



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
Институт по информационни
и комуникационни технологии

Красимир Живков Терзиев

Съвременните сателитни комуникационни системи и
иновативни методи за повишаването на ефективността им

ДИСЕРТАЦИЯ

за придобиване на образователната и научна степен „доктор“

Професионално направление: 5.3. Комуникационна и компютърна
техника

Докторска програма: “Комуникационни мрежи и системи“

СЪДЪРЖАНИЕ:

Увод

Глава 1: Аналитичен обзор на спътниковите телекомуникационни системи

5

<i>1.1 Исторически обзор на сателитната индустрия</i>	<i>5</i>
<i>1.2 Приложение на сателитна индустрия за комерсиални цели</i>	<i>14</i>
<i>1.3 Интегрирано кабелно и сателитното предаване на данни</i>	<i>21</i>
<i>1.4 Конкуренция и пазарни приложения</i>	<i>29</i>
<i>1.5 Развитие на спътниковите технологии и навлизане на мрежи на ниска наземна орбита</i>	<i>34</i>

Глава 2. Проблеми при проектиране и функциониране на системи за спътникова комуникация.

39

<i>2.1 Основни компоненти и характеристики на спътниковата връзка</i>	<i>39</i>
<i>2.1.1. Наземен сегмент</i>	<i>41</i>
<i>2.1.2 Космически сегмент</i>	<i>50</i>
<i>2.2 Основни мрежови топологии и честотни ленти, приложими в сателитните комуникации</i>	<i>57</i>
<i>2.3 Основните видове услуги, предлагани от спътниковите мрежи. Типове сателитни орбити</i>	<i>67</i>
<i>2.3.1. Основни видове услуги</i>	<i>67</i>

2.3.2 Типове сателитни орбити	70
2.3.3. Покритие на спътниците / Зона на обслужване	78
2.3.4 Проектиране на спътникови връзки	84
2.3.5 Въздействие върху технологичната екосистема	93
2.3.6 Оценка на функционалостта на спътниковите комуникации на ниска наземна орбита	97

Глава 3. Проектиране на антенната част на система за спътникова комуникация на ниска наземна орбита

105

3.1 Обхват на проекта	105
3.2 Общ план и основни компоненти на „ОС LEO 1“ наземна антена	111
3.3. Технически изисквания на антенната система	120

Глава 4. Оценка и сравнения на технологични параметри на проектираната наземна станция

145

4.1 Изследване и определяне на техническите характеристики на проектираната наземна станция за космически комуникации	145
4.2 Приложение на предложения подход за количествена оценка на качеството и ефективността на системата	152
4.3 Изводи	161
4.4. Приноси по дисертационния труд	161
Публикации по дисертационния труд	165
Използвана литература	167

Увод

Спътниковите системи са технологично средство за предаване на данни, което покрива големи разстояния. Това определя и тяхното приложение и разпространение, където условията за комуникации и достъп до ИТ инфраструктура са силно ограничени. Спътниковите комуникации могат да се реализират с различни комбинации на телекомуникационни модули, системи и подсистеми. Съответно технологичните решения водят до различни свойства, изисквания и параметри на услугите за комуникация и предаване на данни. Видът на това оборудване и устройства, като елемент на спътниковите системи за комуникация, изисква различни технологични решения, които да отговарят стандартите и да осигурят надеждна сателитна свързаност. Като технологичен проблем е изборът на съвместими и удачни технологични модули, които в съвкупност да предоставят комуникационни услуги със съответна скорост на предаване, намаляване затихването на сигналите и сигурен достъп на този вид комуникации за крайните потребители.

Настоящата дисертационна работа си поставя за цел проектиране на наземната част от система за сателитна комуникация. Тя е предвидена за пренос на данни към спътникови системи и съзвездия на ниска наземна орбита, която е предпочитана от сателитните оператори и ползватели, тъй като осигурява по-малко закъснение между заявката и изпълнението на комуникацията.

Цел на дисертационната работа: Проектиране на наземна подсистема за спътникови комуникации за ниско орбитни сателити.

Обект на изследването: Наземната част на система за спътникова комуникация.

Решаваните задачи и тяхната последователност в дисертационната работа са:

1. Аналитичен обзор на развитието на системите за сателитна комуникация.
2. Анализ на основните технологични компоненти на системите за спътникова комуникация.
3. Проектиране на технологичната инфраструктура на наземна станция за нискоорбитни сателити.
4. Оценка и сравнения на технологични параметри на проектираната наземна станция чрез измервания на нейни параметри.

Разработки от дисертационното изследване са практически проверявани в изградена наземна станция за спътникови комуникации.

Глава 1: Аналитичен обзор на спътниковите телекомуникационни системи

1.1 Исторически обзор на сателитната индустрия

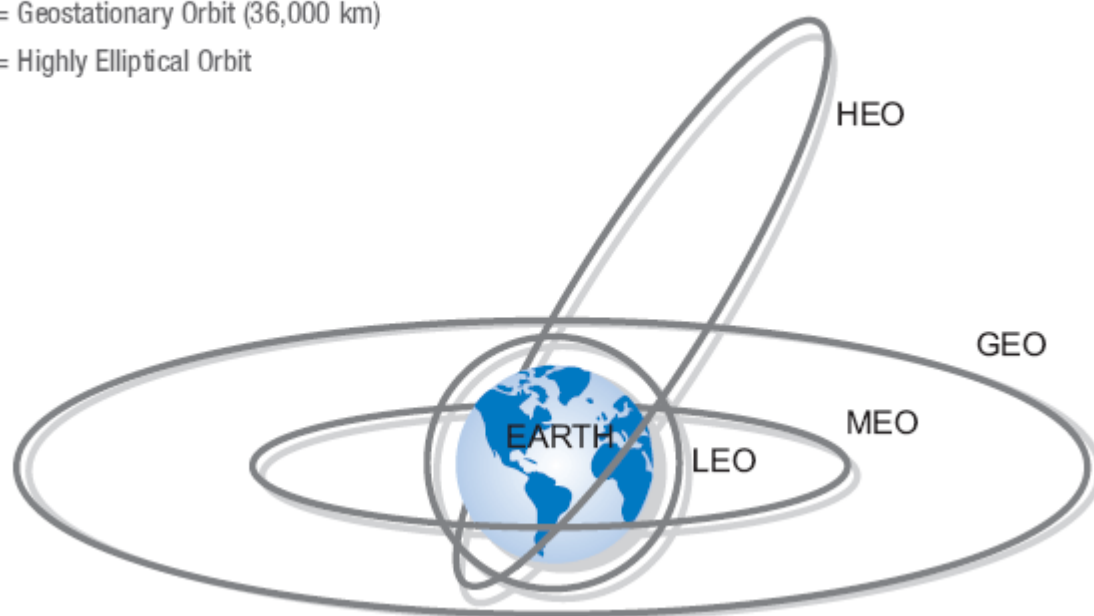
Историческите факти дават сведения [2, 3, 47] , че пионер на сателитната технология е двадесет и седем годишния военно-въздушен офицер и учен на име Артур Кларк, който по време на тренировъчен лагер описва първоначалната концепция. Момчето написва статия „Extra terrestrial relays” (Фигура 2), която пресъздава идеята за комуникационните спътници, като текстът се публикува в Британското издание „Wireless World”. Той описва, че изкуствен спътник на точна дистанция от земята, би останал насочен към същата точка в продължение на 24 часа и с оптичен радиус от около половината от земната повърхност. Според неговата теория ще бъдат необходими три наземни станции, които да покрият 360 градуса и да осигурят глобална комуникационна свързаност. Точната дистанция, която е определена от екватора, при която сателитът ще се движи с еднаква скорост като земята, е 35 786 км и е наименувана на създателя ѝ – орбитата на Кларк (Фигура 1). По този начин всички антени на земята ще бъдат насочени фиксирано към една позиция и няма да е нужно да се насочват и настройват периодично, за да предават или приемат данни. Системата, описана от Артур Кларк всъщност се счита от учените като повратна точка в сателитната индустрия, която поставя основата на комерсиализацията на спътниковите комуникационни услуги. Той е наречен също баща на индустрията [2, 3, 11, 13, 14].

