико клетки [203]. От друга страна нарастването на комуникациите машина-машина (M2M), включително приложенията за радиочестотна идентификация (RFID), появата на все повече радиосъоръжения с малък обсег на действие ще доведат до продължаване на търсенето на радиочестотен ресурс за този вид приложения [37].

В точка 2.3. от глава II се изследват и анализират методи за управление на радиочестотния спектър, което включва различни подходи за ефективно разпределяне, присвояване и регулиране на използването на радиочестотния спектър [6]. Методите и стратегиите за управление на радиочестотния спектър, които са заложили в дисертационния труд се разпределят, както следва:

- Разпределение на радиочестоти
- Международна координация
- Национални планове за разпределение на радиочестотния спектър.
- Модели на лицензиране.
- Лицензни условия.
- Споделяне на спектъра:
 - Лицензиран споделен достъп (LSA).
 - Динамичен достъп до спектъра (DSA).
- Когнитивни радиомрежи.
- Мониторинг на спектъра.
- Технологична неутралност.
- Иновации в спектралните технологии.
- Стандарти за ефективност на спектъра.
- Бази данни за геолокация.
- Пазарни подходи [6]:
 - Търгове за спектър.
 - Вторични пазари.
- Регулаторна рамка [6].
- Изследвания и развитие.

Ефективното управление на спектъра изисква комбинация от тези методи и регулаторните органи често адаптират своя подход въз основа на специфичните нужди на тяхната страна, зрелостта на техния телекомуникационен пазар и технологичния напредък [5]. Редовната преоценка и адаптиране на методите за управление на спектъра са от съществено значение, за изграждането на безжичните комуникации.

В т.2.3. е представен изследователски подход и процедура на изследването, обособяващи следните основни насоки:

➤ Европейската политика относно радиочестотния спектър [48] е насочена основно към неговото хармонизирано използване, прилагане на метода на технологична неутралност по отношение на мрежите и услугите и свеждане на регулаторната намеса до минимално необходимото.

➤ Правото за ползването на радиочестоти и радиочестотни ленти е неутрално по отношение на вида на предоставяните услуги или използваните технологии, доколкото това е възможно.

➤ Методите относно ограничения на правата за ползване на радиочестоти и радиочестотни ленти по отношение на използваните технологии се допускат само в случаите, когато това е необходимо за:

- Осигуряване на защита на общественото здраве от въздействието на електромагнитните полета;

- Осигуряване на защита на ефикасното използване на радиочестотния спектър;

- Свеждане до минимум на вредни смущения;

- Осигуряване на гаранции за техническото качество на услугата;

- Осигуряване на гаранции за съвместно използване на радиочестоти;

- Осигуряване на гаранции за изпълнението на цели от общ интерес при спазване принципа на неутралност по отношение на услугите.

При анализиране на методите относно ограниченията на правата за ползване на радиочестоти и радиочестотни ленти при предоставяните услуги се допускат само цели от общ интерес, преди всичко отнасящи се до:

- Осигуряване на безопасността на живота;

- Насърчаване на социално, регионално или териториално сближаване;

- Свеждане до минимум на неефикасното използване на радиочестоти.

Относно забраната за предоставяне на други телекомуникационни услуги в специфична радиочестотна лента, може да бъде наложена само при необходимост от защита на работата на радиослужбите, свързани с безопасността на живота.

Процедура на изследването:

Осъществяването на електронни съобщения може да се извършва чрез ползване на радиочестотен спектър, който не е необходимо да бъде индивидуално определен или чрез ползване на индивидуално определен ограничен ресурс - радиочестотен спектър. Относно електронните съобщения и използването на радиочестотен спектър, важно е да се спазват регулациите и правилата, които управляват тези комуникации. Например, определени честоти в радиочестотния спектър се отделят за определени видове комуникации, като мобилни мрежи, безжичен интернет, радио и телевизия. Изследванията и разработката на технологии за електронни съобщения, използващи радиочестотен спектър, често включват използването на различни методи за комуникация, които могат да бъдат адаптивни спрямо наличните радиочестотни ресурси. Например, технологии като когнитивните радио системи могат интелигентно да използват свободни или малко използвани честоти за комуникация, където е възможно, без да причиняват интерференции на други устройства или услуги.

В точка 2.4. от глава II се изследва метод за ползване на спектър, който не е индивидуално определен. Този метод, често се нарича споделяне на спектър или нелицензирано използване на спектъра. За разлика от традиционните методи, при които специфични честотни ленти се присвояват индивидуално на определени притежатели на лицензи, нелицензираният спектър позволява на множество потребители да имат достъп до едни и същи честотни ленти без изключителни лицензи.

Представени са някои общи методи за използване на спектъра без индивидуални присвоявания за:

- Нелицензирани групи - Wi-Fi, Bluetooth технология, Zigbee, Z-Wave, RFID.
- Динамичен достъп до спектъра (DSA).
- Когнитивни радио мрежи.
- Бели полета.
- Бази данни за геолокация.
- Модели с отворен спектър.
- Безжични (Mesh) мрежи.

Тези методи за нелицензиран или споделян достъп до спектъра насърчават неговото по-ефективно използване, като позволяват на множество потребители да оперират съвместно в едни и същи честотни ленти. Те са особено ценни за поддръжка на приложения и услуги, които не изискват изключителен достъп до ресурси на спектъра, където гъвкавостта и евтиното внедряване са от съществено значение.

В т.2.4. е представен изследователски подход и процедура на изследването.

Изследователски подход:

➤ Органът по регулация е необходимо да осигури методология за използването на радиочестотния спектър при по-облекчени условия. Този подход следва да бъде улеснен в сравнение с тези, налагани при издаване на разрешения за ползване на индивидуално определен ограничен ресурс - радиочестотен спектър. В този случай не се издава индивидуален административен акт и радиочестотният спектър не е необходимо да бъде индивидуално определен, т.е. той се ползва от неограничен кръг лица и условията и редът за неговото ползване са еднакви за всички ползватели.

➤ При ползването на радиочестотен спектър, който не е необходимо да бъде индивидуално определен не трябва да се причиняват вредни смущения на други ползватели на същата радиочестотна лента или радиосъоръжения от други радиослужби и не се претендира за защита от вредни смущения, произхождащи от други ползватели на същата радиочестотна лента или радиосъоръжения от други радиослужби, при условие че не се нарушават изискванията за несъздаване на смущения при ползване на радиочестотния спектър.

Процедура на изследването:

Методите за използването на радиочестотен спектър, който не е необходимо да бъде индивидуално определен, следва да бъдат:

- Метод при радиочестотна лента, осигуряващ максимална излъчена мощност;
- Максимална напрегнатост на полето;
- Максимална плътност на мощността;
- Допълнителни параметри и други ограничения.

Изследователските данни показват, че електронните съобщения за собствени нужди чрез радиосъоръжения, които ползват радиочестотен спектър, който не е необходимо да бъде индивидуално определен, се осъществяват свободно [7]. Но сценарият по отношение на обществените електронни съобщения чрез радиосъоръжения, които ползват радиочестотен спектър, който не е необходимо да бъде индивидуално

определен, е различен, като същите се осъществяват след подаване на уведомление до Националния регулаторен орган.

Подходът при определеният за любителска радиослужба [12] радиочестотен спектър също не се счита за индивидуално определен ресурс. Той може да се ползва само от лице, което притежава разрешително за правоспособност на радиолобител или хармонизирано радиолобителско свидетелство (HAREC). При този подход се определят условия за извършване на тази дейност, както и изискванията по отношение на лицата. Изискванията са регламентирани в Техническите изисквания за осъществяване на електронни съобщения чрез радиосъоръжения от любителската радиослужба.

Радиочестотният спектър, който не е необходимо да бъде индивидуално определен заема голяма част от общия спектър. Комбинацията от категории хармонизирани устройства и техническите условия за ползването им създават благоприятна среда за споделяне на спектъра по начин, който позволява устройствата да използват съвместно радиочестотния спектър при неизключителен достъп, независимо от целта на това използване, като се прилагат принципите за неутралност на технологиите и услугите. Това се постига главно чрез налагане на методи, свързани с максимално разрешената мощност, използването на „интелигентни” технологии и различни техники за ограничаване на радиосмущенията.

Националният регулаторен орган определя радиочестотния спектър, който не е необходимо да бъде индивидуално определен, както и условията и редът за неговото ползване в съответствие с Националния план за разпределение на радиочестотния спектър, Решенията и Препоръките на Европейската комисия и Комитета по електронни комуникации [18] към Европейската конференция по пощи и далекосъобщения.

В точка 2.5. от глава II се изследва метод при индивидуално определен ограничен ресурс. При този метод се ползва индивидуално определен радиочестотен спектър, когато е необходимо да бъдат избегнати вредни радиосмущения. При този метод се издават разрешения. Методът, който включва индивидуално определен достъп до ограничен ресурс като радиочестотния спектър, е известен като динамичен достъп до спектъра (DSA). Методът - DSA позволява на потребителите или устройствата динамично и адаптивно да имат достъп до спектъра на индивидуална основа въз основа на търсенето и наличността в реално време. Основните аспекти на динамичния достъп до спектъра са:

- Когнитивна радиотехнология.
- Достъп до спектър, управляван от база данни.
- Модели за споделяне на спектъра.
- Техники за намаляване на смущенията.
- Регулаторна рамка.

Динамичният достъп до спектъра - DSA и подобни подходи имат за цел да оптимизират използването на спектъра, като позволяват по-ефективно използване на наличните честоти. Тези методи са особено уместни в сценарии, при които търсенето на спектър варира във времето и на местоположения, което позволява по-динамично и адаптивно разпределение на този ограничен и ценен ресурс.

В т.2.5. е представен изследователски подход и процедура на изследването.

Изследователски подход:

С този метод следва да се гарантира техническото качество на услугата, да се защити ефективното използване на радиочестотния спектър или да се постигнат други цели от общ интерес, определени в съответствие с европейското право. Електронни съобщения се осъществяват след издаване на разрешение в случаите, когато е необходим индивидуално определен ограничен ресурс.

Процедура на изследването:

Методите, които определят условията за използване на индивидуално определен ограничен ресурс - радиочестотен спектър, процедурно се определят с технически спецификации за работа на електронните съобщителни мрежи от съответните радиослужби. Техническите спецификации, които определят условията за използване на индивидуално определен ограничен ресурс от радиочестотния спектър, често се определят и управляват от съответните радиослужби или регулаторни органи. Тези спецификации са изградени върху набор от правила, които регулират как устройствата и мрежите могат да използват определените радиочестотни ресурси. Спецификациите играят важна роля за регулиране и управление на радиочестотния спектър, за да се осигури, че различните устройства и услуги могат да съществуват в същия спектър без смущения и интерференции помежду си.

В точка 2.6. от глава II се изследва метод на лицензиран съвместен достъп до радиочестотен спектър (Licensed Shared Access - LSA). Методът, осигуряващ съвместното използване на радиочестотния спектър чрез прилагането на концепцията за лицензиран съвместен достъп е предпоставка за осигуряване на ефективно управление и използване на радиочестотния спектър, което от своя страна допринася за задоволяване на нарастващото търсене на радиочестоти и нуждите на крайните потребители от модерни и качествени услуги [6].

В т.2.6. е представен изследователски подход и процедура на изследването.

Изследователски подход:

Метод за лицензиран съвместен достъп до радиочестотния спектър включва разрешаване на множество субекти или лицензополучатели да споделят достъп до определена честотна лента съгласно координирана и регулирана рамка. Този подход дава възможност за сътрудничество и ефективно използване на спектъра, като същевременно гарантира, че нуждите и правата на всеки лицензополучател се зачитат. Някои от ключовите насоки на методите за лицензиран съвместен достъп са:

- Лицензиран споделен достъп (LSA).
- Координация на честоти.
- Намаляване на смущенията.
- Динамично споделяне на спектъра (DSA).
- Подходи, управлявани от бази данни.
- Лицензи за приоритетен достъп (PAL).
- Стандарти за оперативна съвместимост.
- Регулаторна рамка [6].

Лицензираните методи за съвместен достъп предоставят начин за максимално използване на спектъра, като позволяват на множество субекти да споделят достъп до едни и същи честотни ленти, насърчавайки сътрудничеството и ефективното използване на този ограничен ресурс.

Регулаторната рамка играе решаваща роля при определянето на правилата и условията за такива договорености за съвместен достъп.

В точка 2.7. от глава II се изследва метод за определяне правото за ползване на радиочестотен спектър. Определянето на правото за ползване на радиочестотен спектър обикновено включва регулаторен процес, контролиран от държавни органи. Регулаторните органи [6] установяват правила, разпределят спектъра и издават лицензи на субекти въз основа на определени критерии.

Представен е аналитичен преглед на типичния метод за определяне на правото за ползване на радиочестотен спектър в следните аспекти:

- Разпределение на спектъра.
- Международна координация.

- Процес на лицензиране [6].
- Приложение и търгове.
- Критерии за лицензиране.
- Инструменти за управление на спектъра [6].
- Подходи, управлявани от бази данни.
- Лицензионни условия и съответствие.
- Мониторинг на съответствието.
- Подновяване и преглед.
- Преглед на политиката за спектъра.

Методът за определяне на правото за използване на радиочестотен спектър е предназначен да балансира ефективното използване на ограничен ресурс с необходимостта от управление на смущенията и осигуряване на справедлив достъп за различни услуги и потребители.

Глава II от докторската работа завършва с общи изводи и заключения и представяне на приносни елементи към тази глава.

ОБЩИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ КЪМ ГЛАВА II

С изследването на методите, подхода и процедурата се дава пълна и ясна картина за реални постановки и норми при ефективното и ефикасно ползване на радиочестотния спектър. Предлагат се коректни начини за контрол и наблюдение.

Ефективното и без радиосмущения използване на радиочестотния спектър следва да се осигурява чрез контрол на действителното използване на радиочестотите и радиочестотните ленти.

Необходимо е непрекъснато повишаване на ефективността на контролната дейност като регулаторен механизъм за осигуряване на прозрачност на осъществяването на електронни съобщения. Следва да има изпълнение на задълженията на операторите, в подкрепа на интересите на крайните потребители.

Контролът е необходимо да бъде насочен към спазване на изискванията за ползването на радиочестотите и радиочестотните ленти, осигуряване на нормалната работа и равнопоставеност на законните ползватели на спектъра и гарантиране на определено качество на предоставяните услуги на крайните потребители.

Важно е да бъдат създадени условия за нормална работа, без наличие на вредни смущения, на изградените радиомрежи, за да може да се гарантира постоянен мониторинг и контрол, които спомагат за своевременно локализиране и елиминиране на източници на радиосмущения и незаконните радиоизлъчващи средства.

При бурното развитие на телекомуникационните мрежи и въвеждането на нови системи и технологии, използващи радиочестотен ресурс (неподвижни, мобилни, спътникови, цифрово радио- и телевизионно разпръскване, широколентови технологии и др.), за да се постигне ефективно използване на спектъра и да бъдат защитени интересите на крайните потребители следва да се изисква съответното техническо оборудване за мониторинг и модернизация на прилаганите подходи за осъществяване на контрола.

Този контрол и мониторинг на радиочестотния спектър, за да бъде ефективен, следва да се осъществява непрекъснато от Националният регулаторен орган. На практика, за да се постигне тази задача, следва да се използва изградената Национална система за мониторинг в съответствие с изискванията на Международния съюз по далекосъобщения.

За да се осигури определено качество на предоставяните телекомуникационни услуги на крайните потребители, следва да се осигури равнопоставеност на законните ползватели на спектъра, като този подход се гарантира с периодичен контрол с помощта на стационарни и мобилни станции за радиомониторинг на територията на цялата страна.

За осигуряване на ефикасността на международно ниво, следва да се разработят съвместни методики за измерване на трансграничните замърсявания и взаимно признаване на резултатите, за да се постигнат договорености със съседните страни. В по-дългосрочен план следва да се разработи механизъм, свързан с възможностите за взаимно

дистанционно управление на станциите за мониторинг в пограничните райони при разрешаване на проблеми с радиосмущения.

Разработването на Глава втора, обстоятелствено определя следните изводи, по които е необходимо да бъде насочен процеса по оптимално използване на радиочестотния спектър:

- Мярка за гарантиране на ефективното използване на радиочестотния спектър;
- Постигане на иновативен подход при използване на радиочестотния спектър;
- Подобряване на мрежовите технологии;
- Хармонизирано използване радиочестотния спектър;
- Предотвратяване на натрупването и неефективното ползване на радиочестотен спектър;
- Ефективна национална регулация.

В глобален план все повече нараства търсенето на механизми за увеличаване на капацитета на безжичните мрежи, за да се осигури високо качество на обслужване на крайните потребители. Това е и основната предпоставка за нарастване на търсенето на свободен радиочестотен спектър за изграждане на високоскоростни безжични телекомуникационни мрежи. Европейската политика в областта на управлението на радиочестотния спектър играе все по-голяма роля при провеждането на националната политика по отношение на радиочестотния спектър.

Осигуряването на условия за хармонизирано използване на радиочестотния спектър в съответствие с политиката на Европейския съюз следва да бъде насочена към стимулиране развитието на вътрешния пазар и хармонизираното използване на радиочестотния спектър в рамките на Съюза.

Европейската комисия е приела редица решения за хармонизирано използване на радиочестотния спектър. В съответствие с националните особености, осигуряването на условия за изпълнението на тези решения, води до развитието на вътрешния пазар и хармонизираното използване на радиочестотния спектър в рамките на Съюза.

ПРИНОСНИ ЕЛЕМЕНТИ КЪМ ГЛАВА ВТОРА

- Формулирани са задачите относно изследванията и анализи на основните принципи при управлението и разпределението на радиочестотния спектър.
- Оформени са техническите, регулаторни и организационни процедури, които да осигуряват ефикасното използване и ефективно управление на радиочестотния спектър.
- Детайлно са изследвани и анализирани ефективността на настоящите практики за управление на спектъра, проучване на нови технологии и методологии за разпределяне и използване на спектъра и отчитане на въздействието на нововъзникващите технологии върху управлението на спектъра.
- Изследвани и анализирани са методите и стратегии за управление на радиочестотния спектър.
- Детайлно са изследвани и анализирани сценариите за споделен и динамичен достъп до спектъра, както и пазарните подходи.
- Изследвано е използването на спектъра за когнитивно радио, за оптимизиране на устройствата да усещат и използват ефективно свободните честотни ленти с оглед интелигентните радиосистеми, динамично да се адаптират към наличния спектър.
- Обстойно е изследвана и анализирана Европейската политика разглеждаща радиочестотния спектър.
- Анализирани са резултатите, проверката и контрола за спазването на действащите нормативни актове, наложените технически и експлоатационни изисквания и ограничения, свързани с използването на спектъра.

➤ Изследвани и анализирани са най-добрите практики за гарантиране на ефикасността на международно ниво, като се дават предпоставки за разработване на съвместни методики за измерване на трансграничните замърсявания, за да се постигнат договорености със съседните страни.

Резултатите, постигнати от изследването могат да се използват, както от различни организации, така и от студенти в учебни програми „Телекомуникации и компютърни технологии” към НБУ. Могат да бъдат използвани за реализиране на проекти в ИКТ сектора, да се участва в договорни задачи към заинтересованите държавни органи и служби, както и Европейския съюз, с което да се финансира усъвършенстването на учебните програми и курсове по „Телекомуникации и компютърни технологии” на НБУ.

ГЛАВА III

ИЗСЛЕДВАНЕ И ПЛАНИРАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКИТЕ, РЕГУЛАТОРНИ И ОРГАНИЗАЦИОННИ ПРОЦЕДУРИ ПРИ ВНЕДРЯВАНЕТО НА СЪВРЕМЕННИ БЕЗЖИЧНИ ШИРОКОЛЕНТОВИ ЕЛЕКТРОННИ СЪОБЩИТЕЛНИ УСЛУГИ.

Глава трета от докторската работа започва с точка 3.1., която е посветена на изследване на внедряването на съвременни безжични широколентови електронни съобщителни услуги. Внедряването на модерни безжични широколентови електронни комуникационни услуги е многостранен процес, който включва технически иновации, регулаторни рамки и организационна координация. Това проучване изследва възможностите и планирането, необходими за установяване на тези услуги, като се фокусира върху технологичния растеж, регулаторните изисквания и организационните стратегии. Изследването има за цел да предостави изчерпателно ръководство за внедряване на ефективни и ефикасни безжични широколентови услуги, чрез обезпечаване на достъпност, надеждност и съответствие с международните стандарти.

Точка 3.1. е обособена в няколко под точки.

В точка 3.1.1. от глава III се акцентира на нововъведения и технологичен растеж. Сферата на широколентовите електронни съобщителни услуги се развива с бързи темпове и предлага много нови технологии и услуги. В изследването са обхванати нововъведения като 5G технология, IoT интеграция, периферни изчисления, мрежово срязване и виртуализация, и други. Обръща се внимание освен на техническите аспекти и на управлението на спектъра, нормативната рамка, международните стандарти и съответствие, регулаторните и организационни процедури.

В отделна точка 3.1.1.1. от глава III се разглежда технологията 5G. Като технически указания относно внедряването на 5G се отбелязват изисквания като усъвършенствана мрежова инфраструктура, включително малки клетки, технология за масивна свързаност (MIMO - Multiple Input Multiple Output) и техники за формиране на лъч. Това детайлно изследване разглежда различните аспекти на 5G технологията в контекста на внедряването на усъвършенствани безжични широколентови електронни съобщителни услуги. Технологията на 5G мрежите предлага различни подходи на употреба, но основополагащите стълбове на тази технология могат да бъдат отбелязани като:

- Подобрена мобилна широколентова връзка (eMBB).
- Изключително надеждна комуникация с ниска латентност (URLLC).
- Масивна комуникация от машинен тип (mMTC - Massive Machine-Type Communication).
- Мрежово срязване (Network Slicing).
- Периферни изчисления.

Стратегиите за внедряване и развитие на инфраструктурата на 5G може да бъде обобщена в няколко аспекта:

- Малки клетки и плътни мрежи - Разгръщането на малки клетки е от ключово значение за постигане на високи скорости на данни и ниска латентност, обещани от 5G. Тези клетки са разположени в плътни мрежи, за да подобрят покритието и капацитета.
- Макро клетки и покритие - Макро клетките продължават да играят жизненоважна роля, осигурявайки широко покритие и служейки като бекхаул за малки клетки. Решенията за припокриване с голям капацитет, като влакнест-оптични преносни среди и микровълнови връзки са от съществено значение за пълноценното внедряване на 5G и предоставянето на широк набор от ширококоловни услуги и чувствителни комуникации в реално време.

Основните проблеми при внедряването на 5G технологията се явяват разходите за инфраструктура, като разгръщането на 5G инфраструктурата с малки по-размер клетки, наречени „фемтоклетки“, полагането на влакнесто-оптични кабелни линии и нов хардуер, води до значителни капиталови разходи [203]. Наличност на честотен спектър е проблем от първостепенна важност. Осигуряването на достатъчен спектър и честотен ресурс за 5G услуги, особено в микровълновите диапазони е критично предизвикателство. Дефинираните честотни обхвати - 24.25-27.5 GHz, 37-43.5 GHz, 45.5-47 GHz, 47.2-48.2 и 66-71 GHz за 5G мрежи ще обезпечат реализирането на мрежови телекомуникационни канали за ширококоловни и ултрабърз пренос на данни, за устойчиво свързване на огромен брой устройства и да експлоатират голям обеми данни с минимално закъснение. Така се постига повишаване на нивото на свързаността на потребителите, пълномасщабно внедряване на Интернет на нещата (IoT) и употреба на приложения в транспортни системи и “умни“ градове.

Ефективното управление на смущенията в 5G мрежите е от съществено значение за постигане на висока производителност и надеждност при внедряване на технологията. Въпреки това то е изправено пред множество трудности, включително повишена плътност на устройствата, разнообразно използване на спектъра, хетерогенна мрежова архитектура и съвместно съществуване с наследени 3G/4G мрежи. Справянето с тези проблеми изисква усъвършенствани технологии, сложни алгоритми и координирани усилия в цялата мрежова структура.

В точка 3.1.1.2. от глава III се изследва интеграцията на IoT. Ефективното внедряване на IoT изисква широкообхватни мрежи с ниска мощност (LPWAN), периферни изчисления и стабилни протоколи за сигурност [207]. Основните проблеми за решаване включват управление на огромния мащаб от IoT устройства, осигуряване на защита на данните и осигуряване на последователна свързаност в различни среди. Внедряването на IoT технологията изисква планиране и управление на честотния спектър. Прилагането на техники за динамичен достъп до спектъра може да оптимизира използването на наличните честоти, намалявайки смущенията и подобрявайки ефективността. Кооперативното споделяне на спектър между различни услуги и доставчици може да подобри използването на спектъра и да намали регулаторните пречки. Интеграцията на IoT също така поставя няколко комплексни проблема и налага сложни решения. В обстоен анализ са изследвани ключовите аспекти, свързани с интегрирането на IoT в съвременни безжични ширококоловни мрежи. Устройствата за IoT варират от прости сензори до сложни индустриални машини, всяко с уникални изисквания за свързаност, латентност и консумация на енергия. Интегрирането на тази разнообразна екосистема в една мрежа изисква гъвкава архитектура, способна да поддържа различни комуникационни протоколи, скорости на данни и профили на потребление на енергия [207].

Различните IoT устройства изискват различни мрежови възможности, като ниска латентност за критични приложения и ниска консумация на енергия за работещи с батерии сензори. Мрежата е необходимо ефективно да се мащабира, за да побере огромен брой свързани устройства без влошаване на производителността. Това може да се постигне с използване на мрежово срязване за създаване на виртуални мрежи, съобразени със специфичните нужди на различни IoT приложения, като се гарантира, че всеки срез има

необходимите ресурси и характеристики на производителност. Устройствата IoT често събират и предават чувствителни данни, което прави сигурността първостепенна грижа. Интегрирането на IoT с безжични широколентови услуги е важно да гарантира стабилни механизми за сигурност за защита на целостта на данните, поверителността и поверителността. Проблемите възникват от уязвимости към атаки, при които IoT устройствата могат да бъдат входна точка за кибератаки, които да компрометират цялата мрежа. Този тип проблеми могат да бъдат решени чрез методи като „криптиране от край до край“ чрез внедряване на силни техники за криптиране за предаване и съхранение на данни. Използването на усъвършенствани протоколи за удостоверяване и стриктни политики за контрол на достъпа, гарантира че само оторизирани устройства и потребители имат достъп до мрежата.

Друг важен проблем, като се има предвид разнообразието от производители и стандарти в IoT сферата, осигуряването на оперативна съвместимост между различни устройства и платформи е от ключово значение за безпроблемната интеграция. Липсата на универсален стандарт за IoT устройства може да доведе до проблеми със съвместимостта. Интегрирането на нови IoT устройства със съществуващи наследени системи е възможно да бъде сложно.

Като решения на горепосочените проблеми се предлагат:

- Приемане на отворени стандарти с цел насърчаване на използването им и протоколи за улесняване на оперативната съвместимост.
- Междинни платформи - Използване на междинни платформи, които могат да свързват различни IoT устройства и комуникационни протоколи, позволявайки им да работят безпроблемно заедно.

В тази точка е разгледано и качеството на услугата (QoS), което е изключително важен аспект от внедряването на технологията. Различните IoT приложения имат различни изисквания за QoS, като латентност, честотна лента и надеждност. Гарантирането, че мрежата може да отговори на тези различни изисквания за QoS, е от съществено значение за ефективната работа на IoT услугите. Приложения като автономни превозни средства и дистанционно здравеопазване изискват изключително ниска латентност и висока надеждност. Необходимо е ефективно управление на честотната лента на мрежата за предотвратяване на претоварване и осигуряване на постоянна производителност.

Предложени са решения на засегнатите проблеми:

- Динамично управление на QoS - Внедряване на динамични техники за управление на QoS, които могат да разпределят ресурси въз основа на нуждите в реално време на IoT приложенията.
- Периферни изчисления - Внедряване на периферни изчислителни ресурси за обработка на данни по-близо до източника, намаляване на забавянето и потреблението на честотна лента.

Изследван е и много отличителен и важен аспект при внедряването на IoT технологията - енергийната ефективност. Много IoT устройства работят с батерии, което изисква дълъг живот на батерията за практическа употреба. Ефективното управление на енергията е от решаващо значение за обезпечаване на дълготрайността на тези устройства.

В този аспект могат да възникнат редица проблеми за решаване като

- Ограничения на захранването - Устройствата, работещи с батерии, трябва да минимизират консумацията на енергия, за да удължат живота на батерията.
- Съхраняване на енергия - Включването на технологии за съхраняване на енергия за допълване на мощността на батерията може да бъде предизвикателство, но необходимо.

Като решения за поставените проблеми са предложени:

- Протоколи с ниска мощност - Използване на комуникационни протоколи с ниска мощност като NB-IoT (Теснолентов IoT) и LTE-M (LTE за Машини) [207].
- Режими на заспиване - Внедряване на усъвършенствани режими на заспиване и механизми за пестене на енергия в IoT устройства за намаляване на консумацията на енергия по време на периоди на неактивност.

Засегнати са проблеми свързани с огромното количество данни, генерирани от IoT устройства [208], както следва:

- Претоварване с данни - Големият обем данни може да претовари мрежовите ресурси и възможностите за съхранение.
- Обработка в реално време - Обработка и анализ на данни в реално време за поддръжка на чувствителни към времето приложения.

В този аспект е акцентирано на следните решения:

- Анализ на големи данни (Big Data) - Внедряване на платформи за анализ на големи данни, способни да обработват и анализират мащабни данни [209].
- Облачна и периферна интеграция - Експлоатация на хибриден подход, който използва както облачни изчисления за широкомащабна обработка на данни, така и периферни изчисления за анализи в реално време.

В точка 3.2. от глава III е изследвано управлението на спектъра и нормативната рамка. Подчертано е, че международните стандарти и съответствие формират гръбнака на световната търговия, като са гарант, че продуктите и услугите отговарят на постоянни нива на качество, безопасност и ефективност. Международните стандарти са жизненоважни, поради няколко причини:

- Улесняване на глобалната търговия.
- Гарантиране на качество и безопасност.
- Насърчаване на иновациите.
- Защита на околната среда.
- Потребителско доверие.

Разгледани са някои от най-важните международни организации по стандартизация като - Международна организация за стандартизация (ISO), Международна електротехническа комисия (IEC), Международен съюз по телекомуникации (ITU), Институт на инженерите по електротехника и електроника (IEEE) и Европейски комитет по стандартизация (CEN).

В т. 3.2.1. от глава III е изследвано лицензирането и разпределението на честотния спектър. В Република България разпределението и лицензирането на честотния спектър се извършва от Комисията за регулиране на съобщенията (КРС). Комисията за регулиране на съобщенията определя честотните ленти за различни видове комуникационни услуги и издава лицензи за тяхното използване. Процесът включва търгове и процедури, с цел справедливо и ефективно разпределение на радиочестотния спектър, който е ограничен ресурс, в аспекта на насърчаване на конкуренцията и иновациите в телекомуникационния сектор.

Изследвани са механизмите за лицензиране и разпределение на спектъра.

В т. 3.2.2. от глава III са засегнати публично-частните партньорства (ПЧП), като споразумения за сътрудничество между държавни органи и компании от частния сектор за съвместно предоставяне на инфраструктура, съоръжения или услуги, традиционно предоставяни единствено от публичния сектор. В ПЧП всяка страна внася уникални силни страни в партньорството - публичният сектор осигурява регулаторен надзор, съгласуване на обществените интереси и често финансиране или гаранции, докато частният сектор допринася с експертиза, иновации и оперативна ефективност. Тези партньорства обикновено се управляват от договорно споразумение, което очертава отговорностите, споделянето на риска и финансовите споразумения, за да се гарантира взаимна изгода и

отчетност. Публично-частните партньорства се използват в световен мащаб за отстраняване на пропуски в инфраструктурата, подобряване на предоставянето на услуги и ефективно управление на разходите чрез споделени ресурси и опит.

Изследвани са модели в аспекта на публично-частните партньорства като - модели на сътрудничество, концесионни договори и договори за услуги.

В т. 3.2.3. от глава III са изследвани организационните стратегии и развитие на инфраструктурата, които обхващат преднамерените планове и подходи, които организациите, както публични, така и частни, приемат за ефективно управление и изпълнение на проекти, свързани с изграждането и поддържането на физически структури и съоръжения. Тези стратегии са от съществено значение за оптимизиране на ресурсите, минимизиране на рисковете и постигане на дългосрочна устойчивост и растеж. Засегнати са ключови аспекти на организационните стратегии в развитието на инфраструктурата:

- Планиране и управление на проекта.
- Управление на риска.
- Ангажиране на заинтересованите страни.
- Финансово планиране и финансиране.
- Технологична интеграция.
- Устойчивост.

Развитието на инфраструктурата е обобщено чрез мрежовото планиране и управлението на веригата за доставки.

В т. 3.2.4. от глава III е изследвано оперативното управление, което включва наблюдение на процесите и ресурсите, които организациите използват за производство на стоки и услуги. Фокусира се върху проектирането, планирането и контролирането на дейностите, които преобразуват входящите ресурси (като материали, труд и капитал) в резултати (продукти или услуги) ефикасно и ефективно. Засегнати са ключови аспекти на оперативното управление като - процеси на проектиране, планиране на капацитета, контрол на качеството, управление на веригата за доставки, график и логистика.

Като важни изводи е акцентирано, че успешното внедряване на услуга или технология изисква щателно планиране, от първоначалното внедряване до разширяване на операциите. Това включва пилотно тестване, поетапно внедряване и непрекъснат мониторинг.

Успешното оперативное управление се свързва с редовна поддръжка и навременни надстройки, които са от съществено значение за поддържане на качеството на услугата и включване на технологични нововъведения. Прогнозната поддръжка с помощта на AI и IoT може да намали времето за престой и оперативните разходи.

Към глава III са представени общи изводи и заключения и приносни елементи.

ОБЩИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

➤ Наличността на честотен спектър е проблем от първостепенна важност. Осигуряването на достатъчен спектър и честотен ресурс за 5G услуги, особено в микровълновите диапазони е критично предизвикателство. Честотният диапазон от 42 GHz е възможно разширение на диапазона от 26 GHz, които ще отговорят на нуждите от нарастващото търсене. Диапазоните 42 GHz и 26 GHz, могат да осигурят локален достъп до спектъра. Фиксираната услуга в горните честотни диапазони 57-71 GHz е пример за използване на нелицензирани ленти за корпоративни клиенти и мобилните оператори. Нелицензираните ленти могат да се използват за осигуряване на фиксиран безжичен достъп (FWA) на домакинствата в селските райони, но като се сведе до минимум смущенията.

➤ Основните проблеми при внедряването на 5G технологията се явяват разходите за инфраструктура, като разгръщането на 5G инфраструктурата с малки по-

размер клетки, наречени „фемтоклетки“, полагането на влакнесто-оптични кабелни линии и нов хардуер, води до значителни капиталови разходи.

➤ Повишената свързаност и пропускателна способност на 5G мрежите поражда опасения относно сигурността и поверителността. Стабилните мерки за сигурност, включително криптиране и удостоверяване са критично важни за пълноценното внедряване.

➤ Ефективното управление на смущенията в 5G мрежите е от съществено значение за постигане на висока производителност и надеждност при внедряване на технологията. То е изправено пред множество трудности, включително повишена плътност на устройствата, разнообразно използване на спектъра, хетерогенна мрежова архитектура и съвместно съществуване с наследени 3G/4G мрежи. Справянето с тези проблеми изисква усъвършенствани технологии, сложни алгоритми и координирани усилия в цялата мрежова структура.

➤ Внедряването на IoT технологията в областта на безжичните широколентови електронни съобщителни услуги предполага, както значителни възможности, така и редица трудности. Успешното справяне с тези проблеми изисква многостранен подход, включващ усъвършенствани мрежови архитектури, стабилни мерки за сигурност, стандарти за оперативна съвместимост, динамично управление на QoS, енергийно ефективни протоколи и усъвършенствани стратегии за управление на данни.

➤ Международните стандарти и съответствие формират гръбнака на световната търговия, като са гарант, че продуктите и услугите отговарят на постоянни нива на качество, безопасност и ефективност. Международният съюз по телекомуникации (ITU) определя глобални стандарти за използване на спектъра, спецификации на оборудването и качество на услугата. Спазването на разпоредбите на ITU е от съществено значение за оперативната съвместимост и глобалната свързаност.

➤ В публично-частните партньорства се определят различни модели включително - модели на сътрудничество, концесионни договори, договори за услуги.

➤ Организационните стратегии в развитието на инфраструктурата обхващат преднамерени планове и подходи, които организациите, както публични, така и частни, приемат за ефективно управление и изпълнение на проекти, свързани с изграждането и поддържането на физически структури и съоръжения. Тези стратегии са от съществено значение за оптимизиране на ресурсите, минимизиране на рисковете и постигане на дългосрочна устойчивост и растеж.

➤ Оперативното управление е от съществено значение относно наблюдението на процесите и ресурсите, които организациите използват за внедряването на стоки и услуги. Фокусира се върху проектирането, планирането и контролирането на дейностите, които преобразуват входящите ресурси (като материали, труд и капитал) в резултати (продукти или услуги) ефикасно и ефективно.

Като заключение може да се отчете, че това изследване предоставя цялостна рамка за разбиране и справяне с проблемите, свързани с планиране на техническите, регулаторни и организационни процедури при внедряването на съвременни безжични широколентови електронни съобщителни услуги, като в крайна сметка допринася за подобрената свързаност и технологичния прогрес.

ПРИНОСНИ ЕЛЕМЕНТИ КЪМ ГЛАВА ТРЕТА

➤ Изследване на внедряването на съвременни безжични широколентови електронни съобщителни услуги.

➤ Изследване на технологични нововъведения като 5G и IoT интеграция в областта на безжичните широколентови мрежи и услуги.