LEO = Low Earth Orbit (100-1,500 km)

MEO = Medium Earth Orbit (5,000-10,000 km)

GEO = Geostationary Orbit (36,000 km)

HEO = Highly Elliptical Orbit



Фигура 1- Типове сателитни орбити, [IASMANIA]

EXTRA-TERRESTRIAL RELAYS

Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage?

ALTHOUGH it is possible, by a suitable choice of frequencies and routes, to provide telephony circuits between any two points or regions of the earth for a large part of the time, long-distance communication is greatly hampered by the peculiarities of the ionosphere, and there are even occasions when it may be impossible. A true broadcast service, giving constant field strength at all times over the whole globe would be invaluable, not to say indispensable, in a world society.

Unsatisfactory though the telephony and telegraph position is, that of television is far worse, since ionospheric transmission cannot be employed at all. The service area of a television station, even on a very good site, is only about a hundred miles across. To cover a small country such as Great Britain would require a network of transmitters, connected by coaxial lines, waveguides or VHF relay links. A recent theoretical study¹ has shown that such a system would require repeaters at intervals of fifty miles or less. A system of this kind could provide television coverage, at a very considerable cost, over the whole of a small country. It would be out of the question to provide a large continent with such a service, and only the main centres of population could be included in the network.

The problem is equally serious when an attempt is made to link television services in different parts of the globe. A relay chain several thousand miles long would cost millions, and transoceanic services would still be impossible. Similar considerations apply to the provision of wide-band frequency modulation and other services, such as high-speed facsimile which are by their nature restricted to the ultra-high-frequencies.

Many may consider the solution proposed in this discussion too far-fetched to be taken very seriously. Such an attitude is unreasonable, as everything envisaged here is a

By **ARTHUR C. CLARKE**

logical extension of developments in the last ten years—in particular the perfection of the long-range rocket of which V2 was the prototype. While this article was being written, it was announced that the Germans were considering a similar project, which they believed possible within fifty to a hundred years.

Before proceeding further, it is necessary to discuss briefly certain fundamental laws of rocket propulsion and "astronautics." A rocket which achieved a sufficiently great speed in flight outside the earth's atmosphere would never return. This "orbital" velocity is 8 km per sec. (5 miles per sec), and a rocket which attained it would become an artificial satellite, circling the world for ever with no expenditure of power—a second moon, in fact.

the atmosphere and left to broadcast scientific information back to the earth. A little later, manned rockets will be able to make similar flights with sufficient excess power to break the orbit and return to earth.

There are an infinite number of possible stable orbits, circular and elliptical, in which a rocket would remain if the initial conditions were correct. The velocity of 8 km/sec. applies only to the closest possible orbit, one just outside the atmosphere, and the period of revolution would be about 90 minutes. As the radius of the orbit increases the velocity decreases, since gravity is diminishing and less centrifugal force is needed to balance it. Fig. 1 shows this graphically. The moon, of course, is a particular case and would lie on the curves of Fig. 1 if they were produced. The proposed German space-stations

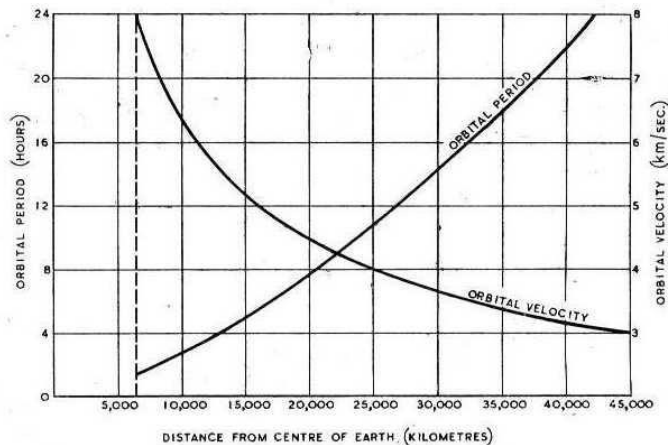


Fig. 1. Variation of orbital period and velocity with distance from the centre of the earth.

The German transatlantic rocket A10 would have reached more than half this velocity.

It will be possible in a few more years to build radio controlled rockets which can be steered into such orbits beyond the limits of

would have a period of about four and a half hours.

It will be observed that one orbit, with a radius of 42,000 km, has a period of exactly 24 hours. A body in such an orbit, if its plane coincided with that of the

През месец Октомври 1954 година, академичен съюз от 67 страни подписват резолюция за изстрелването на първия изкуствен спътник по време на международната геофизична година, която започва на 01. Юли 1957 година. По това време и САЩ и Русия заявяват своето намерение да изстрелят сателит, като само САЩ успяват да изстрелят макет, който не успява да достигне височина от 682 мили и спира, непосредствено преди да достигне финалния етап на позициониране в орбита.

Двете страни са всъщност в ожесточена надпревара, коя първа ще се справи с така желаната мисия, която би осигурила на човечеството съществен технологичен прогрес в комуникационните технологии.

Ако бяха успели да се справят, САЩ са щели да изпреварят Русия с една година, която успява на 04. Октомври 1957 година да изстреля сателит, голям колкото плажна топка, наречен „Спутник“. Това се случва на космодрума в гр. Байконур, Казахстан, с руската ракета „R-7“, която бележи началото на сателитната индустрия. По това време успешната мисия на руснаците вдъхновява целия свят с това си изобретение и практически дава сериозно предимство в битката срещу САЩ. Това всъщност е първата провокация, която води след себе си успешната мисия на космическия кораб „Аполо 11“ и първото стъпване на Нийл Армстронг на луната на 20 Юли 1969 година.

Трябва да се отбележи, че изстрелването на „Спутник“ стартира и инициативата за създаването на „NASA“ – National Aeronautics and Space Administration. Задачата на „NASA“ е била основно доминацията на САЩ през 60-те години, по-време на така наречената космическа надпревара срещу Русия.

След няколко неуспешни опита, на 31. Януари 1958 година САЩ успява да изстреля първия си спътник на име „Explorer 1“. Полезният товар, който е

бил закачен към него, е бил с цел да открие магнитната радиация около земята, която е наименувана по името на създателя ѝ Ван Алън Белт. Малко по-късно в Америка се създава агенция, която да предотврати следващи успешни проекти като „Спутник“ на име – Advanced research projects agency или на кратко „ARPA“. Първият проект, който е планиран е „SCORE“ – Signal Communication by Orbiting Relay Equipment в сътрудничество с Американската армия и военно въздушните сили.