➤ Формулиране на стратегии за внедряване и развитие на инфраструктурата на 5G.

➤ Систематизиране на аспектите по управление на радиочестотния спектър, свързани с внедряване на 5G технологиите.

- Формулиране на основните проблеми свързани с внедряването на 5G технологията.
- Предлагане на подходи за планиране и управление на честотния спектър при внедряване на IoT технологията.
- Изследване и обстоен анализ на ключовите аспекти, свързани с интегрирането на IoT в съвременни безжични широколентови мрежи.
- Изследване и анализ на осигуряването на оперативна съвместимост между различни устройства и платформи за IoT интеграция.
- Изследване и анализ на качеството на услугата (QoS) като важен аспект от внедряването на IoT технологията за различните приложения.
- Изследване на енергийната ефективност като аспект при внедряването на IoT технологията.
- Формулиране на проблем и предлагане на решения свързани с огромното количество данни, генерирани от IoT устройства.
- Изследване на нормативната уредба и международните стандарти и съответствие относно внедряването на нови технологии.
- Изследване на аспектите по разпределение и лицензиране на честотния спектър в Република България.
- Изследване и анализ на механизмите за лицензиране и разпределение на честотния спектър.
- Изследване и анализ на модели за публично-частни партньорства като споразумения за сътрудничество между държавни органи и компании в технологичния сектор.
- Изследване на организационните стратегии в развитието на технологичната инфраструктурата.
- Изследване и анализ на ключовите аспекти на оперативното управление относно внедряване на услуга или технология.

ГЛАВА IV

МЕТОДИКА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА СИМУЛАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЗАИМНОТО ВЛИЯНИЕ МЕЖДУ РАДИОЕЛЕКТРОННО ОБОРУДВАНЕ НА ПОЛЗВАТЕЛИТЕ НА РАДИОЧЕСТОТЕН РЕСУРС ЗА СМЕСЕНО ПОЛЗВАНЕ

В глава четвърта от докторската работа е разработена методика за провеждане на симулационно изследване за определяне на взаимното влияние между радиоелектронно оборудване на ползвателите на радиочестотен ресурс за смесено ползване. Тази методика е една от основните задачи на дисертационния труд и е разработена във връзка с разширяване обхвата и възможностите на ефективното и ефикасно използване на радиочестотния спектър.

В точка 4.1. от глава IV са представени целта и обхвата на методиката. Като основна цел на изследването е заложено установяване на използването на радиочестотен спектър за смесено ползване в радиочестотни обхвати, предназначени за внедряване на 5G технологиите и наземни радионавигационни, радиолокационни системи и оборудване за специални цели.

Предназначението и обхвата на приложение на методиката са да даде насоки и решения за определяне на взаимното влияние върху работата на наземните системи за радионавигация и радиоелектронното оборудване и мобилни терминали в радиочестотни обхвати определени за 5G.

Представени са документи, относно необходимостта за разработване на настоящата методика - Решение на Комисията 2010/267/ЕК от 6 май 2010 година; Решение (ЕС) 2017/899 на Европейския парламент и на Съвета от 17 май 2017 година за използването на радиочестотната лента 470 – 790 MHz в Съюза; Решение № 243/2012/ЕС на Европейския парламент и на Съвета от 14 март 2012 година за създаване на многогодишна програма за

политиката в областта на радиочестотния спектър; Решение за изпълнение (ЕС) 2016/687 на Комисията от 28 април 2016 година относно хармонизирането на радиочестотната лента 694 – 790 MHz за наземни системи.

Дефинирани са технически изисквания и методи за контрол и изследване:

➤ Определяне на обхвата, включително честотни ленти, типове оборудване и сценарии за симулиране. Радиочестотните ленти, определени за използването на изследването са 790 – 862 MHz и за наземни системи, позволяващи предоставяне на електронни съобщителни услуги и радиочестотната лента 694 – 790 MHz за наземни системи, позволяващи предоставянето на безжични широколентови електронни съобщителни услуги в Европейския съюз.

➤ Типово оборудване за мобилната телекомуникационна система:

- базови станции според спецификациите;
- оборудване за обходни измервания със специален автомобил или преносимо оборудване;
- терминали на крайни потребители.

➤ Специализирано оборудване и системи:

- РСР-10 МН1 - радиолокационна система за кацане;
- РСБН-4Н - радиотехническа система за близка навигация (наземна);
- РСБН-5С/ изд. А- 323 (бордна) - радиотехническа система за близка навигация;

В точка 4.2. от глава IV са засегнати сценарии за симулиране на изследването. Симулациите са от съществено значение при планирането, внедряването и оптимизирането на безжични мрежи, особено с внедряването на по-нови технологии като 5G. Регулаторното съответствие със стандартите и разпоредбите на ЕС по отношение на разпределението и използването на спектъра също е неразделна част от тези симулации.

Сценариите за симулиране на изследването са разгледани в следните аспекти:

- Тестване на параметри.
- Анализ на покритието.
- Планиране на капацитета.
- Изследвания на смущения.
- Анализ на предаване и мобилност.
- Оптимизация на мрежата
- Спектрална ефективност.
- Допустими грешки.

Подчертава се, че в честотните диапазони 700 MHz и 800 MHz няколко характеристики на свойствата на даден обект (като свойства на антената, фактори на околната среда, смущения и шум, модели на разпространение и предположения) на изследване могат да повлияят на резултатите от проучвания или симулации. Тези характеристики може да имат несигурност или допустими грешки, които не са изрично определени от настоящата методика, но все пак влияят върху резултатите от изследването.

Прави се избор на местонахождение за провеждане на изследването, като за честоти в обхвата 700 MHz и 800 MHz се отчитат на няколко фактора - градска, крайградска или селска среда, топография, гъстота на населението и инфраструктура.

Разглеждат се още регулаторни съображения и полеви изпитания и измервания.

В точка 4.3. от глава IV се представя изложение на метод на симулационното изследване. При провеждане на изследването се използват следните основни методи за изследване/проверка и оценка:

➤ Метод на функционални изследвания - функционалните изследвания са метод за проверка, който включва структуриран подход за проверка дали дадена система

или терминал изпълнява предвидените функции правилно. Това включва щателно планиране, изпълнение, документиране и анализ, за да се гарантира, че измерванията отговарят на определените функционални изисквания. Функционалното изследване, като метод за проверка включва различни стъпки извън основния процес на тестване, измерване и запис на данни като - настройка на тестова среда, събиране и анализ на данни, документация, регресионно тестване, проследимост.

➤ Метод на сравнителния анализ - сравнителният анализ включва изследване и оценка на приликите и разликите между два или повече обекта, системи или процеси, за да се постигне по-задълбочено разбиране на техните характеристики, функционалности или характеристики. Идентифициране на обекти за сравнение, които да бъдат анализирани се извършва формулиране на изводи за съответствието на определена характеристика (параметър, норма) на специализираните системи, базови станции, носими ръчни терминали, основната му апаратура, оборудване и софтуер.

➤ Метод на измервания - методът на измерване включва използването на специализирани инструменти и оборудване - вградени в системата или външни устройства - за количествено определяне, оценка или оценка на специфични атрибути или характеристики на обекти, системи или явления. Ето как обикновено работят тези методи. Изборът на измервателни устройства, като вградени и/или външни измервателни уреди, апаратура и инструменти е с цел оценка на взаимното влияние върху нормалното функциониране на радионавигационни системи и радиолокационната апаратура на мобилните мрежи и проверка на съответствието с изискваните характеристики (параметри, норми).

В точка 4.4. от глава IV се изследва процеса на събиране и анализ на данни, в който се разглеждат технически показатели за провеждане на изследванията в честотен спектър 700 MHz и 800 MHz и характеристики на оборудването на мобилни телекомуникационни мрежи.

Радиокомуникационно оборудване, необходимо за измерването и анализа на изследванията включва:

➤ Техническо оборудване (Drive Test) - оборудване за обходни измервания с автомобил или преносима раница, включващо подходящи UE терминали и RF Scanner/Spectrum Analyzer за измерване на зашуменост на изследвания спектър, включително и на ниво Resource Block.

➤ Статистически данни за всяка станция/клетка - OSS статистики, събирани от съответната система на всеки оператор.

В техническото оборудване се зареждат скриптове за генериране на трафик. Прави се сравнение на техническите параметри на трансфера на данни в изградените локални 700 MHz / 800 MHz радиомрежи, съответно в условия на включени и изключени системи на специализираното оборудване. За целта на измерванията ще се използват следните протоколи: ICMP, HTTP, FTP, както и използваните понастоящем Packet Data performance метрики. В резултат се събират и анализират статистически данни за нивата на интерференция, измерени от приемната част на базовите станции (eNB) и техническото оборудване - Drive Test, които се съпоставят с периодите на работа (начало и край) на специализираните системи. В случай че е необходимо се предоставят тестови терминали на крайни потребители, намиращи се в зоната на покритие на 700 MHz / 800 MHz мрежата, отново с цел събиране на статистически данни и последващ анализ - тестови карти, пускани в режим на Trace/Performance Monitoring.

За провеждане на този тип тестове се използва:

➤ **Специализирано техническо оборудване за Drive Test.**

➤ **Мобилни телефони със заключени честотни ленти** - използват се за симулиране на UL смущения, работещи точно в честотни ленти 700 MHz / 800 MHz. Заключени са, за да се осигури измерването на сигналите, изпращани от тях.

➤ **Процедура за Drive Test и запис на измерванията** - Drive Test процедура в близост до специализираните системи на трите оператора. Това включва запис на UL сигналите от мобилните телефони в честотните ленти 700 MHz / 800 MHz.

- **Анализ на данните** - Този процес включва оценка на UL смущенията и техните ефекти върху специализираните системи.
- **Отчет за измерванията** – документация на резултатите от измерванията в подробен отчет, който да включва анализ на UL смущенията и техните последици върху специализираните системи на трите оператора.

Този тип тестове е важен за оценка на взаимодействието между мобилните мрежи в честотните ленти 700 MHz и 800 MHz и специализираните системи, като се симулират условията на работа в реална среда, което е от ключово значение за подобряване на ефективността и качеството на мобилните услуги без да оказват влияние на специализираното оборудване.

- **Избор на базови станции излъчващи 700 MHz / 800 MHz** -изборът на базови станции, които ще излъчват в честотни ленти от 700 MHz и 800 MHz, е важен за оптимизиране на покритието, качеството на услугата и ефективното използване на спектъра. Оценката на спектралните характеристики в тези честотни ленти е съществена. Важно е да се отбележи какъв обхват от честоти покрива всяка базова станция, както и какви са характеристиките на излъчвания сигнал (мощност, модулация, широчина на лентата и др.).

Акцентирано е, че операторите следва да инсталират оборудване за 700 MHz / 800 MHz, както следва:

Изследователска фаза 1 - Изследването се провежда максимално близо до мястото, определено за разполагане на апаратурата на трите оператора – на една и съща предавателна кула.

В случай на неуспешен опит следва да се премине към изследователска фаза 2.

Изследователска фаза 2 - Изследването се провежда от трите оператора на разстояние 5 км, отдалечени от мястото, определено за провеждане на изследването, с разположени на собствени сайтове.

Точка 4.4. от глава IV завършва с изводи:

- Базова станция към мобилни устройства – от 7% до 100% - на един сектор от една Базова станция, посредством позициониране на мобилното оборудване пред конкретен сектор;
- Мобилни устройства към Базова станция - от 0% до 100% - на един сектор от една Базова станция, посредством позициониране на мобилното оборудване пред конкретен сектор;
- Не е възможно с измервателните ресурси на един оператор да се натоварят повече от един сектор от една базова станция;
- Поради технически ограничения непрекъснатото натоварване на 100% е лимитирано на около 2 минути, след което следва пауза от 10 секунди;
- Мобилните оператори не разполагат с автономно работещо измервателно оборудване. Необходимо е измерването да е в точност до секунди, особено при изследването при облитанията.

В точка 4.4.1. от глава IV са разгледани критерии за приемане на изследванията за успешни. При оценяване на успешността на изследванията във връзка със специфична честотна лента от 10 MHz, се вземат предвид няколко критерия, които допринасят за качеството и релевантността на проведените изследвания - ефективно използване на честотната лента, качество на връзката и покритието, пропускателна способност и скорост на предаване, устойчивост при натоварване и трафик, съответствие с регулациите и стандартите.

Критериите за успешност на изследванията във връзка с честотна лента от 10 MHz са определени в зависимост от конкретните изисквания на мрежата, целите на изследването и очакванията за услугите, които трябва да бъдат предоставени.

В точка 4.5. от глава IV се представя математически анализ и модели на смущения. Анализирането на смущенията при нововъзникващи системи и техника като 5G базовите станции [196] се определя чрез няколко математически концепции и подходи. Чрез математически анализ на смущенията на базовите станции в 5G, като се обследва разпространение на сигнала, моделиране на смущения и техники за намаляване на смущенията.

Точка 4.5.1. от глава IV е посветена на модела на разпространение на сигнала. Един от основните фактори, влияещи върху смущенията, е моделът на разпространение на сигнала. Най-често използваният модел е моделът на загуби при разпространение, който описва как мощността на сигнала намалява с разстоянието от предавателя. Моделът на загуби при разпространение може да се изрази като:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10.n.\log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (1)$$

където $PL(d)$ е загубата при разпространение на разстояние d ,

$PL(d_0)$ е загубата при разпространение на референтното разстояние d_0 ,

n е степента на загуба при разпространение.

Последователно в отделни подточки са представени моделирането на смущенията и съотношението сигнал/смущение (SIR).

В 5G множество базови станции могат да работят в една и съща зона, причинявайки смущения в сигналите на други такива. Смущенията могат да бъдат разделени на две основни категории:

➤ Смущения в съвместен канал (CCI) - Смущения в съвместен канал възникват, когато множество базови станции използват един и същ честотен канал.

➤ Смущение на съседен канал (ACI) - Смущение на съседен канал възниква, когато базовите станции използват съседни честотни канали. Въпреки че смущенията са относително по-слаби в сравнение със CCI, те все още могат да повлияят на производителността, особено за потребители, разположени близо до ръба на покритието на клетката.

Съотношението сигнал/смущение - SIR е ключов показател, използван за оценка на качеството на безжична комуникационна връзка при наличие на смущения. Определя се като съотношението на мощността на получения сигнал към мощността на смущението от други източници. По-висок SIR показва по-добро качество на сигнала и намалени смущения.

В точка 4.5.4. от глава IV се представят техники за намаляване на смущенията. Използват се няколко техники за минимизиране на смущенията и подобряване на цялостната производителност на мрежата:

➤ Повторно използване на честота - Базовите станции се разгръщат с помощта на специфичен модел за разпределяне на честотни канали, които не се припокриват, към близките клетки. Този подход минимизира CCI и ACI.

➤ Координиране на смущенията - Базовите станции могат да се координират една с друга, за да намалят смущенията, като избягват едновременно предаване към съседни клетки.

➤ Формиране на лъч - базовите 5G станции използват усъвършенствани техники за формиране на лъч, за да фокусират енергията на сигнала върху конкретни потребители, намалявайки смущенията за други потребители.

В точка 4.5.5. от глава IV се представя математическо изследване с модел на разпространение на сигнала, включващ множество базови станции и затихващ канал.

Анализират се смущенията в 5G мрежа с три базови станции, разположени в крайградска зона, като се взема предвид затихващ канал за по-реалистичен сценарий.

Предположения:

- Три базови станции - BS1, BS2 и BS3, работещи на различни честоти (f1, f2, f3) с предавателни мощности (Pt1, Pt2, Pt3) от 30 dBm всяка.
- Затихващ канал - Безжичният канал изпитва затихване, което въвежда произволни вариации в силата на сигнала.
- Експонента на загуба на път - Експонентата на загуба на път 'n' е 2, типично за крайградски среди.

За този пример се разглежда потребител, разположен на разстояние 300 метра от всяка базова станция. Изчислява се съотношението сигнал/смущение (SIR) за потребителя при наличие на затихване.

Стъпка 1: Изчисления на загубата при разпространение за всичките три базови станции на 300 метра.

Използва се модела за загуба при разпространение в свободно пространство.

Загубата при разпространение за BS1 (при f1):

$$PL_{BS1}(300m) = 20 \cdot \log_{10}(300) + 20 \cdot \log_{10}(f_1) + 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) \quad (3)$$

Загубата при разпространение за BS2 (при f2):

$$PL_{BS2}(300m) = 20 \cdot \log_{10}(300) + 20 \cdot \log_{10}(f_2) + 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) \quad (3)$$

Загубата при разпространение за BS3 (при f3):

$$PL_{BS3}(300m) = 20 \cdot \log_{10}(300) + 20 \cdot \log_{10}(f_3) + 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) \quad (4)$$

Стъпка 2: Представяне на Фадингга.

Фадингът въвежда произволни вариации в мощността на получения сигнал. Моделира се затихващия канал като сложна Гаусова случайна променлива с нулева средна стойност и дисперсия 1.

Приема се, че усилването на фадингга за BS1, BS2 и BS3 са съответно h1, h2 и h3.

Стъпка 3: Изчисления на получената мощност в местоположението на потребителя (300 метра) за всичките три базови станции.

Получената мощност (Pr) се представя чрез формулата:

$$P_r = P_t - PL(d) \quad (5)$$

където Pt е предавателната мощност на базовата станция.

За базова станция 1 (BS1):

$$P_{r_BS1} = 30dBm - PL_{BS1}(300m) \quad (6)$$

за дадената честота f1

За базова станция 2 (BS2):

$$P_{r_BS2} = 30dBm - PL_{BS2}(300m) \quad (7)$$

за дадената честота f2

За базова станция 3 (BS3):

$$P_{r_BS3} = 30dBm - PL_{BS3}(300m) \quad (8)$$

за дадената честота f3

Където:

P_{r_BS1} , P_{r_BS2} , P_{r_BS3} - са получените мощности в местоположението на потребителя за базови станции 1, 2 и 3;

P_t - е предавателната мощност на базовата станция;

$PL_{BS1}(300m)$, $PL_{BS2}(300m)$ и $PL_{BS3}(300m)$, са загуби на разпространение за базови станции 1, 2 и 3 на разстояние от 300 метра;

f_1 , f_2 и f_3 - са честотите на съответните базови станции.

Стъпка 4: Включване на фединг в получената мощност.

Получената мощност с фединг за всяка базова станция се представя от:

$$P_{r_BS1_faded} = |h1|^2 \cdot P_{r_BS1} \quad (9)$$

$$P_{r_BS2_faded} = |h2|^2 \cdot P_{r_BS2} \quad (10)$$

$$P_{r_BS3_faded} = |h3|^2 \cdot P_{r_BS3} \quad (11)$$

където $|h1|^2$, $|h2|^2$, $|h3|^2$ - са съответно квадратните величини на усилването на затихването $h1$, $h2$ и $h3$.

Стъпка 5: Изчисления на съотношението сигнал/смушение (SIR) на мястото на потребителя.

Съотношението сигнал/смушение SIR се представя чрез съотношението

$$SIR = \frac{\text{Signal Power}}{\text{Interference Power}}$$

$$SIR = \frac{Pr_BS1_faded}{(Pr_BS2_faded + Pr_BS3_faded)} \quad (12)$$

Продължава се с изчисляването на съотношението сигнал/смушение (SIR) в местоположението на потребителя, като вземем предвид затихването и получените мощности за всичките три базови станции.