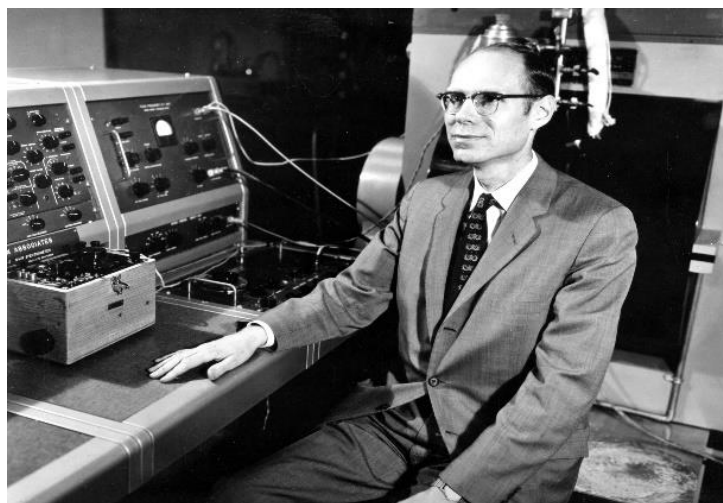
„SCORE“ успешно изстрелва на 19 Декември 1958 година първия комуникационен сателит от Cape Canaveral – Флорида, през който се изпраща гласово съдържание на написано съобщение, лично от американския президент – Дуайт Айзенхауер.

„ This is the president of the United States speaking. Through the marvels of scientific advance, my voice is coming to you from a satellite circling in outer space. My message is a simple one. Through this unique means I convey to you and all mankind America's wish for peace on earth and good will to men everywhere”

Практическото разработване на сателитните комуникационни системи се дължи основно на двама инженери – Д-р. Джон Пиърс от „Bell Labs“ и Д-р. Харолд Роузен от „Hughes Aircraft company“ (Фигури 3, 4). Д-р. Пиърс е роден в Де Мойн, Айова и израства в Калифорния, където завършва Институт по технологии със специалност Аеронавтика и Електроника. През 1936 получава предложение за работа в Bell Labs и там остава до 1971 година като директор комуникационни проучвания. По време на този период, той разработва различни електронни устройства, от които и транзистора. Освен това допринася значително за развитието на технологията, като разработва тип усилвател – „лампа с бягаща вълна“, който се използва за приемане и предаване на радио сигнали – „предшественикът на транспондера“. През 50-те години Пиърс прави изчисления относно мощностите, които ще са

необходими да излъчиш сигнали от земната повърхност до луната и от планетите до звездите. Той написва първото конкретно предложение за комуникационни спътници в статията „Orbital Radio Relays“, публикувана в списание „Jet Propulsion“ през Април 1955 година.

На него дължим не само концепцията за техническата реализация за сателитните технологии, но и калкулациите му за потенциала на пазара и оценката му за това, че тази технология би имала възможност да поддържа едновременно над 1000 едновременни телефонни разговора.



Фигура 3 – Д-р Джон Пиърс, [Wikipedia]

Д-р Харолд Розен е роден в Ню Орлиънс, Луизиана през 1926 година. След като завършва електрически инженерни науки в университета в гр. Тулан, продължава и придобива степен „Доктор“ в Института по технологии в Калифорния. Една от първите му разработки за „Raytheon“ е десктоп модел на аналогов компютър. Той се присъединява към Hughes Aircraft company, по-късно позната като Hughes Space and Communication и в днешно време Boeing, където проектира анти-въздушни снаряди, пожарно-контролни системи и радара. Той, заедно с Доналд Уилямс и Томас Худ Спед се амбицират да изобретят сателит, който да е разположен на геостационарна орбита (35 768 км), чиято първоначална концепция задава Артур Кларк. Розен

успява да реши въпроса със стабилизирането на спътника на тази височина, използвайки научния труд на Карл Андерсон, носител на Нобелова награда за физика, който описва така наречената въртяща се стабилизация – „spin stabilization“. Системата включва соларни панели и импулси на въртящ се принцип, които контролират сателитния тласък и въртящата се антена, чието движение винаги обкръжава земята. Проектът е наречен „Syncom“ и е първият геостационарен сателит, който е разработен от Розен и екипа му. Преди този период учените са се фокусирали и са проектирали спътници, които да бъдат позиционирани в ниска наземна орбита. По този начин може да се осигури значително по-лесно глобално покритие, както и всички наземни антени ще бъдат фиксирани към определена позиция, избягвайки нуждата от постоянно следене. В допълнение орбитата осигурява 99% от времето достъп до слънчева светлина, което елиминира нуждата от добавяне на система за контрол на температурата.



Фигура 4 – д-р Харолд Роузен, [Engineering and Technology History Wiki]

Д-р Харолд Розен и д-р Пиърс участват първоначално активно в проекта „Echo-1“, като успяват да изстрелят първия пасивен комуникационен сателит през 1960 година. Технологиата им е позволявала без допълнителна комуникационна техника да се връщат изпратени сигнали до земята.

Като следваща стъпка д-р Пиърс и Bell Labs поставят началото на следващото предизвикателство „Telstar 1“ (Фигура 6). Техническият план е бил да се изгради система от 40 сателита на полярна орбита и 15 на екваториална, които да осигурят услуга над 99.9% от времето на всяка точка на земята. Компанията „AT&T“ се включва в заданието, като добавя, че за тази цел са необходими 25 наземни станции, които да осигурят глобално покритие. Bell Labs успяват да изстрелят с ракета на NASA първия активен комуникационен сателит на име „Telstar 1“ на 10 Юли 1962 година. Към този момент това е революция в индустрията, защото през него се излъчват на живо снимки от Европа към Северна Америка и обратно. През „Telstar 1“ се осъществява и първият телефонен разговор през сателит между председателят на AT&T Фред Копел от град Андовер и американския президент Линдън Джонсон от столицата Вашингтон.



Фигура 5 – Спътник Telstar 1 излъчва първи трансатлантически кадри, [HistoryofInformation.com]

През 1963 година екипът на Розен успешно разработва концепцията „Syncom“ и изстрелва първия геостационарен спътник „Syncom 1“. Малко по-

късно обаче след успешното позициониране, „Syncom 1“ е изгубен и проектът е неуспешен.

Пет месеца по-късно следва нов проект „Syncom 2“, който е бил поставен на орбитална позиция 33,05 градуса от екватора с наклонена орбита. Размерите са му били само два фута и 4 инча в диаметър. Соларните панели са били 1 фут и съответно 3 инча. Спътникът е тежал само 78 паунда. Светът тогава за първи път става свидетел на революционните технологични възможности на „Syncom 2“, след като се провежда телефонен разговор между президента на САЩ Джон Кенеди във Вашингтон и нигерийския министър-председател Абубакер Валева в Африка. Това всъщност е била първата жива двупосочна телефонна връзка, осъществена през сателитна платформа. По времето на „Syncom 2“, NASA провеждат гласови, фото-телеграмни и теле-записващи тестове и 110 публични демонстрации, в които запознават обществото с комуникационните възможности на технологията. „Syncom 2“ доказва в допълнение, че може да изпълнява различни маневри в орбита. При запалване на газовите двигатели, спътникът успява да промени първоначалната си позиция над Атлантическия океан, като застава над Индийския океан. Сателитът преминава успешно всички технологични тестове и изпълнява всички поставени задачи от мисията си. Предвид наклонената си орбита от 33 градуса, той не е считан за геостационарен спътник. Тази чест ще има наследника му „Syncom 3“.