Резюме на параметрите:

Базова станция 1 (BS1) работи на честота f_1 с предавателна мощност от 30 dBm.

Базова станция 2 (BS2) работи на честота f_2 с предавателна мощност от 30 dBm.

Базова станция 3 (BS3) работи на честота f_3 с предавателна мощност от 30 dBm.

Показателят на загубите по пътя 'n' е 2.

Използва се модела за загуба при разпрастранение в свободното пространство.

Използвайки стойностите за честотата (f) и скоростта на светлината (c):

$$f_1 = 3.5 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 4.2 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 4.8 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Изчисляват се загубите по пътя:

$$PL_{BS1}(300 \text{ m}) \approx 46.08 \text{ dB}$$

$$PL_{BS2}(300 \text{ m}) \approx 46.74 \text{ dB}$$

$$PL_{BS3}(300 \text{ m}) \approx 47.18 \text{ dB}$$

Представяне на фединга.

Нека приемем, че усилването на затихването за BS1, BS2 и BS3 са съответно $h1$, $h2$ и $h3$. Усилването на затихването следва комплексно разпределение на Гаус с нулева средна стойност и дисперсия от 1.

$$\text{Нека} \quad h1 = a_1 + jb_1 \quad (13)$$

$$\text{Нека} \quad h2 = a_2 + jb_2 \quad (14)$$

$$\text{Нека} \quad h3 = a_3 + jb_3 \quad (15)$$

където $a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3$ са случайни променливи, следващи стандартно нормално разпределение.

Изчисления на получената мощност в местоположението на потребителя (300 метра) за всичките три базови станции.

Получената мощност (P_r) се представя по формулата:

$$P_r = P_t - PL(d)$$

За базова станция 1 (BS1):

$$P_{r_BS1} = 30\text{dBm} - PL_{BS1}(300\text{ m}) \approx 30\text{dBm} - 46.08\text{dB} \approx -16.08\text{dBm}$$

За базова станция 2 (BS2):

$$P_{r_BS2} = 30\text{dBm} - PL_{BS2}(300\text{ m}) \approx 30\text{dBm} - 46.74\text{dB} \approx -16.74\text{dBm}$$

За базова станция 3 (BS3):

$$P_{r_BS3} = 30\text{dBm} - PL_{BS3}(300\text{ m}) \approx 30\text{dBm} - 47.18\text{dB} \approx -17.18\text{dBm}$$

Включване на фадинг в получената мощност.

Получената мощност с фадинг за всяка базова станция се дава от:

$$P_{r_BS1_faded} = |h1|^2 \cdot P_{r_BS1}$$

$$P_{r_BS2_faded} = |h2|^2 \cdot P_{r_BS2}$$

$$P_{r_BS3_faded} = |h3|^2 \cdot P_{r_BS3}$$

Изчисления на съотношението сигнал/смущение (SIR) на местоположението на потребителя.

Съотношението SIR се изчислява, както следва:

$$SIR = \frac{Pr_BS1_faded}{(Pr_BS2_faded + Pr_BS3_faded)}$$

В заключение се интерпретира стойността на SIR, за да се определи нивото на смущения, изпитвани от потребителя. По-високият SIR показва по-добро качество на сигнала и намалени смущения, докато по-ниският SIR показва по-високо ниво на смущение. Поради сложността, въведена от затихването и произволността на усилването, точният числен резултат варира с всяко изпълнение на симулация. Анализът обаче демонстрира процеса на включване на затихване и изчисляване на SIR в по-реалистичен сценарий на 5G мрежа с множество базови станции.

В точка 4.6. от глава IV се разработва модел за радиооборудване и поведението му в рамките на симулационната среда.

В отделни подточки от т.4.6. са разгледани съставните части на модела, а именно:

В т.4.6.1. е представена радарна система за кацане (PCP-10 MN1).

PCP-10 MN1 е радарна система, предназначена основно за кацане. Помага при осигуряване на насоки и навигационна поддръжка по време на кацане на самолети [25], особено при неблагоприятни метеорологични условия или ситуации с ниска видимост. Този тип радар помага на пилотите да определят надморската височина, разстоянието и подравняването на пистата, осигурявайки безопасно и точно кацане. Извършва се проверка за устойчиво изобразяване на радарни цели (отметки) и липса на активни смущения, предизвикващи маскиране на полезните сигнали и изобразяване на „лъжливи отметки“ на индикатора за кръгов обзор в режим ПАСС (пасивен), АКТ (активен) и СПЦ (селекция на подвижни цели). Прави се оценка за правилна работа на PCP-10 MN1 по време на облитане чрез сравняване на показанията на наземната система с показанията от щатните средства на „Подход“ (GCA-2000, RDPS). Изследванията за проверка работата на

радиолокационна станция РСР-10 МН1 при включени базови станции в определените изследователски точки и включени абонатни устройства в близост до апаратурата.

В т.4.6.2. е разгледана радиотехническа система за близка навигация - земя (РСБН-4Н). РСБН-4Н е наземна радиотехническа система за близка навигация, която помага при предоставянето на точна навигационна информация на самолетите [25], особено по време на фазите на подход и кацане. Също така помага при определяне на позицията на самолета спрямо планираната траектория на полета и пистата, като предлага насоки и точност за безопасно кацане. Прави се проверка за устойчиво изобразяване на индикатора за кръгов обзор (ИКО) на отметка за местоположението на въздухоплавателното средство и наличие на двойна отметка за опознаване на самолета, работещ с радиомаяка. Изготвя се оценка за правилна работа на РСБН-4Н по време на полета се извършва чрез сравняване на показанията на наземната система с показанията от щатните средства на РП „Подход“. Изследването е за проверка работата на радиотехническа система за близка навигация РСБН-4Н при включени базови станции в определените изследователски точки.

В т.4.6.3. е изследвана наземната мобилна връзка, която обикновено се отнася до комуникационни системи, използвани в наземни или наземни мобилни приложения. Системите улесняват комуникацията между мобилни устройства, специализираните превозни средства или ръчни терминали в рамките на локализираната област, предназначена за изследване. За да се установи взаимното влияние на двете апаратури се правят изследвания при провеждане на разговори:

➤ услуга пренос на глас - при изключена наземна и бордна апаратура, при включена наземна апаратура и изключена бордна апаратура, при включена наземна и бордна апаратура.

➤ услуга пренос на данни (извършват се въз основа на протоколи FTP, HTTP, ping) - изтегляне на данни от Интернет - Download DATA, от абонатно устройство при изключена наземна и бордна апаратура; изтегляне на данни от Интернет от абонатно устройство при включена наземна апаратура и изключена бордна апаратура; изтегляне на данни от Интернет от абонатно устройство при включена наземна и бордна апаратура; качване на данни към Интернет - Upload DATA, от абонатно устройство при изключена наземна и бордна апаратура; качване на данни към Интернет от абонатно устройство при включена наземна апаратура и изключена бордна апаратура; качване на данни към Интернет от абонатно устройство при включена наземна и бордна апаратура;).

Извършва се наблюдение на ефира за наличие на смущения от апаратурата или трансгранични смущения:

➤ Измерване на Download DATA частта на предоставения спектър на 700 MHz и 800 MHz, посредством обходни измервания с преносим скенер към Drive Test оборудването;

➤ Измерване на целия предоставен спектър посредством „Спектър Анализатор“ и насочена антена.

Определя се временен достъп за съвместно ползване на радиочестотни ленти 703-733 MHz, 758-788 MHz, 791-821 MHz, 832-862 MHz за изследване на наземни мрежи, позволяващи предоставянето на електронни съобщителни услуги, съвместно с радиооборудване от специализиран вид.

Измерванията се провеждат със специализирана измервателна апаратура за мониторинг на радиочестотния спектър за граждански нужди.

В измерванията участват 3 броя мобилни станции за мониторинг на радиочестотния спектър разположени в следните 3 точки:

- Точка за измерване № 1 с географски координати: 42°27'25"С 026°21'34"И
- Точка за измерване № 2 с географски координати: 42°25'51"С 026°24'37"И
- Точка за измерване № 3 с географски координати: 42°29'27"С 026°15'51"И

Всяка мобилна санция за радиомониторинг е оборудвана със следната измервателна апаратура:

- Мобилна система за радиомониторинг ARGUS, ROHDE & SCHWARZ.
- Измервателен приемник: R&S ESMD/ESME 20 - 3600 MHz
- Антенна система: антенен комутатор - GB127M; комплект антени - HF214, HE309, ADD195, HL023A1, HL040, ADD071; антенна мачта - h - 8 m.

Тези устройства имат висока чувствителност и широк динамичен обхват, което им позволява да откриват и анализират точно слаби или силни сигнали. Могат да предложат възможности за обработка и анализ на сигнали в реално време, предоставяйки незабавна обратна връзка за характеристиките на сигналите, които се наблюдават.

В т.4.6.4. от глава IV е представено наземно изследване, което включва измерване с хоризонтална поляризация на напрегнатостта на създаваното електромагнитното поле в честотни диапазони 703-733 MHz, 758-788 MHz, 791-821 MHz, 832-862 MHz и работните ленти на радиооборудване от специализиран вид при следните условия:

➤ **Измерване на интензитета на електромагнитното поле** - включва специализирано оборудване като спектрални анализатори или измерватели на силата на полето. Тези инструменти могат да откриват и измерват силата на електромагнитните полета, излъчвани в определените за целта честотни диапазони.

➤ **Калибриране** - оборудването следва да бъде правилно калибрирано, за да осигури точни измервания.

➤ **Измерване на полето** - измерванията на различни места, дават оценка на силата на електромагнитното поле в определените честотни диапазони. Това може да включва преместване на оборудването на различни позиции или височини, за да се уловят промените в интензитета на полето.

➤ **Записване и анализ** – запис на получените измервания и анализиране на данните, за да се установи разпределението и силата на електромагнитното поле в тези честотни ленти.

За специализирано радио оборудване, работещо в тези честотни диапазони, регулаторните органи често налагат ограничения на допустимите нива на електромагнитно излъчване. Тези ограничения са налице, за да се гарантира, че излъчваната радиация не пречи на други устройства или не представлява риск за здравето на хората. При този вид измервания, е изключително важно да се спазват указанията и разпоредбите за безопасност, за да се избегнат всякакви потенциални опасности за здравето, свързани с излагането на високи нива на електромагнитни полета. Изследването се прави при всички режими на наземната специална апаратура – (изключен/включен), както и на апаратурата на оператора (изключен/включен).

В т.4.6.5. се представят изпитания на апаратурата. Тестовите на апаратурата се отнасят до процедури, използвани за оценка на функционалността, производителността, безопасността и съответствието на различно оборудване или устройства. Тези тестове са от решаващо значение в процеса на изследването, за да се гарантира, че апаратът отговаря на специфични стандарти, разпоредби или потребителски изисквания. Естеството на тези тестове може да варира в широки граници в зависимост от вида на оборудването и предназначението му. За определяне на нормата на точност при изследването се правят следните тестове:

➤ **Тестове за функционалност** - тези тестове потвърждават, че оборудването изпълнява предвидените функции правилно. Функционалните тестове може да включват проверка на бутони, превключватели, дисплеи и/или интерфейси, за да се гарантира, че работят според очакванията.

➤ **Тестове за ефективност** - те оценяват характеристиките за работа на апаратурата. Това включва измерване на параметри като скорост, точност, ефективност, консумация на енергия или сила на сигнала, в зависимост от вида на оборудването.

➤ **Тестове за безопасност** - безопасността е от първостепенно значение при настоящото изследване. Тестовите за безопасност гарантират, че оборудването не представлява риск за потребителите или околната среда. Включва електрическа безопасност, термично изпитване, изпитване на емисии или механични проверки за безопасност.

➤ **Тестове за съответствие** – това са специфичните стандарти и разпоредби, към които оборудването трябва да се придържа. Тестовите за съответствие потвърждават, че апаратът отговаря на тези стандарти. Тестовите за електромагнитна съвместимост (ЕМС) гарантират, че устройствата не пречат на друга електроника.

➤ **Тестове за околната среда** - тези тестове дават оценка как работи устройството при различни условия на околната среда, като температура, влажност, вибрации или надморска височина. Те помагат да гарантират, че оборудването може да издържи на различни условия в реална среда.

➤ **Тестове за калибриране** - за инструменти или измервателни устройства тестовите за калибриране проверяват точността на показанията и гарантират, че са в съответствие с определени стандарти.

Документацията за тестове на апаратурата обикновено включва подробни процедури, критерии за преминаване/неуспех, необходимо оборудване, предпазни мерки и стандарти/регулации, използвани за оценка. Тези тестове са критични за гарантиране на надеждността, безопасността и производителността на оборудването в различни индустрии.

В т. 4.6.6. се изследват режими на функциониране, определени в техническата и експлоатационна документация на апаратурата. В тази документация за различното оборудване, "режимите на работа" обикновено се отнасят до различните състояния или конфигурации, в които оборудването може да функционира. Тези режими включват:

➤ **Нормален режим** - стандартното работно състояние, при което оборудването изпълнява предназначенията си функция при нормални условия.

➤ **Режим на готовност** - ниска мощност или състояние на неактивност, при което оборудването работи, но не изпълнява активно основната си функция. Този режим често се използва за пестене на енергия или готовност.

➤ **Диагностичен или тестов режим** - режим, използван за отстраняване на проблеми, поддръжка или провеждане на диагностични тестове за идентифициране на проблеми или осигуряване на правилна функционалност.

➤ **Режим на калибриране** - позволява настройка или калибриране на оборудването, за да се осигури точност или съответствие с определени стандарти.

➤ **Режим на програмиране или конфигуриране** - състояние, при което настройките, параметрите или конфигурациите в рамките на оборудването могат да бъдат модифицирани или програмирани, за да отговарят на конкретните нужди или приложения.

➤ **Аварийен или безопасен режим** - активира се в критични ситуации или когато са изпълнени предварително определени условия, като се гарантира, че оборудването работи в безопасно или минимално функционално състояние.

Документацията в случая очертава процедурите за превключване между тези режими, функциите, които всеки режим обслужва и всички съображения за безопасност, свързани с тяхната употреба. Разбирането на тези режими е от решаващо значение за правилната работа, поддръжка, отстраняване на неизправности и осигуряване на оптималното функциониране на оборудването при различни сценарии.

В т. 4.6.7. се разглежда спазване на нормите за точност. Тези норми или граници за точност са установени въз основа на предназначението, стандартите и възможностите на апаратурата. Преминаването извън тези определени ограничения може да доведе до потенциални грешки, опасности за безопасността или проблеми с производителността. Работата в рамките на определени норми за точност гарантира, че оборудването постоянно

дава надеждни резултати. Изгражда доверие в производителността и изхода на устройството. Като остава в рамките на определени граници, оборудването поддържа постоянство в работата си във времето, като гарантира, че резултатите или измерванията остават надеждни.

В т. 4.6.8. се представят други условия за провеждане на изследванията. Разполагането на операторите и оборудването в полеви условия за провеждане на тестове изисква щателно планиране и отчитане на различни фактори, за да се осигурят гладки операции и точни резултати. За провеждане на изследванията е необходимо апаратурата на операторите да бъде развърната на полеви условия в района на и около мястото определено за провеждане на изпитванията. Апаратурата за измерване да бъде развърната в точките определени на измерване.

Следва да бъдат извършени всички комутации, свързвания и конфигурации на апаратурата на операторите. В процеса на изследването, при необходимост, може да се преминава в режим на преконфигуриране (смяна на местоположение, мощност на излъчване, азимут на излъчване на антените и др.) преди провеждане на конкретен тест.

Критериите за оценка на състоянието и показателите на апаратурата са следните:

➤ „В норми” – това е метод, отнасящ се за работещо оборудване при стриктно спазване на установените норми, параметри и спецификации, определени за специализираната и мобилната апаратура. Това означава, че оборудването функционира в рамките на определените граници и параметри, предписани за неговата нормална работа и използване.

➤ „Извън норми” – това е метод, възникнал в процеса на изследванията, отнасящ се до ситуация, при която оборудването работи или се държи по начин, който се отклонява значително от установените норми, спецификации или очаквани параметри, определени по съответните стандарти. Когато оборудването работи „извън нормата“, това предполага отклонение от обичайното, очаквано или предвидено представяне, което води до смущения или повреда в неговата функционалност.

В т. 4.7. от глава IV се разглежда подготовката за провеждане на изследванията, която включва следните основни дейности:

➤ Изисквания за експлоатация - привеждане на апаратурата, оборудването и софтуера в работно състояние;

➤ Проверка заземяването на апаратурата;

➤ Изисквания за захранване и енергия;

➤ Проверка на изградените съединителни линии и линии за дистанционно управление на съответните апаратура;

➤ Проверка съвместимостта между различни компоненти или версии на софтуера;

➤ Проверка на хардуерните компоненти, че работят безпроблемно заедно или че софтуерът е съвместим с операционната система и друг необходим софтуер;

➤ Калибриране и конфигуриране на оборудването или софтуерните настройки според указанията.

➤ Извършване на предварителни тестове, за проверка на оборудването, дали функционира правилно или дали софтуерът работи без грешки. Това може да включва провеждане на диагностични тестове, извършване на пробни пускания или използване на примерни данни за валидиране на функционалността;

➤ Документация и съответствие;

➤ Поддръжка на записи за настройка, калибриране и всички направени модификации.

➤ Проверка на работното състояние на необходимата за изследването стандартна, нестандартна и специализирана измервателна апаратура и софтуер.

Точка 4.8. от глава IV представя провеждането на изследванията. Изследванията се осъществяват, съгласно настоящата Методика и се провеждат съгласно „Алгоритъм за

провеждане на изследванията“. Алгоритъмът за изследване предоставя стъпка по стъпка процедурни насоки за провеждане на изследването [198]. Всички данни от изследванията се сравняват последователно със посочените в съответния технически или експлоатационен документ. Използаната измервателна апаратура е с необходимия за извършване на измерванията клас на точност. При измерванията и сравняванията с показателите, предписани от фирмите-производители се взима предвид допустимата грешка на измервателната апаратура. Към резултатите, които могат да съдържат обща и констативна част се добавя анализ на резултатите и изводи, оценка, препоръки (предписания) и забележки.

В т. 4.8.1. се разглежда алгоритъмът за провеждане на изследванията, който включва:

т. 4.8.1.1. Подготвителен етап

Изследванията се осъществяват при настройка на базови станции и измервателно оборудване във взаимно съгласувана между страните зона, извън зони, определени за специализираната апаратура. Определените за ползване радиочестоти и радиочестотни ленти [198] за подготвителни изследвания на спектъра в 700 MHz и 800 MHz, са както следва:

- Радиочестотни ленти от обхват 700 MHz
 - 703-713 MHz/758-768 MHz;
 - 713-723 MHz/768-778 MHz;
 - 723-733 MHz/778-788 MHz.
- Радиочестотни ленти от обхват 800 MHz
 - 791-801 MHz/832-842 MHz;
 - 801-811 MHz/842-852 MHz;
 - 811-821 MHz/852-862 MHz.