Практически първият активен комуникационен геостационарен спътник официално е „Syncom 3“, който излъчва на живо олимпийските игри от Япония в САЩ през 1964 година. В допълнение спътника се използва също за комуникационна връзка между Азия и Тихия океан по време на Виетнамската война. Този революционен успех заслужено можем да припишем на последователните усилия на д-р Пиърс и д-р Розен, които правят възможна концепцията за използването на сателитната технология в

цял свят. Разработването на „Лампа с бягаща вълна“ на д-р Пиърс и въртящо-стабилизираната технология на д-р Розен преодоляват технологичните трудности и правят възможна работата на спътника на геостационарна орбита. Този напредък, заедно с усилията на NASA да подобри ракетната технология, за да се изстрелват спътници с по-голям товар, дава възможност в днешно време да използваме пълноценно технологията.

За това си откритие д-р Пиърс и д-р Розен получават наградата „Draper Prize” – най-престижното отличие за инженерни науки. Регулаторната рамка на глобалната сателитна система е одобрена от конгреса, подписана лично от Президента Джон Кенеди. По този начин САЩ създават началото на международната сателитна система и формират Комуникационната сателитна компания „COMSAT” – частна компания, която ще представя САЩ в ново създадената сателитна организация, наречена „Intelsat” [15]. Ето така се ражда индустрията. Успешното развитие на сателитните технологии по това време отваря нови възможности за комерсиално използване и предоставяне на телекомуникационни услуги в цял свят. В реално време се предават също предавания и спортни събития, които достигат до всяка точка на земята. Това революционно откритие и прогрес в технологиите е повратна точка в индустрията и е апогей в създаването на първите компании, които ще поставят началото на бизнес перспективата в сателитния свят.

1.2 Приложение на сателитна индустрия за комерсиални цели

През 1962 година, администрацията на президента Джон Кенеди предлага създаването на разработването на глобална комуникационна сателитна система, чийто документ се подписва от него на 31 Август същата година. Създава се новата частна компания “COMSAT”, която ще има за цел да осъществява партньорства с други страни относно изграждането на глобална комерсиална сателитна мрежа.

На 20 Август 1964 година, във Вашингтон се създава първата международна сателитна комуникационна организация, наречена „Intelsat“. Документът е резолиран от представители на 11 страни – САЩ, Великобритания, Канада, Япония, Нидерландия, Германия, Испания, Австрия, Норвегия, Швейцария и Ватикана.

Ето че и идва времето за създаването и изстрелването на първия комерсиален геостационарен спътник, който се разработва от „Hughes Aircraft“. „Early Bird 1“ (по-късно преименуван на „Intelsat 1“) се изстрелва на 6 Април 1965 година (Фигура 6). Капацитетът му е бил за провеждане на 240 едновременни разговора и излъчване само на един черно-бял телевизионен канал. Сателитът покрива региона около Атлантическия океан, като е осигурявал комуникационна връзка между Северна Америка и Западна Европа. „Early Bird 1“ е бил планиран да има живот от 18 месеца, но се е задържал в орбита 3 години и половина.



Фигура 6 – Първият комерсиален спътник *Intelsat 1* – „Early Bird“ [Intelsat]

По това време Русия активно работи върху създаването на собствена сателитна комуникационна мрежа. Един от най-активните учени в Русия е бил Каролев, който дава и идеята за елиптична орбита с перигей от 300км и апогей от 40 000км. Сателитите на тази орбита дават възможност да се получава сигнал в по-северните региони, които са недостъпни през геостационарните спътници. Първият сателит на тази орбита е „Молния 1“, който е бил изстрелян на 21 Април 1965година.

Шестнадесет спътника от серията „Молния“ са били използвани за нуждите на Русия, като се предоставяли телевизионен сигнал през мрежата от наземни станции „Орбита 1“.

Телевизионната мрежа „Орбита“ е била официално открита по време на петнадесетата годишнина от Болшевишката революция на 1 Октомври 1967 година. Парадът на червения площад е бил излъчен на живо по цялата територия на СССР.

Междувременно Русия осъзнава, че САЩ развиват усилено сателитните технологии и че „Intelsat“ придобива все по-важна роля в света. Реакцията не закъснява и през 1968 година се създава първата организация за сателитни технологии „Intersputnik“. В съюза се включват СССР, България, Чехословакия, Унгария, Монголия, Полша и Румъния. Подписаното финално споразумение се случва на 15 Ноември 1971 година, но реалното функциониране на организацията стартира през 1974 година.

В края на 60-те години, „Intelsat“ осигурява вече глобално покритие, след като вече функционира „Intelsat 3“ и предсказанието на Кларк се сбъдва. Той беше описал, че три спътника са необходими на геостационарна орбита през 120 градуса, за да осигурят пълно комуникационно покритие на земната повърхност. Само 19 дни, след като заработва и „Intelsat 3“, Нийл Армстронг успешно каца на луната с „Apollo 11“ и първите снимки от там са излъчени на живо през мрежата на „Intelsat“.

- Появата на кабелното и сателитното излъчване

Сателитното излъчването на снимки от първото стъпване на луната през 1969, както и летните олимпийски игри в Мюнхен, Германия през 1972 до милиони хора, доказват на света силата и влиянието на технологията. Въпреки това, основното предназначение на геостационарните спътници е осъществяване на пренос на данни и гласови услуги. Причината за това е, че по това време един транспондер е имал възможност да излъчи само един телевизионен канал. Глобален оператор е бил „Intelsat“, който е осигурявал телекомуникационни услуги. През 1974 година активно започва налагането на нови местни американски сателитни оператори. Причина за това е от части и изстрелването на „ANIK 1“ от Канада, през същата година, който излъчва телевизионна програма в обширната територия на Канада, както и до САЩ.

Първият местен американски сателит е бил „WESTAR I“, изстрелян на 13 Април 1974 година. На този спътник, на 30 Септември 1975 година от Манила, Филипините, се осъществява на живо излъчването на боксовия мач между Мохамед Али и Джо Фрейзър в тежка категория. Медийната компания, която го реализира е „Home Box Office – HBO“. Мачът е бил наричан с името „Thrilla in Manila“. Мачът е се излъчва на живо до 10 000 абонати на кабелния оператор „UA Columbia Cable“ във Вери Бич и Форт Пийс, Флорида. Това е първото излъчване на сигнал от кабелен оператор, което дава нов тласък за развитие на технологията и остава в историята под името „Денят след Трила“. Малко след това голяма част от кабелните оператори започват да приемат сателитни програми, които да разпространяват в мрежите си.

Един от пионерите на сателитната дистрибуция на кабелна програма е бил Сидни Топол, който е бил част от малка компания на име „Scientific Atlanta“. Той разработва 10 метрова антена, която е била използвана от кабелните оператори за приемане на сигнал от сателитните платформи.

Един от младежите, които е имал на своя страна е бил амбициозният Тед Търнър. Момчето наследява на 24 години компанията на баща си на име „Turner Advertising“, който се самоубива.

Тед се сблъсква в същото време с многобройни предизвикателства, след като губи баща си и едновременно бива изгонен от „Ivy“ лигата в Университета в Браун, защото го хващат с жена в квартирата си, което е било строго забранено. Търнър успява да преодолее всички затруднения и допринася за развитието на бизнеса на баща си.

През 1976 година, Сидни Топол и Тед Търнър разговарят за предимствата от използването на сателитните технологии и възможността да се излъчват кабелни програми до всяка точка в страната с инвестиция около милион на година. Идеята окрилява Тед и той се захваща с пълна сила да развива излъчването на съдържание на сателитна платформа. По това време обаче, регулациите са забранявали медийни компании да бъдат едновременно и сателитен оператор. Поради тази причина Търнър взема нещата в свои ръце и регистрира ново дружество на име „Satellite Systems“ и я продава малко след това за един долар на „Western Union“, който е собственик на „WESTAR“. След като преминава всички препятствия, през Декември 1976 година, „WTCG-TV“ се излъчва на спътник „SATCOM 1“ и мисията на Търнър е успешна. През Юни 1980 година, за първи път той предлага изключително нова концепция – създаване на 24-часов новинарски канал, който да се излъчва през мрежите на най-влиятелните кабелни оператори. Каналът носи името „Cable News Network – CNN“ и определено е нещо революционно в медийната индустрия. „CNN“ придобива международна популярност и малко по-късно се излъчва в различни територии по света. Тед Търнър се превръща в медиен магнат.

Пробивът, който прави „CNN“ по света и развитието на сателитната дистрибуция, провокира академика Джон Хендрикс да създаде „Discovery

channel“. Малко по-късно медийният пазар е зает с множество телевизионни канали, някои от които са „Showtime“, „USA“, „Disney channel“, „MTV“ и др. Всеки един от тях създава различно съдържание и програми, като това повишава гледаемостта и носи допълнителни проходи за индустрията. Тази тенденция загатва и нуждата от създаването на нов тип сателитни услуги – „Direct to Home – DTH“, които да предлагат телевизионен пакет с голям на брой ТВ канали с интересно съдържание за всяка аудитория.

За всички тези постижения човечеството би могло да благодари на Тед Търнър и всички сме щастливци, че този човек е положил основите на дистрибуцията на програмно съдържание.

Началото на 80-те години, основните компании, които оперират спътници с глобално покритие са били тези на „Intelsat“ и „Intersputnik“. „Intelsat“ и техните над 100 държави членки са предавали през мрежата си две трети от световния комуникационен трафик и почти целия телевизионен пренос на медийно съдържание.

През 1984 Рейнолд Анселмо (Фигура 7) осъществява мечтата си и създава сателитна компания на име „PanAmSAT“. Неговото намерение категорично е да разруши вече създалия се и наложен монопол на „Intelsat“ на международната сцена. Анселмо е роден в Бостън, завършва университета в Чикаго и е ветеран от втората световна война в морския корпус. Той помага за създаването на успешната испанска международна мрежа, наречена „Univision“. Освен това забелязва ниското присъствие на испански телевизионни мрежи в САЩ, като обяснява че причините за това са силното присъствие и монопол на „Comsat“ (американският представител в Intelsat).

Федералната комисия по комуникации (Federal Communications Commision - FCC) осъзнава, че наличието на конкуренция на силно развиващия се пазар, би дало повече свобода на нови компании, които

искат да навлязат в индустрията и едновременно по-качествени услуги. През 1982 година "FCC" одобрява предложението на "Hughes Communications" относно изстрелването на спътник "Galaxy 1". Неговата орбитална позиция е била подходяща за обслужването на кабелни оператори в цялата страна. "Galaxy 1" е изстрелян в орбита на 28 Юни 1983 година и открива нова ера в местната конкуренция на американския сателитен пазар. Рейнолд Анселмо е бил толкова упорит и иновативен, че председателят на борда на "FCC" го нарича „Индиана Джоунс“ в международните комуникации. Той закупува цяла страница в известното американско издание "Wall Street Journal" и публикува карикатура на непочтено куче на име "Spot", като олицетворение на така закостенелия монопол на пазара по това време. Анселмо пише писмо до президента Ронълд Рейгън, като изисква „отварянето“ на пазара за сателитни комуникации и за други компании. Предложението му е създаване на отделна система за сателитни услуги – независима от "Intelsat". Със своята непоклатимост и увереност, Рене най-накрая успява да убеди "FCC" и закупува със собствени средства сателит от "GE Astro" (сега част от Lockheed Marine) и сключва договор с "Arianespace" за изстрелване на сателит с първата ракета "Ariane IV". Първият спътник "PanAmSat", известен още като "PAS-1", излизва в орбита на 15 Юни 1988 година от "Guiana Space Center" във Френска Гвинея. Това е практически първият телекомуникационен сателит, който е 100% собственост на изцяло частна компания.



Фигура 7 – Рене Анселмо, [Satil.com]

„PanAmSat“ среща многобройни препятствия на пазара, сблъсквайки се постоянно с различни регулаторни бариери и рестрикции. Въпреки всичко през 1989 година новопоявилият се „CNN“ сключва договор за нов транспондер относно пренос на канала в Латинска Америка. „CNN“ се развива изключително бързо като новинарски канал, а същото прави и „PanAmSat“. Сателитният оператор публикува официална информация, че желае да предоставя глобално покритие и планира да изстреля нови три спътника. През 1995 година операторът предоставя глобални услуги, след като изстрелва „PAS-4“ с покритие над Индийския океан. Рене оставя отпечатък в историята с това, че разбива монопола на „Intelsat“. Анселмо умира през 1995 година на 65 години, два дни преди „PanAmSat“ да стане публична компания на борсата.

1.3 Интегрирано кабелно и сателитното предаване на данни

По това време в Европа има още един визионер и предприемач, който вижда силата на сателитните технологии и по-късно ще изгради такава телекомуникационна мрежа. Името му е Рупърт Мърдок. Мърдок е роден

през 1931 година в Мелбърн, Австралия. Той е син на успешния вестникарски издател Сър Кейт, който умира неочаквано, когато Мърдок е едва на 21 години и следва в университета в Оксфорд. Той наследява от баща си два австралийски вестника „The Adelaide News” и „The Brisbane Courier Mail”, които успява да превърне в два могъщи мултимедийни конгломерата. През 80-те той притежава различни вестници по света като „New York Post” и популярното в Лондон издание “Times”.

Рупърт Мърдок купува “Satellite Televisions PLC” през 1984 и го преименува в “Sky Channel”. Както и повечето от неговите предшественици, той също инкасира сериозни финансови загуби през първите пет години на канала “SKY”, но никога не се е съмнявал в това, че сателитната индустрия няма да разцъфне в даден момент, носейки милиони долари оборот. През 1986 година той подписва високо рисковото начинание и 10 годишен план на финансиране с малката стартър компания от Люксембург на име “Societe Europeene des Satellite” (SES).

През този период Люксембург е страна на прехода, която търси диверсификация в икономиката си, като успехите на няколко broadcasting компании като “CLT”, това е логична посока за инвестиции. Един от младите предприемачи на сателитните технологии е била американката Кандис Джонсън. Тя е била омъжена за посланика на САЩ в Люксембург Адриен Мейш и е била дъщеря на генерал Джини Джонсън - бивш началник на телекомуникационните служби на американските военни сили. С нейните контакти Джонсън успява да прокара идеята за навлизането на Люксембург на пазара на сателитния бизнес. Министър-председателят Пиер Вернер е бил изключително доволен от този успех и прегръща идеята за нови пазарни възможности в индустрията.

Друга важна личност в историята е Клей Уайтхед, бивш началник на американския департамент за телекомуникации, чиято роля е била

формулировката на така наречената „Open Sky“ политика в САЩ. През 1983 година Клей ръководи в „Hughes“ департамент относно „Galaxy“ проекта, като помага активно за разработването на „Direct Satellite Broadcasting System“ в Люксембург на име „GDL – Grand Duchy of Luxembourg“. Уайтхед описва доклад за осъществяването на проекта, който се преглежда щателно от „Telesat“ Канада, чийто представител е бил Люк Юргенс.

След като получава одобрение за надеждността на проекта, той започва търсенето на инвеститори с цел реализация на този план. Уайтхед среща затруднения от властта в Люксембург и малко по-късно се завръща в САЩ. „GDL“ се проваля, но възкръсва като „SES“.