Всеки от операторите има право да използва всички описани по-горе ленти.

т. 4.8.1.2. Наземно изследване

Наземното изследване се провежда, за да се установи въздействието на:

- работата на базовите станции и абонатните устройства върху специализираното наземно оборудване;
- работата на специализираното наземно оборудване върху базовите станции и абонатните устройства.

Изследването се провежда в обхват 800 MHz в честотни ленти 791-821 MHz (базови станции) и 832-862 MHz (крайни устройства) [207]. По време на наземното изследване на специализираното оборудване, работи радиолокационна система за кацане по команди от земята РСР-10МН1, излъчваща и приемаща в радиочестотна лента 837.5+/-2.5 MHz. Наземната част на останалите специализирани системи, обект на изследване, съгласно Методиката, работят в комплект с бордната част от системите и не могат да се изследват самостоятелно.

Точка 4.8.2. от глава IV разглежда процедурни критерии, акцентирани на:

- Провеждане на процедурни уточнения - Уточняване на последователността на действията маршрутите и местата за развързване, реда и времето за реакция, действията при извънредни ситуации.
- Провеждане на предварителни тестове, непосредствено преди провеждането на самото изследване.
- Заемане на определените дислокации - Тестваната специализирана система се позиционирана на работната си позиция. Определя се време за заемане на позиции от специализирания екип и от операторите.

В т. 4.8.3. от глава IV се представя процеса на разполагане и подготовка за работа на позициите на мобилните станции за мониторинг, в близост до точки с координати, както следва:

- Позиция 1 „КДП“: 42°27'26"С 026°21'34"И
- Позиция 2 „ДПРМП“: 42°26'51"С 026°24'37"И
- Позиция 3 „Кермен“: 42°28'27"С 026°15'51"И

Проверка, развърщане и подготовка за работа на базовите станции, разположени в:

- с. Безмер с координати: 42°46'522"С 26°37'439"И
- с. Роза с координати: 42°40'254"С 26°40'431"И
- абонатни устройства в апаратната на РСР-10МН1 и в близост до апаратната.

В т. 4.8.4. се засяга готовността за работа на мобилните станции за мониторинг, включително:

- Провеждане на мониторингови измервания в двете честотни ленти.
- Провеждане на задължителни изследвания в лентата 837.5±2.5 MHz.
- Завършване на мониторингоите измервания.

Координация на изследванията, мониторинг за провеждане на изследванията, като в три различни дни на всеки оператор се осигурява време за тестване от приблизително по 7 часа за всички посочени по-горе честотни ленти. След завършване на самостоятелните тестове, в един ден се провеждат изследвания за работа на всички оператори едновременно, последователно се сменят използваните радиочестотни ленти в обхвати 700 и 800 MHz.

По време на изследването се измерва:

- Измерване на шуменост на изследвания спектър;
- Провеждането на разговори с абонатните устройства в апаратната и извън апаратната на РСР-10 МН1;
- Обменът на данни с абонатните устройства в апаратната и извън апаратната на РСР-10 МН1. Попълват се резултатите за Download DATA и Upload DATA;
- Провеждане на разговори и обмен на данни при включени апаратури на всички оператори, както и през третия ден.

По време на изследването се отчита:

- Наличието на смущения на екрана на диспечерския локатор на специализираната апаратура;

В т. 4.8.5. се разглежда провеждане на мониторингови измервания за напрегнатостта на полето по време на работата на базовите станции и на абонатните устройства. При наличие на смущения в работата на специализираните системи, се продължават изследванията в нови точки, определящи защитна зона на разстояние до 50 км.

В точка 4.9. от глава IV се представят резултати от изследванията и оценка на валидацията.

Точка 4.9.1. представя конкретните резултати за наземно изследване.

В отделна точка 4.9.1.1. се обособяват критерии за постигане на съответните резултати.

За постигане на конкретни резултати при изследването на наземните системи, предоставящи мобилни услуги в обхвати 700 MHz и 800 MHz, е необходимо да се проведат съвместно изпитвания за съвместимост на наземно базираните специализирани радионавигационни и радиолокационни системи и специални въздухоплавателни средства в обхвати 700 MHz и 800 MHz. Изпитванията стартират, след проверка влиянието на излъчвания от базовите станции на операторите сигнал върху наземно базираните специализирани радионавигационни и радиолокационни системи и обратно. Съвместно с операторите се провеждат изпитвания на определено за целта местонахождение, чрез

изпълнение на симулационен полет, използващ бордни навигационни системи в честотните ленти, определени за изследването, в обхвати 700 MHz и 800 MHz. По време на провежданите изпитвания се извършват мониторингови измервания на напрегнатостта на излъчваните от базовите станции на операторите върху сигнали в определени специализирани критични точки.

В т. 4.9.1.2. са представени резултати от проведеното изследване за електромагнитната съвместимост на наземните мобилни системи в обхвати 700 MHz и 800 MHz и специализираното наземното радиолокационно и радионавигационно оборудване. Акцентира се, че съвместното изследване се е провело съгласно дейностите, процедурите и последователността описани в Методиката за провеждане на изследванията [202].

Изследванията са подразделени на типове и подтипове, както следва:

- Тест 1 - използвани базови станции на операторите в определения район с включени сектори на излъчване към кординационната точка на изследване.
- тест 1-700 - тест в обхват 700 MHz, тестови телефони на разстояние до 100 м от апаратната на оборудването на специалната част.
- тест 1-800 тест в обхват 800 MHz, тестови телефони на разстояние до 100 м от апаратната на оборудването на специалната част.
- тест 2-700 - тест в обхват 700 MHz, тестови телефони на разстояние над 1000 м от апаратната на оборудването на специалната част.
- тест 2-800 - тест в обхват 800 MHz, тестови телефони на разстояние над 1000 м от специалната апаратна на оборудването.
- тест 3 използвани базови станции на оператори в района на с. Гълъбинци и с. Кермен (станции „Селата“) с включени сектори на излъчване към с. Безмер.
- тест 3-700 - в обхват 700 MHz, тестови телефони на разстояние до 100 м от специалната апаратна на оборудването.
- тест 3-800 - в обхват 800 MHz, тестови телефони на разстояние до 100 м от специалната апаратна на оборудването.
- тест 4-700 - в обхват 700 MHz, тестови телефони на разстояние над 1000 м от специалната апаратна на оборудването.
- тест 4-800 - в обхват 800 MHz, тестови телефони на разстояние над 1000 м от специалната апаратна на оборудването.
- Тест 5 - използвани станции „Ямбол“ и „Селата“ с изключени сектори на излъчване към с. Безмер.
- тест 5-700 - в обхват 700 MHz, използвани станции „Ямбол“; тестови телефони на територията на кординационната точка без покритие от БС.
- тест 5-800 - в обхват 800 MHz, използвани станции „Ямбол“; тестови телефони на територията на кординационната точка без покритие от БС.

РЕЗУЛТАТИ

1) За специализирано оборудване тип РСР-10 МН1:

- В обхвати 700 MHz и 800 MHz при провеждане на Изследване „тест 1-700“ и Изследване „тест 1-800“ оборудването на операторите ВЛИЯЕ на наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1.
- В обхват 700 MHz при провеждане на Изследване „тест 2-700“ оборудването на операторите ВЛИЯЕ на наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1.
- В обхват 800 MHz при провеждане на Изследване „тест 2-800“ оборудването на операторите НЕ ВЛИЯЕ на наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1.
- В обхвати 700 MHz и 800 MHz при провеждане на Изследване „тест 3“ оборудването на операторите ВЛИЯЕ на наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1.
- В обхвати 700 MHz и 800 MHz при провеждане на Изследване „тест 4“ оборудването на операторите НЕ ВЛИЯЕ на наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1.

➤ В обхват 700 MHz при провеждане на Изследване „тест 5-700“ оборудването на операторите НЕ ВЛИЯЕ на наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1.

➤ В обхват 800 MHz при провеждане на Изследване „тест 5-800“ оборудването на операторите НЕ ВЛИЯЕ на наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1.

Резултатите от проведеното изследване за електромагнитна съвместимост на наземните мобилни системи [201], в обхвати 700 MHz и 800 MHz и наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1 са представени таблица 32.

Таблица 32. Таблично представяне на резултатите.

№ по ред	Обхват	РЧЛ (MHz)	Използвана базова станция	Резултат	Забележка
	700 MHz	703-713 Uplink/758-768 Downlink	БС Екоplast – JAM0052	ИМА ВЛИЯНИЕ Не са регистрирани осъществяване на електронни съобщения Uplink / има регистрирани в Downlink	в режими Активен и СПЦ
		713-723 Uplink/768-778 Downlink			
		723-733 Uplink/778-788 Downlink			
	800 MHz	791-801 Downlink/832-842 Uplink	БС Екоplast – JAM0052	ИМА ВЛИЯНИЕ Регистрира се осъществяване на електронни съобщения в Downlink / няма регистрирани в Uplink	в режим Активен
		801-811 Downlink /842-852 Uplink			
		811-821 Downlink/852-862 Uplink			
	700 MHz	703-713/758-768	БС Екоplast – JAM0052	няма влияние	
		713-723/768-778			
		723-733/778-788			
	800 MHz	791-801/832-842	БС Екоplast – JAM0052	няма влияние	
		801-811/842-852			
		811-821/852-862			

В таблица 33 са представени резултати от данни/сканиране на мрежата.

Таблица 33. Резултати от данни/сканиране на мрежата

Scanner Results:	
Signal Strength	LTE (RSRP)
used to define LTE covered area, where to monitor KPI below:	> -110 dBm

Signal Quality LTE (RSRQ)	> -9
Signal Quality LTE (SINR)	> -12

UE / OSS results:	
RACH SSR	> 99 %
Call Setup Success Rate	> 98 %
Drop Call Rate	< 0,5 %
Handover Success Rate	> 95%
Overall CSFB SSR	> 96 %
LTE UL NACK Rate	< 10 %
LTE DL NACK Rate	< 10 %
Average UL interference	< -115 dBm
User Avg DL Throughput	> 30 Mbps
User Avg UL Throughput	> 10 Mbps

2) За специализирано оборудване тип РСБН-4Н:

- В обхват 700 MHz при провеждане на Изследване „тест 1-700” оборудването на операторите ВЛИЯЕ на наземното радионавигационно оборудване РСБН-4Н.
- В обхват 700 MHz при провеждане на Изследване „тест 2-700” оборудването на операторите НЕ ВЛИЯЕ на наземното радионавигационно оборудване РСБН-4Н.
- В обхват 800 MHz при провеждане на Изследване „тест 1-800” оборудването на операторите НЕ ВЛИЯЕ на наземното радионавигационно оборудване РСБН-4Н.
- В обхват 800 MHz при провеждане на Изследване „тест 2-800” оборудването на операторите ВЛИЯЕ на наземното радионавигационно оборудване РСБН-4Н.
- В обхвати 700 MHz и 800 MHz при провеждане на Изследване „тест 3“ оборудването на операторите НЕ ВЛИЯЕ на наземното радионавигационно оборудване РСБН-4Н.
- В обхват 700 MHz при провеждане на Изследване „тест 4-700” оборудването на операторите НЕ ВЛИЯЕ на наземното радионавигационно оборудване РСБН-4Н.
- В обхват 800 MHz при провеждане на Изследване „тест 4-800” оборудването на предприятията ВЛИЯЕ на наземното радионавигационно оборудване РСБН-4Н.
- В обхвати 700 MHz и 800 MHz при провеждане на Изследване „тест 5-700” и Изследване „тест 5-800” оборудването на операторите НЕ ВЛИЯЕ на наземното радионавигационно оборудване РСБН-4Н.

3) Оценка на валидацията

- За специализирано оборудване тип РСП-10 МН1

Изследването в обхват 700 MHz стартира с използване на базови станции на трите оператора с местоположение съгласно изследването.

При запускане на базовите станции по цялата развивка на индикатора на диспечерският радиолокатор в режими Активен и СПЦ се визуализира плътен конус с ширина от 5° в азимут 62° във всички мащаби, който се уплътнява (става по-ярък) и се разширява при осъществяване трансфер на данни между абонатни устройства (тестови телефони) и базовите станции.

Изследването в обхват 800 MHz се проведе с използване на базови станции на трите оператора с местоположение съгласно изследването.

При запускане на базовите станции по цялата развивка на индикатора на диспечерският радиолокатор в режим Активен се визуализират конуси в различни направления (азимут) във всички мащаби, които се уплътняват (става по-ярък) и се разширяват при осъществяване трансфер на данни между абонатни устройства (тестови телефони) и базовите станции.

В режим СПЦ влияние не се наблюдава.

След констатирането на смущения в работата на РСП-10 МН1 се премина към изпълнение на Фаза 2 от изследването с използване на отдалечени на по-голямо разстояние базови станции на трите оператора. Смущения в работата на РСП-10 МН1 не бяха констатирани.

При включване на всички базови станции и мобилни устройства на трите оператора в двата диапазона 700 и 800 MHz се визуализира плътен конус с ширина от 5° в азимут 62° в режим Активен, който се уплътнява (става по-ярък) и достига ширина до 10° при осъществяване трансфер на данни между абонатно устройство (тестов телефон) и базовата станция. В режим СПЦ се появява засвет на 2/3 от развивката на индикатора на диспечерският радиолокатор.

➤ За специализирано оборудване тип РСБН-4Н

Изследването се проведе с използване на базови станции на трите оператора с местоположение съгласно Фаза 1 на изследването, с последващо активиране и на тези от Фаза 2.

В приемния тракт на система РСБН-4Н при режим на работа на базовите станции, бе констатирано, че стрелката на микроаперметъра на блока на шифратора се отклонява и достига стойности превишаващи над 5 пъти в сравнение със стойностите при изключени базови станции. Достигането на такива стойности означава, че блока на шифратора се претоварва, в резултат на което се наблюдават „лъжливи“ отметки на индикатора за кръгов обзор (ИКО).

Тези влияния се регистрират и в двата обхвата - 700 MHz и 800 MHz.

Най-съществено е влиянието върху система РСБН-4Н при запускане и спиране на тестовите телефони. В таблица 4 са представени резултатите в табличен вид.

Таблица. 34. Таблично представяне на резултатите.

№ по ред	Обхват	РЧЛ (MHz)	Използвана базова станция	Резултат	Забележка
	700 MHz	703-713/758-768	Maslodaina – JAM0034	няма влияние	
		713-723/768-778			
		723-733/778-788			
	800 MHz	791-801/832-842	Maslodaina – JAM0034	има влияние	пик на тока до 30 µА в блока на шифратора и претоварване (запушване) на приемният тракт (двата приемника)
		801-811/842-852			
		811-821/852-862			
	700 MHz	703-713/758-768	Екоplast – JAM0052	има слабо влияние	малки отклонения на тока в блока на шифратора
		713-723/768-778			
		723-733/778-788			
	800 MHz	791-801/832-842	Екоplast – JAM0052	има влияние	претоварване (запушване) на приемният тракт (двата приемника) в голям интервал от време
		801-811/842-852	Екоplast – JAM0052		
		811-821/852-862	Екоplast – JAM0052		

Като се има предвид горепосоченото могат да бъдат обобщени следните резултати:

Влияние на наземните системи на трите оператора върху специалното наземно радионавигационно и радиолокационно оборудване:

- В обхват 700 MHz ВЛИЯЯТ на наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1 при използване на базови станции съгласно Фаза 1.
- В обхват 800 MHz ВЛИЯЯТ на наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1 при използване на базови станции съгласно Фаза 1.
- В обхват 700 MHz НЕ ВЛИЯЯТ на наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1 при използване на базови станции съгласно Фаза 2.
- В обхват 800 MHz НЕ ВЛИЯЯТ на наземното радиолокационно оборудване РСР-10 МН1 при използване на базови станции съгласно Фаза 2.
- В обхват 700 MHz НЕ ВЛИЯЯТ на наземното радионавигационно оборудване РСБН-4Н.
- В обхват 800 MHz ВЛИЯЯТ на наземното радионавигационно оборудване РСБН-4Н.

При продължителна съвместна работа в обхват 800 MHz на наземните системи на оператор 1, оператор 2 и оператор 3, и специалното наземно радионавигационно оборудване РСБН-4Н, последното не може да бъде допуснато като средство за осигуряване на работата на специалното оборудване. При съвместна работа в обхвати 700 MHz и 800 MHz на наземните системи на оператор 1, оператор 2 и оператор 3, съгласно Фаза 1 (близка зона) и специалното наземно радиолокационно оборудване РСР-10 МН1, последното не може да бъде допуснато като средство за осигуряване на работата на специалното оборудване. Констатираните влияния не могат да бъдат избегнати от страна на специалната апаратура чрез прилагане на организационно-технически мерки и/или пренастройка на системи РСБН-4Н и РСР-10 МН1.

В точка 4.10. от глава IV е изготвен анализ и изводи от изследванията. В резултат на извършените изследвания могат да се направят следните изводи:

При проведените изследвания бе установено, че оборудването на операторите оказва определено влияние върху специалното наземно радиолокационно оборудване РСР-10 МН1 и наземното радионавигационно оборудване РСБН-4Н. В приемния тракт на двете системи се констатира наличие на радиосигнал в двата диапазона с интензитет, който причинява следните влияния върху работата на:

- РСР 10 МН1 – върху електронно лъчевия индикатор за кръгов обзор се наблюдават сектори със широчина от 5 до 10 градуса в посока на излъчващите базови станции. При наличие в близост на мобилни устройства, се зашумява и близката зона около радара. В тези сектори/зони не може еднозначно да се определи наличието на въздушна цел и по този начин се нарушава безопасността и сигурността при ръководството на въздухоплаването;

- РСБН 4Н – двата приемника на системата се претоварват по входяща мощност, в резултат на което сработва защитата от пренапрежение и системата преминава в режим „Авария“. На електронно лъчевия екран се наблюдават множество фалшиви отметки, имитиращи нереални въздушни цели.

При стационарно разположените мобилни лаборатории до РСР-10 МН1 и до РСБН-4Н бяха измерени много ниски приемни нива от БС Екоplast – JAM0052 и няма обслужване от нея, както на 700 MHz така и на 800 MHz. По време на тестовете, заради техния обем, няма продължителна и непрекъсната работа на 2-те БС Maslodaina – JAM0034 и Екоplast – JAM0052 и не могат да се извадят релевантни КРІ.

При този сценарий не е възможно да се предават данни до въздушната цел за отдалечение от наземната станция.

В резултат от направените изследвания не може да се направи категорично заключение при какви условия може да се допусне използване на честотните ленти в

обхват 700 MHz и 800 MHz от операторите. Необходимо е провеждане на допълнителни изследвания, които да определят размера и вида на защитните зони, необходими, за да се осигури съвместната работа на специалното оборудване и съоръженията на операторите. Съвместна работа в обхвати 700 MHz и 800 MHz на наземните системи на операторите и специализираното наземно радиолокационно и радионавигационно оборудване е възможна при прилагане на технически ограничения от страна на операторите („санитарна зона“), постигнати в резултат на проведените изследвания.