На 1 Март 1985 с подкрепата на правителството на Люксембург, „Deutsche bank“ и „Dresdner bank“, се създава една от най-големите компании в индустрията „SES“. 1986 година „SES“ прави поръчка за първия си сателит от „RCA-Astro Electronics“, но поради технически проблеми на „Arianespace“ с изстрелването, стартът се отлага за 1988 година. Забавянето позволява на „SES“ да конфигурират прецизно покритието, като се насочат към зони около Великобритания, Франция и Германия. Спътникът на име „ASTRA 1A“ се изстрелва на 11 Декември 1988 година. Мърдок купува веднага четири от общо шестнадесетте транспондера на сателита за излъчването на „SKY Channel“. Реакциите в Европа са негативни, след като „ASTRA“ излъчва основно Американски програми и се рекламират продукти на международни компании. Практически Мърдок започва да се конкурира с местния британски сателитен оператор – „British Satellite Broadcast“ (BSB). След като навлизат в ожесточена конкуренция, двете компании се обединяват в новия търговски бранд „BSKYB“. От този момент Мърдок се превръща в най-влиятелната личност в медийния бизнес, доминирайки на европейския „DTH“ пазар и дъщерната му компания „News Cooperation“, която предоставя услуги в цял свят.

С население над 3 милиарда души, в края на 80-те години започва бурното развитие на пазара за телекомуникационни услуги в Азия. Континентът се превръща в най-големият пазар за продукти и услуги и голям брой страни създават дружества, които имат за цел да предоставят сателитни и телеком услуги. Този технологичен тренд създава предпоставки за възникването на първия азиатски сателитен оператор – „Asia Satellite Technology – AsiaSat“. „AsiaSat“ стартира комерсиалните си услуги след изстрелването в орбита на 07. Април, 1990 година. Първоначално сателитът се е казвал „Westar 6“, но след повреда в двигателя се налага връщането му и възстановяването му, за да се изстреля отново под новото име. Един от най-големите инвеститори в компанията е Хътчисън Уампоа, който притежава солидно бизнес присъствие в компании за търговия на едро и дребно, производство на стоки, енергийни дружества, както и телекомуникационни фиксирани и пейджър услуги, мобилни апарати и много други. Освен това той е притежавал и империя от хотелски комплекси и компании за брокерски услуги с недвижими имоти. Дружествата му са имали бизнес операции освен в Азия, така и в Европа и Америка. Хътчсън е бил контролиран от Ли-Ка Шинг – един от най-богатите хора в света. Ли-Ка вижда потенциала в сателитните технологии и включва в проекта за Хътчисън неговия 21-годишен син Ричард Ли. Синът му бързо се адаптира към средата и осъзнава, че технологиите могат да се използват и за излъчване на телевизионни сигнали. Не закъснява и концепцията му, че може да разруши установения монопол на правителствата в Азия и да излъчва ТВ канали директно до крайните потребители. Ричард се фокусира върху идеята и стартира разработването на проект за сателитна телевизия, която да предоставя ТВ съдържание до азиатския пазар. Предприемаческият му дух се насочва към включването на различни лидери в сектора и в допълнение убеждава баща си да отпусне заем за осигуряването на сателитни антени и необходимото оборудването, за да се предостави услугата на пазара в Азия.

Ли взема заем в размер на 62,5 милиона щатски долара и успешно стартира сателитната телевизия „STAR TV“, която се излъчва на „ASIASAT 1“. Само за две години, Ричард успява да разшири потенциала на компанията, осигуряваща сателитно ТВ излъчване до Индия и Китай и по-голямата част от Азия с над 45 милиона зрители. „STAR TV“ се излъчва непрекъснато 24 часа в денонощието, което е нововъведение в националните и пазарни регулации в Азия. Телевизионното съдържание се е предавало до антени с диаметър 3м, като в този период компанията категорично налага нови стандарти и методи в продуцирането и разпространяването на ТВ канали. След три години обаче, „STAR TV“ започва да губи оборот и печалба, въпреки възходящата тенденция в броя абонати. В момент на криза, интерес проявява медийният магнат Рупърт Мърдок, който към този момент управлява „FOX Networks“ в САЩ и „BSkyB“ във Великобритания. Мърдок придобива компанията през 1993, след като провежда разговор с Ричард Ли, срещу сумата от 525 милиона щатски долара. Младият Ричард Ли спечелва 400 милиона долара само за три години от бизнес начинанието си.

През 1985 година Рупърт закупува и „Twenty Century Fox films“ и ТВ студията за 575 милиона щатски долара и шест ТВ канала от „Metromedia“ и поставя началото на „Fox Networks“. За да избегне американските регулации, които забраняват притежаването на лиценз за медийно разпространение, той придобива американско гражданство на 4. Септември 1985. DTH услугите в САЩ се появяват благодарение на Стенли Хъбард, който по това време е част от „USSB – US Satellite Broadcasting“, който получава първият лиценз за услугите през 1981 година. В началото приемните антени, които са били предназначение за приемането на сигнала са в честотна лента C. Цената, размерите и ограничените възможности ограничават за съжаление услугата само до хора, които са се занимавали с дейността като хоби. Тези недостатъци не са позволявали масовото и

комерсиалното навлизане на услугата, което ограничава и постъпленията от приходи.

През 1990 година, „Hughes Communications“, „NBC“ медия и „Murdoch News cooperation“ обявяват обща инициатива за разработване на надеждна и високоефективна антена в честотна лента Ku, която ще бъде част от проект „SkyCable“. Те гарантират предоставянето на съдържание през оборудване, което ще бъде с размери между 12 и 18 инча в диаметър. Този проект така обаче и не се реализира. Междувременно Мърдок продължава да развива бизнеса си в родната Австралия под бранда „ASkyB“ и „JSkyB“ в Япония.

През 1993 година „Hughes Electronics Cooperation“ представя за първи път „DirecTV DTH“ услуга, която включва пакет от 150 телевизионни канала за американския пазар, като се използват антени с размер в диаметър 60см. В този период в Америка има четири действащи DTH оператори – „DirecTV“, „EchoStar“, „PrimeStar“ и „USBB“. През 1998 година „Hughes Electronics Cooperation“ придобиват „USBB“ за сумата от 1,3 милиарда щатски долара. Сливането на двете компании разширява инвестиционните възможности на дружеството и телевизионните програми се увеличават до 210 на брой с значително по-високо качество и премиум съдържание. На 22. Януари 1999 година „Hughes Electronics“ закупуват „PRIMESTAR Inc.“ за цената от 1,82 милиарда щатски долара и придобиват 2,3 милиона абоната на сателитна телевизия. „DirecTV“ получава и 11 транспондера на орбитална позиция 119 градуса запад и два спътника от „Tempo Satellite Inc.“. По този начин „DirecTV“ имат възможност да излъчват на по-високи честоти на една от трите орбитални позиции 101, 110 и 110 градуса запад, с пълно покритие над САЩ.

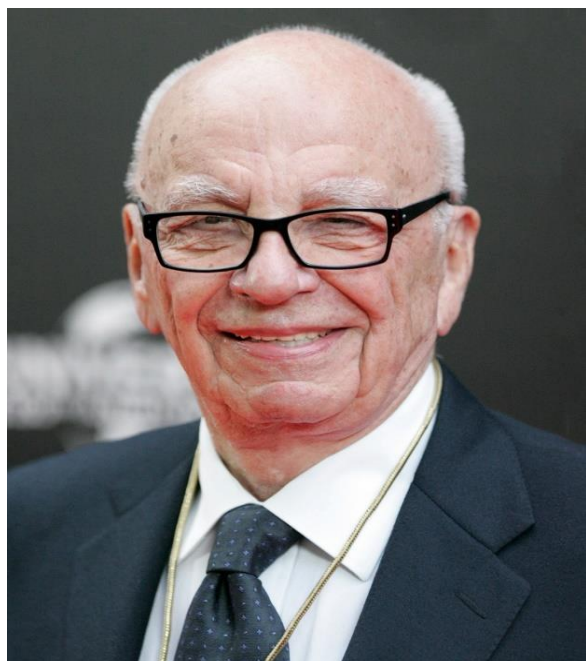
През 1981 година, предприемач на име Чарли Ерген „Charlie“ създава собствена компания на име „EchoStar Communications“. Родом от Тенеси, по професия счетоводител и завършва Финанси в университета в родния си град. Той учредява „EchoStar“ заедно с жена си Кенди и негов доверен

приятел Джим де Франко, който основно работи дистанционно от вкъщи. Бизнес идеята им първоначално е да дистрибутират антени в честотна лента С до три западни американски щати. Силата на Ерген са продажбите и това, че е обръща внимание на всеки цент, дори и след като притежава мулти-милиардна компания. През 1995 година „EchoStar“ изстрелва първия спътник, „Echo Star 1“. За да спести разходи по изстрелването, той бива изпратен в орбита от базата на „Great Wall“ в Кси Чанг, Китай. „Dish Network“ започва търговската си дейност в началото на 1996 година, след като достига 350 000 абонати в края на годината. Постигайки този пазарен успех, отзвукът на пазара не закъснява и Мърдок проявява интерес и към участие в този проект. Заедно с Ерген анонсират сделка от 1 милиард долара, като Мърдок придобива чрез своето дружество „Murdoch News Corp.“ 50 процента от „EchoStar“. Двамата обаче не успяват да създадат дългосрочни стабилни взаимоотношения, след което сделката се проваля.

Ерген обаче не се отказва да развива „EchoStar“ и в края на 2000 година успява да възстанови щетите от неуспешното партньорство. Само за четири години компанията му натрупва 5.26 милиона абонати, за сравнение с основния му конкурент „DirecTV“, който има 9.55 милиона абонати, но за шест години пазарно присъствие и придобиване на други компании и съответно потребители.

Към края на 2000 година, сателитната индустрия и бизнесът претърпява сериозни промени. „General Motors“, дъщерна компания на „Hughes Electronics“, решава да продаде всички активи на дружеството, както и търговското дружество „DIRECTV“, производителят на оборудване „Hughes Network Systems“ и сателитният оператор „PanAmSat“. Един срещу друг в наддаването отново се изправят Мърдок и Ерген, в която Ерген печели, предлагайки грандиозната сума от 30,4 милиарда щатски долара. Сделката обаче следва да се одобри от „FCC“, която обаче включва и

сливането на два сателитни оператора на пазара в САЩ. Поради тази причина, не след дълго сделката бива отхвърлена и на 10 Октомври, 2020 обявена за невалидна. „General Motors“ обаче не се отказват от продажбата и малко по-късно установяват контакт с Мърдок (Фигура 8), за да проверят, дали все още той има интерес. На 9-ти Април 2003, „Murdoch's News Corp“ и „General Motors“ се споразумяват за сумата от 6.6 милиарда долара за 34 % дял в „Hughes Electronics“, включвайки и „DirecTV“ и 80% от акциите на „PanAmSat“. Сделката се одобрява официално от „FCC“ на 19 Декември 2003 година. Притежавайки „BSkyB“, „Sky Italia“, „STAR TV“, „SKY“ в Латинска Америка, „FOXTEL“ в Австралия и „SKY Perfect TV“ в Япония, „Murdoch's News Corp.“ е най-могъщата медийна империя по това време. Той е собственик също на вестникарска група, TV медии, филмови студия, издателства на списания и книги, кабелни системи, като общият капитал на дружествата му се оценява на стойност 52 милиарда долара с годишен приход от 22 милиарда.



Фигура 8 Рупърт Мърдок, [Wikipedia]

1.4 Конкуренция и пазарни приложения

Следвайки своята пазарна логика, сателитната индустрия започва стремглаво развитие, предвид възможностите, които се откриват, както и облекчените регулации, които се случват благодарение на „PanAmSat“. Навлизането на компанията на пазара, дава възможност да се разруши монопола на „Intelsat“ и да създаде предпоставки за по-голям интерес от страна на инвеститорите, както и за по-високи нива на конкуренция.

Началото на новата вълна от спътници поставя компанията „Orion Network Systems“, начело на която застава Джон Пуенте – един от водещите инженери е „Comsat Laboratories“.

„Orion 1“ е изстрелян на 10 Декември 1994 година, като основното му предназначение е излъчване на телевизионни канали, високоскоростен сателитен интернет и мултимедийни услуги. „Orion 1“ е първият спътник, който е произведен от европейска компания, а е собственост на американско дружество.

Друг предприемач по това време е и Клифърд Лаутън, който създава „Columbia Communications Corporation“. „Columbia“ предоставя два транспондера в честотна лента C - един над Тихия океан и един над Атлантическия. Компанията става първата частна международна сателитна компания, която предлага телекомуникационни услуги в тези два региона. През Март 1998, „Columbia Communications Corporation“ придобива и оперира спътник в честотна лента C, собственост на „Intelsat“, на име „Columbia 515“ (преди това „Intelsat 515“).

През Септември 2000 година, „GE Americom“ закупува „Columbia Communications“. През 1997 година, сателитният производител „LORAL“ купува бизнеса на „ATT Skynet“, който притежава сателитната мрежа на

„Telstar“. Компанията получава наименованието „Loral Skynet“. През Октомври 1997 година „LORAL Skynet“ закупува „Orion“ и всички нейни активи. „Loral“ регистрира и дъщерно дружество в Бразилия, наречено „Loral Skynet Brazil“, което предоставя услуги през спътник „Estrela de Sol“. През 1998 година се учредява общо дружество между „LORAL“ и „Alcatel France“ на име „Europe Star“. Малко по-късно „Alcatel“ заедно с „Turk Telecom“ формират „Eurasisat“, чието седалище е в Монако. „Eurasisat 1“ се изстрелва през 2001, като има за цел да обслужва Източна Европа, Близкия Изток и независимите вече бивши СССР републики.

В Азия, предвид сериозния успех на „AsiaSat“, започва да се наблюдава повишен интерес на пазара и предпоставки за нови компании, които да навлязат и да предоставят телекомуникационни услуги. Първата държава, която се отбелязва на картата е Тайланд, която получава лиценз през „Shinawatra Satellite Company“ през 1991 година. Дружеството се управлява от бившия полицейски началник Таксин Шинаватра. „Shin Satellite“ изстрелват първия тайландски спътник „Thaicom 1“ на 10 Декември 1993, като следва и други два в средата на 90-те години.

Във Филипините, консорциум от дружества, начело на който е държавната телефонна компания „PLDT“, учредява „Mabuhay Satellite Corp.“ през 1994 година. „Mabuhay“ оперира бившия „PALAPA“ спътник, който бива преименуван на „Agila 1“. По-късно през Август 1997 година в орбита бива алокиран и сателита „Agila 2“.