В края на глава IV от дисертационният труд са представени общи изводи и заключения и приносни елементи.

ОБЩИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ КЪМ ГЛАВА IV

С направеното изследване на параметрите и радиотехническите характеристики на базираните специализирани радионавигационни и радиолокационни системи и мобилната система от пето поколение - 5G се определя пълна и ясна картина за реални изследователски постановки, норми и процедури при изследванията на радиочестотния спектър.

Предлагат се коректни начини за контрол и наблюдение на съвместната работа на базираните специализирани радионавигационни и радиолокационни системи и на мобилната система.

Правят се сравнения с актуални спецификации, норми и директиви на Европейския съюз, с които се постигат цялостни и коректни резултати от изследването.

Представят се особеностите при всяка една процедура на изследване на мобилната и специализираната системи и изискванията към апаратурата и материалната база.

ПРИНОСНИ ЕЛЕМЕНТИ КЪМ ГЛАВА ЧЕТВЪРТА

Основният принос в глава четвърта е разработването на методика за провеждане на симулационни изследвания за определяне на взаимното влияние между радиоелектронно оборудване на ползвателите на радиочестотен ресурс за смесено ползване.

Чрез методиката се описват правила, норми и процедури за изследване на най-важните параметри и характеристики при съвместното ползване на горепосочените телекомуникационни и специализирани радиокомуникационни системи. Разширява се обхвата и възможностите на ефективното и ефикасно използване на радиочестотния спектър, което е във връзка с разгръщането на новите радиокомуникационни и мобилни телекомуникационни услуги в общността. Също така с разработването на методиката показвам процедурата по установяване на възможността за съвместна работа в радиочестотни обхвати, предназначени за внедряване на 5G технологиите и наземно базираните радионавигационни, радиолокационни системи и бордно оборудване.

Настоящата методика е разработена, за да даде насоки и решения при конкретни измервателни постановки, които с подходящата измервателна апаратура биха могли да бъдат обект на реално изследване и анализ от страна на преподаватели и студенти на НБУ, както и от трети заинтересовани старни. Ще може да се придобие реална представа за постановките при взаимното влияние върху нормалното функциониране на радионавигационни (бордни и наземни) системи и радиоелектронна апаратура и мобилни терминали в радиочестотни обхвати 700 MHz и 800 MHz.

Извършените изследвания са особено важни по функционален принцип и съгласно своята взаимосвързаност, като дават пълна картина как се използва спектъра при радиокомуникационното оборудване от специален тип и как при мобилно телекомуникационно оборудване.

Глава IV от докторската работа завършва с насоки за бъдещи изследвания. Предлагат се теми за бъдещи изследвания в областта на планирането и разпределение на радиочестотния спектър в Република България, както следва:

1. Достъп и споделяне на динамичен спектър - Възможно е да се проучи потенциала за прилагане на технологии за динамичен достъп до спектър за подобряване на ефективността и използването на спектър. Това включва изучаване на рамки за споделяне на спектър и когнитивни радиотехнологии, които могат да се адаптират към промените в реално време в наличността на спектър.

2. Разпределение на 5G и извън спектър – Да се изследват стратегиите за разпределение на спектър за 5G и бъдещите 6G мрежи. Това изследване може да се съсредоточи върху идентифицирането на оптимални честотни ленти, оценка на въздействието върху съществуващите услуги и осигуряване на достатъчна честотна лента за нововъзникващи приложения като IoT и добавена реалност.

3. Рефериране и преразпределение на спектър – Да се анализира осъществимостта и въздействието на пренастройването на съществуващите честотни ленти за нови услуги. Това включва проучаване на техническите, регулаторни и икономически последици от преразпределянето на спектър от наследени системи към модерни приложения с голямо търсене.

4. Трансгранична координация на спектър – Да се изследват проблемите и да се формулират решения за трансгранична координация на радиочестотния спектър със съседните държави. Това изследване ще се занимава с управление на смущенията, хармонизиране на честотните ленти и рамки за сътрудничество за ефективно използване на спектър.

5. Управление на радиочестотния спектър за селски и отдалечени райони – Да се проучат персонализирани политики за управление на спектър за селски и отдалечени райони, за да преодолеете цифровото разделение. Това включва изследване на използването на нискочестотни ленти за свързаност на дълги разстояния и иновативни подходи за предоставяне на достъпни широколентови услуги.

6. Въздействие на нововъзникващите технологии върху политиката за радиочестотния спектър - Анализ на влиянието на нововъзникващите технологии като AI, машинно обучение и блокчейн върху управлението и политиката на спектър. Това изследване би могло да оцени как тези технологии могат да оптимизират разпределението на спектър, да подобрят мониторинга и да подобрят съответствието с нормативните изисквания.

7. Комуникации за обществена безопасност и спешни случаи – Да се анализират и оценят нуждите от радиочестотен спектър и стратегиите за разпределение за обществена безопасност и комуникационни услуги при спешни случаи. Това изследване е необходимо да разгледа изискванията за надеждни, устойчиви и оперативно съвместими комуникационни системи в кризисни ситуации.

8. Въздействие върху околната среда от използването на спектър - Да се изследва и анализира въздействието върху околната среда от използването на радиочестотния спектър и да се разработят методики и практики за устойчиво управление на спектър. Това включва оценка на потреблението на енергия от безжични мрежи, проучване на зелени комуникационни технологии и насърчаване на екологични политики за спектър.

Тези изследователски направления имат за цел да се справят, както с техническите, така и с регулаторните проблеми в управлението на спектър и да осигурят ефективното, справедливо и устойчиво използване на радиочестотния спектър в България.

ГЛАВА V ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Докторската работа завършва с глава V – Заключение. В тази глава се представя общо заключение обхващащо полето на работа в дисертационният труд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследването и планирането на радиочестотния спектър е една обширна област от телекомуникациите, която се развива с невероятни темпове.

Постоянно се появяват нови технологии и стандарти свързани с подобряване на качеството на предлаганите услуги, повишаване сигурността и надеждността на мрежите, което налага търсенето на свободен радиочестотен ресурс за тяхното ефективно използване.

Радиочестотният спектър е ценен ресурс в сферата на телекомуникациите, и непрекъснатото развитие на нови технологии и стандарти изисква постоянно търсене на свободни радиочестотни ресурси за ефективно използване.

Ключовите аспекти, според моите дългогодишни наблюдения, свързани с това са:

➤ Иновации в технологиите и стандартите - непрекъснатото развитие на технологиите, като 5G и Интернет на нещата (IoT) [210], изисква наличие на подходящи радиочестотни ленти за тяхното функциониране. Тези нови технологии често изискват допълнителни честотни ленти или спектър за постигане на своите потенциали [204].

➤ Изисквания за капацитет и скорост - увеличаването на трафика и изискванията за по-голям капацитет и по-високи скорости на предаване на данни налагат нуждата от допълнителни радиочестотни ресурси или оптимизация на използването на вече наличния спектър.

➤ Сигурност и надеждност на мрежите - за да се подобри сигурността и надеждността на мрежите, новите технологии често изискват специфични радиочестотни ресурси, които са по-подходящи за осигуряване на защита и стабилност на връзките.

➤ Регулаторни и спектрални политики - разработването на адаптивни и гъвкави регулаторни политики, които подпомагат ефективното и интелигентно използване на радиочестотния спектър, става все по-важно в контекста на бързото развитие на нови технологии.

➤ Изследване и планиране на спектъра - непрекъснатото изследване и планиране на радиочестотния спектър е от съществено значение. Това включва оценка на спектъра, идентифициране на свободни или недостатъчно използвани радиочестотни ленти и определяне на подходящите технологии за тяхното използване.

Този постоянен напредък в технологиите и стандартите налага известни трудности, но също така отваря и възможности за по-ефективно и иновативно използване на радиочестотния спектър за подобряване на комуникациите и услугите, предлагани на потребителите.

Дисертационният труд обхваща голяма част от радиочестотния спектър, който е актуален за използване към днешния ден.

Методите за неговото управление са насочени към осигуряване на ефективно и ефикасно използване на радиочестотния ресурс, задоволяване на потребителското търсене за нови качествени услуги и осигуряване на сигурна инвестиционна среда за бизнеса.

Следването на такъв подход води до насърчаване на конкуренцията, развитие на икономиката на страната и единния Европейски пазар в сектора на електронните съобщения.

ПРИНОСИ И НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ РЕЗУЛТАТИ

С изготвянето на дисертационният труд са постигнати следните приноси и научни и научно-приложни резултати въз основа на поставените основни цели и задачи в условията на Република България:

1) Задълбочено изследване и анализ относно намирането на механизъм за функциониране, препоръки за запазване на възможността за търгуване и лизинг на права за използване на радиочестотния спектър в определени честотни ленти.

2) Анализ на радиочестотния спектър в съответствие с установените европейски практики.

3) Детайлно изследване на радиочестотния спектър за наземни мрежи [14], включващи стационарни мрежи, кабелни мрежи, безжични наземни мрежи и др.

4) Анализ и изследване на ключови честоти и честотни обхвати, използвани за различни безжични комуникационни услуги и технологии.

5) Математически анализ на честотни ленти, които се управляват и регулират от националните органи и Европейската комисия, за да се осигури ефективно и координирано използване в европейските страни, позволявайки безпроблемни комуникационни услуги и технологичен напредък в региона.

6) Инвентаризация и математически анализ на радиочестотни обхвати 800 MHz (радиочестотна лента 790-862 MHz), 900 MHz (радиочестотни ленти 880-915 MHz и 925-960 MHz), 1800 MHz (радиочестотни ленти 1710-1785 и 1805-1880 MHz), 2 GHz (радиочестотни ленти 1920-1980 и 2110-2170 MHz) [35], 2.6 GHz (радиочестотна лента 2500-2690 MHz) и 3.6 GHz (радиочестотна лента 3400-3800 MHz), използвани от наземни мрежи [14].

7) Систематизиране на честотни обхвати и честотни ленти, които са от изключително значение за всяка група - честотна лента 790-862 MHz (честотен обхват 700 MHz), честотни ленти 880-915 MHz и 925-960 MHz (честотен обхват 900 MHz), 1710-1885 MHz и 1920-1980 MHz (честотен обхват 1800 MHz), честотна лента 2110-2170 MHz (честотен обхват 2 GHz), честотна лента 2.5-2.69 GHz - идентифицирана за внедряване на 4G и 5G, честотна лента 3.4-3.8 GHz - за внедряване на 5G технологии [196].

8) Систематизиране и изследване относно осигуряването на лоялна конкуренция, предотвратяване на натрупване на спектър и поддържане на съответствие с регулаторните стандарти и европейски насоки.

9) Изследване и анализ на добрите европейски практики на честотните обхвати (разгледани в глава първа) с оглед запазване на възможността за търговия и отдаване под наем на правата за ползване на радиочестотния спектър в следните честотни ленти: 790-862 MHz, 880-915 MHz, 925-960 MHz, 1710-1785 MHz, 1805-1880 MHz, 1920-1980 MHz [34], 2110-2170 MHz, 2.5-2.69 GHz и 3.4-3.8 GHz [197].

10) Формулирани са задачите относно изследванията и анализи на основните принципи при управлението и разпределението на радиочестотния спектър.

11) Систематизирани са техническите, регулаторни и организационни процедури, които да осигуряват ефикасното използване и ефективно управление на радиочестотния спектър.

12) Детайлно са изследвани и анализирани ефективността на настоящите практики за управление на спектъра, проучване на нови технологии и методологии за разпределяне и използване на спектъра и отчитане на въздействието на нововъзникващите технологии върху управлението на спектъра.

13) Изследвани и анализирани са методи и стратегии за управление на радиочестотния спектър.

14) Детайлно са изследвани и анализирани сценариите за споделен и динамичен достъп до спектъра, както и пазарните подходи.

15) Изследвано е използването на спектъра за когнитивно радио, за оптимизиране на устройствата да усещат и използват ефективно свободните честотни ленти въз основа на интелигентни радиосистеми и динамично да се адаптират към наличния спектър.

16) Обстойно е изследвана и анализирана Европейската политика разглеждаща радиочестотния спектър.

17) Анализирани са резултатите, проверката и контрола за спазването на действащите нормативни актове, наложените технически и експлоатационни изисквания и ограничения, свързани с използването на спектъра.

18) Изследвани и анализирани са най-добрите практики за гарантиране на ефикасността на използване на радиочестотните обхвати на международно ниво, като се дават предпоставки за разработване на съвместни методики за измерване на трансграничните замърсявания, за да се постигнат договорености със съседните страни.

- 19) Изследване на внедряването на съвременни безжични широколентови електронни съобщителни услуги.
- 20) Изследване на технологични нововъведения като 5G и IoT интеграция в областта на безжичните широколентови мрежи и услуги [205].
- 21) Формулиране на стратегии за внедряване и развитие на инфраструктурата на 5G.
- 22) Систематизиране на аспектите по управление на радиочестотния спектър, свързани с внедряване на 5G технологиите.
- 23) Формулиране на основните проблеми свързани с внедряването на 5G технологията.
- 24) Предлагане на подходи за планиране и управление на честотния спектър при внедряване на IoT технологията.
- 25) Изследване и обстоен анализ на ключовите аспекти, свързани с интегрирането на IoT в съвременни безжични широколентови мрежи.
- 26) Изследване и анализ на осигуряването на оперативна съвместимост между различни устройства и платформи за IoT интеграция.
- 27) Изследване и анализ на качеството на услугата (QoS) като важен аспект от внедряването на IoT технологията за различните приложения.
- 28) Изследване на енергийната ефективност като аспект при внедряването на IoT технологията.
- 29) Формулиране на проблем и предлагане на решения свързани с огромното количество данни, генерирани от IoT устройства.
- 30) Изследване на нормативната уредба и международните стандарти и съответствие относно внедряването на нови технологии.
- 31) Изследване и анализ на ключовите аспекти на оперативното управление относно внедряване на услуга или технология.
- 32) Изготвен математически анализ и модели на смущения в нововъзникващи мрежи и техника.
- 33) Оценка на наличните спектрални ресурси, конкуренция за честотни ленти, интерференции, спектрална ефективност и други.
- 34) Систематизация на различните радиочестотни ленти спрямо техните характеристики, специфика и приложения.
- 35) Имплементиране на методи и подходи за оптимизиране на съвместното използване на радиочестотни ресурси между различни системи и оператори.
- 36) Разработване на методика за провеждане на симулационни изследвания за определяне на взаимното влияние между радиоелектронно оборудване на ползвателите на радиочестотен ресурс за смесено ползване.
- 37) Резултати от проведени тестове и изследване за електромагнитната съвместимост на наземни мобилни системи в обхвати 700 MHz и 800 MHz и специализирано наземно радиолокационно и радионавигационно оборудване.

ПУБЛИКАЦИИ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯТ ТРУД

- [1.] T. Pasarelska, P. Tzvetkov, R. Pasarelski, "Research approach and spectrum allocation analysis for 5G network development", 33rd International Scientific Symposium

Metrology and Metrology Assurance 2023, p. 15-20, ISSN 2603-3194, 7-11 September, 2023.

- [2.]R. Pasarelski, T. Stefanova, T. Pasarelska, Analiz na upravlenieto na mobilnostta v 5G mobilni kletachni mrezi, Sbornik statii ot nauchna konferentsia „ZNANIE, NAUKA, INOVATSII, TEHNOLOGII”, 28 april 2023 godina, str. 586-601, ISSN 2815-3480, Veliko Tarnovo, 2023
- [3.]R. Pasarelski, T. Pasarelska, Izsledvane na mrezhovite funktsii i referentnata arhitektura na 5G mobilni sistemi, Sbornik statii ot nauchna konferentsia „ZNANIE,NAUKA,INOVATSII,TEHNOLOGII”, str. 388-400, ISSN 2815-3480, 6-7 juli 2023 godina, Veliko Tarnovo, 2023
- [4.]T. Pasarelska, R. Pasarelski, The key moment in the genesis of mobile cellular systems. Control of radio links in Universal Mobile Cellular Systems, Yearbook Telecommunications 2022, vol. 9, p. 69-77 eISSN 2534-854X <https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii>, doi: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.22.9.7>
- [5.]R. Pasarelski, T. Pasarelska, Izsledvane na fazite za mrezhovo planirane na mobilni kletachni mrezi, Nauchno spisanie „Industrialni tehnologii“ tom 9, str. 122-130 Izdatelski kompleks na universitet „Prof. d-r Asen Zlatarov“, ISSN 1314-9911, Burgas, 2022
- [6.]R. Pasarelski, T. Pasarelska, Izsledvane na femtokletachni tehnologii za mobilni kletachni mrezi, Yearbook Telecommunications 2022, vol. 9, p. 53-59 eISSN 2534-854X, <https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii>, doi: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.22.9.5>, 2022

ИЗПОЛЗВАНА БИБЛИОГРАФИЯ И ИЗТОЧНИЦИ НА ИНФОРМАЦИЯ:

- [1.]ITU –R Recommendations M series.
- [2.]CEPT CPG “Report on WRC-2019”.
- [3.]UMTS Forum, Spectrum Aspects Group, “The Results of WRC-2019 (in the IMT-2000 context”), UMTS Forum Meeting.
- [4.]Национален план за разпределение на радиочестотния спектър в Република България.

- [5.] Държавна политика по планиране и разпределение на радиочестотния спектър в Република България.
- [6.] Регулаторна политика за управление на радиочестотния спектър.
- [7.] Правила за свободно използване на радиочестотния спектър.
- [8.] Правила за използване на радиочестотния спектър след регистрация.
- [9.] Правила за взаимодействие със заинтересованите предприятия при осъществяване на заявяване, международно координиране и регистриране в международни организации по електронни съобщения на позиции на геостационарната орбита със съответния радиочестотен спектър и на радиочестотен спектър, използван за негеостационарна спътникова система, и за ред на заплащане на такси, определени с международен акт.
- [10.] Правила за използване на радиочестотния спектър за електронни съобщителни мрежи от неподвижна радиослужба след издаване на разрешение.
- [11.] Правила за използване на радиочестотния спектър за производствени нужди след издаване на разрешение.
- [12.] Правила за използване на радиочестотен спектър за радиосъоръжения от любителска радиослужба.
- [13.] Правила за използване на радиочестотен спектър от електронни съобщителни мрежи от радиослужба радиоразпръскване.
- [14.] Правила за използване на радиочестотен спектър за наземни мрежи, позволяващи предоставяне на електронни съобщителни услуги след издаване на разрешение.
- [15.] Правила за реда за осигуряване на достъп до електронни съобщителни услуги чрез мрежите за наземно цифрово радиоразпръскване и за осигуряване на електронни съобщителни услуги, предназначени за лица със слухови и зрителни увреждания чрез тези мрежи.
- [16.] Commission Implementing Regulation (EU) 2020/1070 of 20 July 2020 on specifying the characteristics of small-area wireless access points pursuant to Article 57 paragraph 2 of Directive (EU) 2018/1972 of the European Parliament and the Council establishing the European Electronic Communications Code.
- [17.] Directive (EU) 2018/1972 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 establishing the European Electronic Communications Code.
- [18.] Decision No 243/2012/EU of the European Parliament and of the Council of 14 March 2012 establishing a multiannual radio spectrum policy programme.

- [19.] Decision No 626/2008/EC of the European Parliament and of the Council of 30 June 2008 on the selection and authorisation of systems providing mobile satellite services (MSS).
- [20.] Directive 2009/114/EC of the European Parliament and of the Council amending Council Directive 87/372/EEC on the frequency bands to be reserved for the coordinated introduction of public pan-European cellular digital land-based mobile communications in the Community.
- [21.] Commission Directive 2002/77/EC of 16 September 2002 on competition in the markets for electronic communications networks and services (Text with EEA relevance.
- [22.] Council Directive 91/287/EEC on the frequency band to be designated for the coordinated introduction of digital European Cordless Telecommunications (DECT) in the Community.
- [23.] Council Directive 87/372/EEC on the frequency bands to be reserved for the coordinated introduction of public pan-European cellular digital land-based mobile communications in the Community (GSM).
- [24.] Commission Implementing Decision (EU) 2022/2307 amending Implementing Decision (EU) 2022/179 as regards designating and making available the 5 150-5 250 MHz, 5 250-5 350 MHz and 5 470-5 725 MHz frequency bands in accordance with the technical conditions set out in the Annex.
- [25.] Commission Implementing Decision (EU) 2022/2324 amending Decision 2008/294/EC, to include additional access technologies and measures for the operation of mobile communications services on aircraft (MCA services) in the Union.
- [26.] Commission Implementing Decision (EU) 2022/179 on the harmonised use of radio spectrum in the 5 GHz frequency band for the implementation of wireless access systems including radio local area networks.
- [27.] Commission Implementing Decision (EU) 2022/180 as regards the update of harmonised technical conditions in the area of radio spectrum use for short-range devices.
- [28.] Commission Implementing Decision (EU) 2022/172 on the harmonisation of radio spectrum for use by short-range devices within the 874-876 and 915-921 MHz frequency bands.
- [29.] Commission Implementing Decision (EU) 2022/173 on the harmonisation of the 900 MHz and 1800 MHz frequency bands for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Union.
- [30.] Commission Implementing Decision (EU) 2021/1730 on the harmonised use of the paired frequency bands 874.4-880.0 MHz and 919.4-925.0 MHz and of the unpaired frequency band 1900-1910 MHz for Railway Mobile Radio.

- [31.] Commission Decision (EU) 2021/1038 granting a transitional period to the Kingdom of the Netherlands pursuant to Decision 2008/477/EC as regards an update of relevant technical conditions applicable to the 2500-2690 MHz frequency band.
- [32.] Commission Implementing Decision (EU) 2021/1067 on the harmonised use of radio spectrum in the 5945-6425 MHz frequency band for the implementation of wireless access systems including radio local area networks (WAS/RLANs). Implementation table (27/02/2023).
- [33.] Commission Implementing Decision (EU) 2020/1426 of 7 October 2020 on the harmonised use of radio spectrum in the 5875-5935 MHz frequency band for safety-related applications of intelligent transport systems (ITS) and repealing Decision 2008/671/EC. Implementation table (12/01/2023).
- [34.] Commission Implementing Decision (EU) 2020/636 of 8 May 2020 amending Decision 2008/477/EC as regards an update of relevant technical conditions applicable to the 2 500–2 690 MHz frequency band. Implementation table (23/03/2022).
- [35.] Commission Implementing Decision (EU) 2020/667 of 6 May 2020 amending Decision 2012/688/EU as regards an update of relevant technical conditions applicable to the frequency bands 1920-1980 MHz and 2110-2170 MHz. Implementation table (23/03/2022).
- [36.] Commission Implementing Decision (EU) 2020/590 of 24 April 2020 amending Decision (EU) 2019/784 as regards an update of relevant technical conditions applicable to the 24.25-27.5 GHz frequency band.
- [37.] Commission Implementing Decision (EU) 2019/1345 of 2 August 2019 amending Decision 2006/771/EC updating harmonised technical conditions in the area of radio spectrum use for short-range devices. Implementation table (23/03/2022).
- [38.] Commission Implementing Decision (EU) 2019/784 of 14 May 2019 on harmonisation of the 24.25-27.5 GHz frequency band for terrestrial systems capable of providing wireless broadband electronic communications services in the Union. Implementation table (23/03/2022).
- [39.] Commission Implementing Decision (EU) 2019/785 of 14 May 2019 on the harmonisation of radio spectrum for equipment using ultra-wideband technology in the Union and repealing Decision 2007/131/EC. Implementation table (23/03/2022).
- [40.] Commission Implementing Decision (EU) 2019/235 on amending Decision 2008/411/EC as regards an update of relevant technical conditions applicable to the 3400-3800 MHz frequency band. Implementation table (23/03/2022).

- [41.] Commission Implementing Decision (EU) 2018/1538 on the harmonisation of radio spectrum for use by short-range devices within the 874-876 and 915-921 MHz frequency bands. Implementation table (15/01/2020).
- [42.] Commission Implementing Decision (EU) 2018/661 amending Implementing Decision (EU) 2015/750 on the harmonisation of the 1452-1492 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Union as regards its extension in the harmonised 1427-1452 MHz and 1492-1517 MHz frequency bands. Implementation table (15/01/2020).
- [43.] Commission Implementing Decision (EU) 2018/637 amending Decision 2009/766/EC on the harmonisation of the 900 MHz and 1800 MHz frequency bands for terrestrial systems capable of providing pan-European electronic communications services in the Community as regards relevant technical conditions for the Internet of Things. Implementation table (21/03/2022).
- [44.] Commission Implementing Decision (EU) 2017/2077 amending Decision 2005/50/EC on the harmonisation of the 24 GHz range radio spectrum band for the time-limited use by automotive short-range radar equipment in the Community. Implementation table (15/01/2020).
- [45.] Commission Implementing Decision (EU) 2017/1483 amending Decision 2006/771/EC on harmonisation of the radio spectrum for use by short-range devices and repealing Decision 2006/804/EC.
- [46.] Commission Implementing Decision (EU) 2017/191 of 1 February 2017 amending Decision 2010/166/EU, in order to introduce new technologies and frequency bands for mobile communication services on board vessels (MCV services) in the European Union. Implementation table (15/01/2020).
- [47.] Commission Implementing Decision (EU) 2016/2317 amending Decision 2008/294/EC and Implementing Decision 2013/654/EU, in order to simplify the operation of mobile communications on board aircraft (MCA services) in the Union. Implementation table (15/01/2020).
- [48.] Commission Decision C(2016) 4973 granting a derogation to the Republic of Malta pursuant to Decision N°243/2012/EU of the European Parliament and of the Council establishing a multiannual radio spectrum policy programme.
- [49.] Commission Implementation Decision (EU) 2016/687 on the harmonisation of the 694-790 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing wireless broadband electronic communications services and for flexible national use in the Union.

- [50.] Commission Implementing Decision (EU) 2016/339 on the harmonisation of the 2 010-2 025 MHz frequency band for portable or mobile wireless video links and cordless cameras used for programme making and special events.
- [51.] Commission Implementing Decision (EU) 2015/750 on the harmonisation of the 1452-1492 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Union.
- [52.] Commission Implementing Decision 2014/641/EU on harmonised technical conditions of spectrum use by programme making and special events (PMSE) equipment.
- [53.] The Commission Implementing Decision 2014/276/EU amending the Decision 2008/411/EC on the harmonisation of the 3400-3800 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Community.
- [54.] Commission Implementing Decision 2013/752/EU amending Decision 2006/771/EC on harmonisation of the radio spectrum for use by short-range devices and repealing Decision 2005/928/EC - Explanatory document.
- [55.] Commission Implementing Decision 2013/654/EU amending Commission Decision 2008/294/EC to include additional access technologies and frequency bands for mobile communications services on aircraft (MCA services).
- [56.] Commission Implementing Decision 2013/195/EU defining the practical arrangements, uniform formats and a methodology in relation to the radio spectrum inventory established by Decision No 243/2012/EU of the European Parliament and of the Council establishing a multiannual radio spectrum policy programme.
- [57.] Commission Implementing Decision 2012/688/EU on the harmonisation of the frequency bands 1920-1980 MHz and 2110-2170 MHz for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Union.
- [58.] Decision 243/2012/EU of the European Parliament and of the Council establishing a multi-annual radio spectrum policy programme (RSPP).
- [59.] Commission Decision 2011/829/EU amending Decision 2006/771/EC on harmonisation of the radio spectrum for use by short-range devices.
- [60.] Commission Decision 2011/485/EU amending Decision 2005/50/EC of 17 January 2005 on the harmonisation of the 24 GHz range radio spectrum band for the time-limited use by automotive short-range radar equipment in the Community.
- [61.] Commission Decision 2011/251/EU amending Decision 2009/766/EC on the harmonisation of the 900 MHz and 1800 MHz frequency bands for terrestrial systems

capable of providing pan-European electronic communications services in the Community.

[62.] Documents associated with the Commission proposal for radio spectrum policy programme (RSPP) - Press Release / Memo / Executive Summary of the Impact Assessment.

[63.] Commission Recommendation 2010/572/EU of 20 September 2010 on regulated access to Next Generation Access Networks (NGA) Communication COM/2010/472 from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.

[64.] Commission Decision 2010/368/EU amending Decision 2006/771/EC on harmonisation of the radio spectrum for use by short-range devices Explanatory

[65.] document, Implementation table (18/11/2011)
(See above for the latest amendment of the Decision).

[66.] Commission Decision 2010/267/EU on harmonised technical conditions of use in the 790-862 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the European Union.

[67.] Commission Decision 2010/194/EU amending Decision 2009/1/EC granting a derogation requested by the Republic of Bulgaria pursuant to Decision 2008/477/EC on the harmonisation of the 2500 - 2690 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Community.

[68.] Commission Decision 2010/166/EU on harmonised conditions of use of radio spectrum for mobile communication services on board vessels (MCV services) in the European Union.

[69.] Commission Decision 2009/978/EC amending Decision 2002/622/EC establishing a Radio Spectrum Policy Group.

[70.] Commission Decision 2009/766/EC on the harmonisation of the 900 MHz and 1800 MHz frequency bands for terrestrial systems capable of providing pan-European electronic communications services in the Community - Press release / Implementation table (30/09/2011)

(See above for the latest amendment of the Decision).

[71.] Commission Decision 2009/740/EC granting a derogation to France pursuant to Decision 2008/477/EC on the harmonisation of the 2500 - 2690 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Community.

- [72.] Commission Decision 2009/381/EC amending Decision 2006/771/EC on harmonisation of the radio spectrum for use by short-range devices.
- [73.] Commission Decision 2009/159/EC granting a derogation to Austria pursuant to Decision 2008/671/EC on the harmonised use of radio spectrum in the 5875-5905 MHz frequency band for safety-related applications of Intelligent Transport Systems (ITS).
- [74.] Commission Decision 2009/1/EC granting a derogation requested by the Republic of Bulgaria pursuant to Decision 2008/477/EC on the harmonisation of the 2500-2690 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Community. Amended by Commission Decision 2010/194/EU.
- [75.] Commission Decision 2008/673/EC amending Decision 2005/928/EC on the harmonisation of the 169.4-169.8125 MHz frequency band in the Community.
- [76.] Commission Decision 2008/671/EC on the harmonised use of radio spectrum in the 5875-5905 MHz frequency band for safety related applications of Intelligent Transport Systems (ITS). Related Document: Commission Decision 2009/159/EC granting a derogation to Austria pursuant to Decision 2008/671/EC on the harmonised use of radio spectrum in the 5875-5905 MHz frequency band for safety-related applications of Intelligent Transport Systems (ITS).
- [77.] Commission Decision 2008/477/EC on the harmonisation of the 2500-2690 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Community - Implementation table (15/09/2010).
- [78.] Commission Decision 2008/432/EC amending Commission Decision 2006/771/EC on harmonisation of the radio spectrum for use by short-range devices (SRD).
- [79.] Commission Decision 2008/411/EC on the harmonisation of the 3400 - 3800 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Community.
- [80.] Commission Decision 2008/294/EC on harmonised conditions of spectrum use for the operation of mobile communication services on aircraft (MCA services) in the Community (final text) See also the Recommendation.
- [81.] Commission Decision 2007/344/EC on harmonised availability of information regarding spectrum use within the Community.
- [82.] Commission Decision 2007/346/EC granting a derogation requested by France pursuant to Commission Decision 2006/804/EC on harmonisation of the radio spectrum for radio frequency identification (RFID) devices operating in the ultra-high frequency (UHF) band.

- [83.] Commission Decision 2007/98/EC on the harmonised use of radio spectrum in the 2 GHz frequency bands for the implementation of systems providing mobile satellite services.
- [84.] Commission Decision 2007/90/EC amending Decision 2005/513/EC on the harmonised use of radio spectrum in the 5 GHz frequency band for the implementation of Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks (WAS/RLANs) .
- [85.] Commission Decision 2006/804/EC on harmonisation of the radio spectrum for radio frequency identification (RFID) devices operating in the ultra-high frequency (UHF) band
Related Decision: Commission Decision 2007/346/EC granting a derogation requested by France pursuant to Commission Decision 2006/804/EC on harmonisation of the radio spectrum for radio frequency identification (RFID) devices operating in the ultra-high frequency (UHF) band.
- [86.] Commission Decision 2006/771/EC on the harmonisation of the radio spectrum for use by short-range devices (SRD).
- [87.] Related Decisions: Commission Decision 2009/812/EC granting a derogation requested by France pursuant to Decision 2006/771/EC on harmonisation of the radio spectrum for use by short-range devices.
Commission Decision 2007/346/EC granting a derogation requested by France pursuant to Commission Decision 2006/804/EC on harmonisation of the radio spectrum for radio frequency identification (RFID) devices operating in the ultra-high frequency (UHF) band.
- [88.] Commission Decision 2005/928/EC on the harmonisation of the 169,4-169,8125 MHz frequency band in the Community (frequency band originally designated for the ERMES paging system).
- [89.] Commission Decision 2005/513/EC on the Harmonised use of radio spectrum in the 5 GHz frequency band for the implementation of Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks (WAS/RLANs). Related Document: Commission Recommendation 2003/203/EC on the harmonisation of the provision of public R-LAN access to public electronic communications networks and services in the Community (OJ L 78, 25.03.2003).
- [90.] Commission Decision 2005/50/EC on the harmonisation of the 24 GHz range radio spectrum band for the time-limited use by automotive short-range radar equipment in the Community.
- [91.] Commission Decision 2004/545/EC on the harmonisation of radio spectrum in the 79 GHz range for the use of automotive short-range radar equipment in the Community.

- [92.] Commission Decision 2002/622/EC establishing a Radio Spectrum Policy Group.
- [93.] Decision 676/2002/EC of the European Parliament and of the Council on a regulatory framework for radio spectrum policy in the European Community (Radio Spectrum Decision).
- [94.] RESOLUTION 7 (REV.WRC-19) Development of national radiofrequency management.
- [95.] RESOLUTION 12 (REV.WRC-19) Assistance and support to Palestine
- [96.] 205 RESOLUTION 22 (WRC-19) Measures to limit unauthorized uplink transmissions from earth stations.
- [97.] RESOLUTION 26 (REV.WRC-19) Footnotes to the Table of Frequency Allocations in Article 5 of the Radio Regulations.
- [98.] RESOLUTION 27 (REV.WRC-19) Use of incorporation by reference in the Radio Regulations.
- [99.] RESOLUTION 32 (WRC-19) Regulatory procedures for frequency assignments to non-geostationary-satellite networks or systems identified as short-duration mission not subject to the application of Section II of Article 9.
- [100.] RESOLUTION 34 (REV.WRC-19) Establishment of the broadcastingsatellite service in Region 3 in the frequency band 12.5-12.75 GHz and sharing with space and terrestrial services in Regions 1, 2 and 3.
- [101.] RESOLUTION 35 (WRC-19) A milestone-based approach for the implementation of frequency assignments to space stations in a non-geostationary-satellite system in specific frequency bands and services.
- [102.] RESOLUTION 40 (REV.WRC-19) Use of one space station to bring frequency assignments to geostationary-satellite networks at different orbital locations into use within a short period of time.
- [103.] RESOLUTION 42 (Rev.WRC-19) Use of interim systems in Region 2 in the broadcasting-satellite and fixed-satellite (feederlink) services in Region 2 for the frequency bands covered by Appendices 30 and 30A.
- [104.] RESOLUTION 49 (Rev.WRC-19) Administrative due diligence applicable to some satellite radiocommunication services.
- [105.] RESOLUTION 55 (REV.WRC-19) Electronic submission of notice forms for satellite networks, earth stations and radio astronomy stations.
- [106.] RESOLUTION 122 (REV.WRC-19) Use of the frequency bands 47.2- 47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz by high-altitude platform stations in the fixed service.

- [107.] RESOLUTION 143 (REV.WRC-19) Guidelines for the implementation of high-density applications in the fixed-satellite service in frequency bands identified for these applications.
- [108.] RESOLUTION 145 (REV.WRC-19) Use of the frequency band 27.9- 28.2 GHz by high-altitude platform stations in the fixed service.
- [109.] RESOLUTION 165 (WRC-19) Use of the frequency band 21.4-22 GHz by high-altitude platform stations in the fixed service in Region 2.
- [110.] RESOLUTION 167 (WRC-19) Use of the frequency band 31-31.3 GHz by high-altitude platform stations in the fixed service.
- [111.] RESOLUTION 168 (WRC-19) Use of the frequency band 38-39.5 GHz by high-altitude platform stations in the fixed service.
- [112.] RESOLUTION 169 (WRC-19) Use of the frequency bands 17.7-19.7 GHz and 27.5-29.5 GHz by earth stations in motion communicating with geostationary space stations in the fixed-satellite service.
- [113.] RESOLUTION 170 (WRC-19) Additional measures for satellite networks in the fixed-satellite service in frequency bands subject to Appendix 30B for the enhancement of equitable access to these frequency bands.
- [114.] RESOLUTION 171 (WRC-19) Review and possible revision of Resolution 155 (Rev.WRC-19) and No. 5.484B in the frequency bands to which they apply.
- [115.] RESOLUTION 172 (WRC-19) Operation of earth stations on aircraft and vessels communicating with geostationary space stations in the fixed-satellite service in the frequency band 12.75-13.25 GHz (Earth-to-space).
- [116.] RESOLUTION 173 (WRC-19) Use of the frequency bands 17.7-18.6 GHz, 18.8-19.3 GHz and 19.7-20.2 GHz (space-to-Earth) and 27.5-29.1 GHz and 29.5-30 GHz (Earth-to-space) by earth stations in motion communicating with non-geostationary space stations in the fixed-satellite service.
- [117.] RESOLUTION 175 (WRC-19) Use of International Mobile Telecommunications systems for fixed wireless broadband in the frequency bands allocated to the fixed service on a primary basis.
- [118.] RESOLUTION 176 (WRC-19) Use of the frequency bands 37.5-39.5 GHz (space-to-Earth), 40.5-42.5 GHz (space-to-Earth), 47.2-50.2 GHz (Earth-to-space) and 50.4-51.4 GHz (Earth-to-space) by aeronautical and maritime earth stations in motion communicating with geostationary space stations in the fixed-satellite service.
- [119.] RESOLUTION 177 (WRC-19) Studies relating to spectrum needs and possible allocation of the frequency band 43.5-45.5 GHz to the fixed-satellite service.

- [120.] RESOLUTION 178 (WRC-19) Studies of technical and operational issues and regulatory provisions for non-geostationary fixed-satellite service satellite system feeder links in the frequency bands 71-76 GHz (space-to-Earth and proposed new Earth-to-space) and 81-86 GHz (Earth-to-space).
- [121.] RESOLUTION 205 (REV.WRC-19) Protection of systems operating in the mobile-satellite service in the frequency band 406-406.1 MHz.
- [122.] RESOLUTION 212 (REV.WRC-19) Implementation of International Mobile Telecommunications in the frequency bands 1 885-2 025 MHz and 2 110-2 200 MHz.
- [123.] RESOLUTION 223 (REV.WRC-19) Additional frequency bands identified for International Mobile Telecommunications.
- [124.] RESOLUTION 224 (REV.WRC-19) Frequency bands for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications below 1 GHz.
- [125.] RESOLUTION 229 (REV.WRC-19) Use of the frequency bands 5 150-5 250 MHz, 5 250-5 350 MHz and 5 470-5 725 MHz by the mobile service for the implementation of wireless access systems including radio local area networks.
- [126.] RESOLUTION 240 (WRC-19) Spectrum harmonization for railway radiocommunication systems between train and trackside within the existing mobile-service allocations.
- [127.] RESOLUTION 241 (WRC-19) Use of the frequency band 66-71 GHz for International Mobile Telecommunications and coexistence with other applications of the mobile service.
- [128.] RESOLUTION 242 (WRC-19) Terrestrial component of International Mobile Telecommunications in the frequency band 24.25-27.5 GHz.
- [129.] RESOLUTION 243 (WRC-19) Terrestrial component of International Mobile Telecommunications in the frequency bands 37-43.5 GHz and 47.2-48.2 GHz.
- [130.] RESOLUTION 244 (WRC-19) International Mobile Telecommunications in the frequency band 45.5-47 GHz.
- [131.] RESOLUTION 245 (WRC-19) Studies on frequency-related matters for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications identification in the frequency bands 3 300-3 400 MHz, 3 600-3 800 MHz, 6 425-7 025 MHz, 7 025-7 125 MHz and 10.0-10.5 GHz.
- [132.] RESOLUTION 246 (WRC-19) Studies to consider possible allocation of the frequency band 3 600-3 800 MHz to the mobile, except aeronautical mobile, service on a primary basis within Region 1.

- [133.] RESOLUTION 247 (WRC-19) Facilitating mobile connectivity in certain frequency bands below 2.7 GHz using high-altitude platform stations as International Mobile Telecommunications base stations.
- [134.] RESOLUTION 248 (WRC-19) Studies relating to spectrum needs and potential new allocations to the mobile-satellite service in the frequency bands 1 695-1 710 MHz, 2 010- 2 025 MHz, 3 300-3 315 MHz and 3 385-3 400 MHz for future development of narrowband mobile-satellite systems.
- [135.] RESOLUTION 249 (WRC-19) Study of technical and operational issues and regulatory provisions for space-to-space transmissions in the Earth-to-space direction in the frequency bands [1 610-1 645.5 and 1 646.5- 1 660.5 MHz] and the space-to-Earth direction in the frequency bands [1 525-1 544 MHz], [1 545-1 559 MHz], [1 613.8-1 626.5 MHz] and [2 483.5-2 500 MHz] among non-geostationary and geostationary satellites operating in the mobile-satellite service.
- [136.] RESOLUTION 250 (WRC-19) Studies on possible allocations to the land mobile service (excluding International Mobile Telecommunications) in the frequency band 1 300- 1 350 MHz for use by administrations for the future development of terrestrial mobile-service applications.
- [137.] RESOLUTION 251 (WRC-19) Removal of the limitation regarding aeronautical mobile in the frequency range 694- 960 MHz for the use of International Mobile Telecommunications user equipment by non-safety applications.
- [138.] RESOLUTION 344 (REV.WRC-19) Management of the maritime identity numbering resource.
- [139.] RESOLUTION 349 (REV.WRC-19) Operational procedures for cancelling false distress alerts in the Global Maritime Distress and Safety System
- [140.] RESOLUTION 356 (REV.WRC-19) ITU maritime service information registration.
- [141.] RESOLUTION 361 (REV.WRC-19) Consideration of possible regulatory actions to support modernization of the Global Maritime Distress and Safety System and the implementation of e-navigation.
- [142.] RESOLUTION 363 (WRC-19) Considerations to improve utilization of the VHF maritime frequencies in Appendix 18.
- [143.] RESOLUTION 418 (REV.WRC-19) Use of the frequency band 5 091- 5 250 MHz by the aeronautical mobile service for telemetry applications.
- [144.] RESOLUTION 425 (REV.WRC-19) Use of the frequency band 1 087.7- 1 092.3 MHz by the aeronautical mobile-satellite (R) service (Earth-to-space) to facilitate global flight tracking for civil aviation.

- [145.] RESOLUTION 427 (WRC-19) Updating provisions related to aeronautical services in the Radio Regulations.
- [146.] RESOLUTION 428 (WRC-19) Studies on a possible new allocation to the aeronautical mobile-satellite (R) service within the frequency band 117.975-137 MHz in order to support aeronautical VHF communications in the Earth-to-space and space-to-Earth directions.
- [147.] RESOLUTION 429 (WRC-19) Consideration of regulatory provisions for updating Appendix 27 of the Radio Regulations in support of aeronautical HF modernization.
- [148.] RESOLUTION 430 (WRC-19) Studies on frequency-related matters, including possible additional allocations, for the possible introduction of new non-safety aeronautical mobile applications.
- [149.] RESOLUTION 507 (REV.WRC-19) Establishment of agreements and associated plans for the broadcasting-satellite service .. 405 RESOLUTION 517 (REV.WRC-19) Introduction of digitally modulated emissions in the high-frequency bands between 3 200 kHz and 26 100 kHz allocated to the broadcasting service.
- [150.] RESOLUTION 528 (REV.WRC-19) Introduction of broadcasting-satellite service (sound) systems and complementary terrestrial broadcasting in the frequency bands allocated to these services within the frequency range 1-3 GHz..
- [151.] RESOLUTION 535 (REV.WRC-19) Information needed for the application of Article 12 of the Radio Regulations.
- [152.] RESOLUTION 539 (REV.WRC-19) Use of the frequency band 2 605- 2 655 MHz in certain Region 3 countries by nongeostationary-satellite systems in the broadcastingsatellite service (sound).
- [153.] RESOLUTION 543 (REV.WRC-19) Provisional RF protection ratio values for analogue and digitally modulated emissions in the high-frequency broadcasting service.
- [154.] RESOLUTION 550 (REV.WRC-19) Information relating to the highfrequency broadcasting service.
- [155.] RESOLUTION 552 (REV.WRC-19) Long-term access to and development in the frequency band 21.4-22 GHz in Regions 1 and 3.
- [156.] RESOLUTION 558 (WRC-19) Protection of implemented broadcastingsatellite service networks in the orbital arc of the geostationary-satellite orbit between 37.2° W and 10° E in the frequency band 11.7-12.2 GHz
- [157.] RESOLUTION 559 (WRC-19) Additional temporary regulatory measures following the deletion of part of Annex 7 to Appendix 30 (Rev.WRC-15) by WRC-19.

- [158.] RESOLUTION 608 (REV.WRC-19) Use of the frequency band 1 215- 1 300 MHz by systems of the radionavigation-satellite service (space-to-Earth).
- [159.] RESOLUTION 610 (REV.WRC-19) Coordination and bilateral resolution of technical compatibility issues for radionavigation-satellite service networks and systems in the frequency bands 1 164-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz and 5 010- 5 030 MHz.
- [160.] RESOLUTION 646 (REV.WRC-19) Public protection and disaster relief.
- [161.] RESOLUTION 647 (REV.WRC-19) Radiocommunication aspects, including spectrum-management guidelines, for early warning, disaster prediction, detection, mitigation and relief operations relating to emergencies and disasters.
- [162.] RESOLUTION 656 (REV.WRC-19) Possible secondary allocation to the Earth exploration-satellite service (active) for spaceborne radar sounders in the range of frequencies around 45 MHz.
- [163.] RESOLUTION 657 (REV.WRC-19) Protection of radio spectrum-reliant space weather sensors used for global prediction and warnings.
- [164.] RESOLUTION 660 (WRC-19) Use of the frequency band 137-138 MHz by non-geostationary satellites with short-duration missions in the space operation service.
- [165.] RESOLUTION 661 (WRC-19) Examination of a possible upgrade to primary status of the secondary allocation to the space research service in the frequency band 14.8-15.35 GHz.
- [166.] RESOLUTION 662 (WRC-19) Review of frequency allocations for the Earth exploration-satellite service (passive) in the frequency range 231.5-252 GHz and consideration of possible adjustment according to observation requirements of passive microwave sensors.
- [167.] RESOLUTION 663 (WRC-19) New allocations for the radiolocation service in the frequency band 231.5-275 GHz, and a new identification for radiolocation service applications in frequency bands in the frequency range 275-700 GHz.
- [168.] RESOLUTION 664 (WRC-19) Use of the frequency band 22.55-23.15 GHz by the Earth exploration-satellite service (Earth-to-space).
- [169.] RESOLUTION 731 (REV.WRC-19) Consideration of sharing and adjacent-band compatibility between passive and active services above 71 GHz.
- [170.] RESOLUTION 739 (REV.WRC-19) Compatibility between the radio astronomy service and the active space services in certain adjacent and nearby frequency bands.
- [171.] RESOLUTION 748 (REV.WRC-19) Compatibility between the aeronautical mobile (R) service and the fixed-satellite service (Earth-to-space) in the frequency band 5 091- 5 150 MHz.

- [172.] RESOLUTION 749 (REV.WRC-19) Use of the frequency band 790- 862 MHz in countries of Region 1 and the Islamic Republic of Iran by mobile applications and by other services.
- [173.] RESOLUTION 750 (REV.WRC-19) Compatibility between the Earth exploration-satellite service (passive) and relevant active services.
- [174.] RESOLUTION 760 (REV.WRC-19) Provisions relating to the use of the frequency band 694-790 MHz in Region 1 by the mobile, except aeronautical mobile, service and by other services.
- [175.] RESOLUTION 761 (REV.WRC-19) Coexistence of International Mobile Telecommunications and the broadcasting-satellite service (sound) in the frequency band 1 452-1 492 MHz in Regions 1 and 3.
- [176.] RESOLUTION 768 (WRC-19) Need for coordination of Region 2 fixedsatellite service networks in the frequency band 11.7-12.2 GHz with respect to the Region 1 broadcasting-satellite service assignments located further west than 37.2° W and of Region 1 fixedsatellite service networks in the frequency band 12.5- 12.7 GHz with respect to the Region 2 broadcastingsatellite service assignments located further east than 54° W.
- [177.] RESOLUTION 769 (WRC-19) Protection of geostationary fixed-satellite service, broadcasting-satellite service and mobilesatellite service networks from the aggregate interference produced by multiple non-geostationary fixed-satellite service systems in the frequency bands 37.5-39.5 GHz, 39.5-42.5 GHz, 47.2-50.2 GHz and 50.4-51.4 GHz.
- [178.] RESOLUTION 770 (WRC-19) Application of Article 22 of the Radio Regulations to the protection of geostationary fixedsatellite service and broadcasting-satellite service networks from non-geostationary fixed-satellite service systems in the frequency bands 37.5-39.5 GHz, 39.5-42.5 GHz, 47.2-50.2 GHz and 50.4-51.4 GHz.
- [179.] RESOLUTION 771 (WRC-19) Use of the frequency bands 37.5-42.5 GHz (space-to-Earth) and 47.2-48.9 GHz, 48.9-50.2 GHz and 50.4-51.4 GHz (Earth-to-space) by non-geostationarysatellite systems in the fixed-satellite service and 39.5- 40.5 GHz (space-to-Earth) by non-geostationarysatellite systems in the mobile-satellite service.
- [180.] RESOLUTION 772 (WRC-19) Consideration of regulatory provisions to facilitate the introduction of sub-orbital vehicles.
- [181.] RESOLUTION 773 (WRC-19) Study of technical and operational issues and regulatory provisions for satellite-to-satellite links in the frequency bands 11.7-12.7 GHz, 18.1-18.6 GHz, 18.8-20.2 GHz and 27.5-30 GHz.

- [182.] RESOLUTION 774 (WRC-19) Studies on technical and operational measures to be applied in the frequency band 1240-1300 MHz to ensure the protection of the radionavigation-satellite service (space-to-Earth).
- [183.] RESOLUTION 775 (WRC-19) Sharing between stations in the fixed service and satellite services in the frequency bands 71-76 GHz and 81-86 GHz
- [184.] RESOLUTION 776 (WRC-19) Conditions for the use of the frequency bands 71-76 GHz and 81-86 GHz by stations in the satellite services to ensure compatibility with passive services.
- [185.] RESOLUTION 804 (REV.WRC-19) Principles for establishing agendas for world radiocommunication conferences.
- [186.] RESOLUTION 811 (WRC-19) Agenda for the 2023 world radiocommunication conference.
- [187.] RESOLUTION 812 (WRC-19) Preliminary agenda for the 2027 World Radiocommunication Conference.
- [188.] RESOLUTION 903 (REV.WRC-19) Transitional measures for certain broadcasting-satellite/fixed-satellite service systems in the frequency band 2500-2690 MHz.
- [189.] RECOMMENDATIONS RECOMMENDATION 16 (REV.WRC-19) Interference management for stations that may operate under more than one terrestrial radiocommunication service.
- [190.] RECOMMENDATION 36 (REV.WRC-19) Role of international monitoring in reducing apparent congestion in the use of orbit and spectrum resources.
- [191.] RECOMMENDATION 63 (REV.WRC-19) Relating to the provision of formulae and examples for the calculation of necessary bandwidths.
- [192.] RECOMMENDATION 206 (REV.WRC-19) Studies on the possible use of integrated mobile-satellite service and ground component systems in the frequency bands 1525- 1544 MHz, 1545-1559 MHz, 1626.5-1645.5 MHz and 1646.5-1660.5 MHz.
- [193.] RECOMMENDATION 207 (REV.WRC-19) Future IMT systems.
- [194.] RECOMMENDATION 208 (WRC-19) Harmonization of frequency bands for evolving Intelligent Transport Systems applications under mobile-service allocations.
- [195.] RECOMMENDATION 316 (REV.WRC-19) Use of ship earth stations within harbours and other waters under national jurisdiction.
- [196.] RECOMMENDATION 503 (REV.WRC-19) High-frequency broadcasting.
- [197.] T. Pasarelska, P. Tzvetkov, R. Pasarelski, "Research approach and spectrum allocation analysis for 5G network development", 33rd International Scientific

Symposium Metrology and Metrology Assurance 2023, p. 15-20, ISSN 2603-3194, 7-11 September, 2023.

- [198.] R. Pasarelski, G. Petrov, T. Pasarelska, K. Angelov, "Neural Network Architecture to Predict Radio Wave Attenuation in a 5G Network", 2023 31st National Conference with International Participation (TELECOM), Sofia, Bulgaria, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/TELECOM59629.2023.10409697, 2023.
- [199.] Pasarelski R., K. Angelov, K. Postagian, S. Sadinov, Implementation and Analysis of a Customized Encryption Algorithm in 5G Networks for Educational Purposes, 2023 4th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES), 23 – 25 November, 2023, Plovdiv, Bulgaria, pp. 1-5, doi: 10.1109/CIEES58940.2023.10378834, 2023
- [200.] T. Pasarelska, R. Pasarelski, The key moment in the genesis of mobile cellular systems. Control of radio links in Universal Mobile Cellular Systems, Yearbook Telecommunications 2022, vol. 9, p. 69-77 eISSN 2534-854X <https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii>, doi: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.22.9.7>
- [201.] R. Pasarelski, T. Stefanova, T. Pasarelska, Analiz na upravlението na mobilnostta v 5G mobilni kletachni mrezhi, Sbornik statii ot nauchna konferentsia „ZNANIE, NAUKA, INOVATSII, TEHNOLOGII”, 28 april 2023 godina, str. 586-601, ISSN 2815-3480, Veliko Tarnovo, 2023
- [202.] R. Pasarelski, T. Pasarelska, Izsledvane na mrezhovite funktsii i referentnata arhitektura na 5G mobilni sistemi, Sbornik statii ot nauchna konferentsia „ZNANIE,NAUKA,INOVATSII,TEHNOLOGII”, str. 388-400, ISSN 2815-3480, 6-7 yuli 2023 godina, Veliko Tarnovo, 2023
- [203.] R. Pasarelski, T. Pasarelska, Izsledvane na fazite za mrezhovo planirane na mobilni kletachni mrezhi, Nauchno spisanie „Industrialni tehnologii“ tom 9, str. 122-130 Izdatelski kompleks na universitet „Prof. d-r Asen Zlatarov“, ISSN 1314-9911, Burgas, 2022
- [204.] R. Pasarelski, T. Pasarelska, Izsledvane na femtokletachni tehnologii za mobilni kletachni mrezhi, Yearbook Telecommunications 2022, vol. 9, p. 53-59 eISSN 2534-854X, <https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii>, doi: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.22.9.5>, 2022
- [205.] V. Kadrev, R. Pasarelski, Prilozhenie na podhodi na izkustven intelekt i mashinno obuchenie v kibersigurnostta, Godishnik Telekomunikatsii 2021, Yearbook Telecommunications 2021, vol. 8, p. 53 - 64 eISSN 2534-854X,

<https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii>,

doi:

<https://doi.org/10.33919/YTelecomm.21.8.6>, 2021

- [206.] Ying-Chang Liang, *Dynamic Spectrum Management. From Cognitive Radio to Blockchain and Artificial Intelligence*, ISBN 978-981-15-0776-2, Springer, 2019
- [207.] Haim Mazar (Madjar), *Radio Spectrum Management: Policies, Regulations and Techniques*, ISBN 9781118511794, DOI:10.1002/9781118759639, John Wiley & Sons, 2016
- [208.] Росен Пасарелски, „Нови 5G мобилни клетъчни системи. Изследване на взаимодействието между 4G-LTE и 5G системите: архитектура, мрежови функции, интерфейси и протоколи“, с ISBN: 978-619-233-282-2, изд. НБУ, 2024
- [209.] Росен Пасарелски, „Центрове за данни и структурно окабеляване“, ISBN 978-619-233-299-0, изд. НБУ, 2024
- [210.] Росен Пасарелски, „Услуги в центровете за данни“, ISBN 978-619-233-300-3, изд. НБУ, 2024
- [211.] Георги Петров, „Развитие на Интернет и отворените системи“, ISBN 978-619-160-834-8, изд. Авангард Прима, 2017
- [212.] Годишни доклади, програми, стратегии, методики и документи на Съвета по националния радиочестотен спектър.