Следващата държава, която се включва в азиатския пазар е Малайзия, която създава собствена компания „Binariang Sdn Bhd“. Спътник на име „Measat 1“ е изстрелян на 13 Януари 1996 година, последвайки го от „Measat 2“ през Ноември същата година. Сателитните платформи са разработени да издържат силните тропически дъждове и бури, като предоставят високо качествени DTH услуги в честотна лента KU в Малайзия, Индо-Китай, Тайван,

Индонезия, Филипините и Австралия. Компанията стартира и успешен DTH доставчик в Югоизточна Азия на име „ASTRO“.

На следващ етап в надпреварата се включва и Сингапур, която кооперира с тайванския „Chungwa Telecom“, изстрелвайки „ST-1“ на 25 Август 1998 година. Спътникът е изстрелян на орбитална позиция 88 градуса изток, от „Arienespace“ и базата в Френска Гвинея. Островната държава развива регионален хъб за сателитни услуги, който да обслужва азиатския пазар. Създава се един от лидерите в Азия – „Singtel“, които закупуват акциите на австралийския сателитен оператор „OPTUS“. Името на новото дружество е „SingTel Optus“.

През 1996 „PanAmSat“ и „Hughes Electronics Corp.“, които управляват сателитната мрежа на „Galaxy“, обединяват дейностите си, като създават и нова компания. „PanAmSat“ увеличава спътниците си до 14 на брой.

Динамиката на пазара и натискът от многобройните вече сателитни оператори, принуждава „Intelsat“ да преосмисли стратегията си и да търси варианти за приватизация. Активното участие на компании като „PanAmSat“, „SES Astra“ през 90-те години, води до спад на пазарния дял на дружеството.

Въпреки това сателитните оператори считат, че „Intelsat“ все още се възползва от съдействие на правителството и че нямат свобода да предоставят услугите си без ограничения. Една от тези предпоставки е възможността на „Intelsat“ да използват данъчни облекчения и такси в страните, в които предоставят сателитни услуги.

Средата на 90-те година, сателитните оператори активно се изправят срещу монопола на „Intelsat“ и настояват за неговата приватизация, която да доведе до равнопоставеност и свободната пазарна надпревара между участниците. През 1995 година започват преговори за приватизацията на дружеството. На 10 Февруари 1997 година „Intelsat 2000 Working Party“ –

комитет, издава доклад относно преструктуриране на „Intelsat“ с цел участието си на пазара без дискриминиращи фактори.

През 90-те години се наблюдава сериозен бум на Интернет технологиите и всички телекомуникационни услуги, което води до още по-сериозния интерес на инвеститори в тази пазарна ниша. Прогнозите и маркетинговите проучвания доказват още веднъж, че се очаква сериозен ръст на сателитните услуги. Точно по това време започват и ново агресивни стратегии със създаването на нови и с много повече технологични възможности сателитни мрежи.

Милионерите Бил Гейтс от „Microsoft“ и Крейг Маккол от „McCaw Cellular“ планират нови 840 сателита в съзвездие, наречено „Teledestic“, което ще предложи глобално телекомуникационни и Интернет покритие. Компанията „Iridium“ (преди това „Motorola“) и „Globestar“ (придобита от „LORAL“), искат да разработят сателитен телефон, който да може да предостави телефонна услуга на всяко кътче на планетата Земя.

„AT&T“ в САЩ кандидатстват за разработката на 12 спътника, които да предоставят телефонни, мултимедия и интернет услуги до потребители в цял свят. „Lockheed Martin“ също заявява интерес за изстрелването на 9 сателита „Astrolink“, които да дистрибутират гласови услуги, както и видео и данни.

„GE“ обявява също по това време проекта си за 9 спътника – „GE STAR“. „Hughes“ анонсира своята „Galaxy/Spaceway“ система от 20 сателита, чието начало е планирано за 1998 година, която ще предлага аналогични услуги на своите конкуренти. В Европа Alcatel налага своята „Skybridge“ услуга.

Междувременно „Intelsat“ обявява на 27 Март 1998 година създаването на независимата частна компания „INC“ с централно управление в Хага, Нидерландия. „Intelsat“ предоставя 5 от спътниците си на новата компания.

По-късно дружеството се преименува на „New Skies Satellites“ и започва да оперира и предоставя услугите си без влиянието на „Intelsat“.

Акционерите на „Intelsat“ осъзнават значението на приватизацията и считат, че това би бил най-правилното решение и следваща стъпка. Мениджмънтът на дружеството анализира и дава оценка, че намесата на правителствата във вземането на решения забавя значително всички вътрешни процеси, което не дава възможност на компанията да се адаптира бързо към променящата се пазарна конюнктура, което води до загуби на оборот и спад на пазарния дял. На 29 Октомври 1999, по време на събрание на дружеството в Пенанг, Малайзия, се взема ключовото решение „Intelsat“ да оперира изцяло като частна компания и същата да се приватизира изцяло. Мениджмънтът стартира 18-месечен период на поетапна приватизация.

През Март, 2000 година, конгресът в САЩ приема „Open-Market reorganization for betterment of International Telecommunications“ (Orbital Act) - документ, който има за цел да предостави още по-голяма свобода и конкурентно способност на участниците в пазара.

Тази директива гласи и изискването за приватизация на „Intelsat“, както и налага някои задължения на дружеството.

През Август 2000, „Comsat“ бива закупен от „Lockheed Martin“. „Lockheed“ е производител на сателити, като също е образуван заедно с „Intersputnik“. Компанията се казва „Lockheed Martin Intersputnik – LMI“. „LMI“ изстрелва първия си спътник „LMI 1“ на 27 Септември 1999 година. Компанията създава и друго общо дружество с „GE Americom“ в регион „Азия-Тихия Океан“ на име „Americom Asia Pacific“. Изстрелва се първият спътник „AAP 1“.

На 17 Ноември 2000 година, на общо събрание на „Intelsat“, заедно с 144 участници от различни правителства приемат с анонимно гласуване план за

приватизация на „Intelsat“. След цели 37 години като държавна компания, Intelsat официално става частна компания на 18 Юли, 2001 година.

2001 е също и годината, в която „Intelsat“ за първи път губи и първата си позиция на пазара за сателитни услуги. „SES Astra“ активно се разширяват в различни територии, като закупуват дялове в различни компании като „Nordic Satellite“, „AsiaSat“, „Brazil Star One“ и други. На 28 Март „SES ASTRA“ обявяват покупката на „GE Americom“ за 5 милиарда долара.

Сделката прави „SES ASTRA“ най-големият сателитен оператор в света, 12 години, след като изстрелват първия си сателит в орбита. До края на 2001 година „SES“ притежават сателитна мрежа от общо 28 спътника и още 13 допълнителни в партньорство с други компании като „Asia SAT“, „SIRIUS“, „BrazilSAT“, „NahuelSAT“ и други.

В първата година от новото хилядолетие, сателитната индустрия бележи своя зенит, въпреки турбулентното навлизане на Интернет технологиите и Телеком услугите. Асоциацията на сателитната индустрия публикува доклад с данни за общ оборот от 80 милиарда долара. Средният ръст на годишна база е 15%, което е обещаващо за нови инвестиции и наличие на стабилна сфера. Началото, което положи преди 37 години „Intelsat“, сега се превръща в могъща световна сателитна индустрия.

1.5 Развитие на спътниковите технологии и навлизане на мрежи на ниска наземна орбита

Сателитите на ниска наземна орбита (LEO орбита) стават все по-популярни през последните години, благодарение на способността им да предоставят високоскоростен интернет и други комуникационни услуги на потребителите на земята със значително по-добри параметри от съществуващата технология на геостационарна наземна орбита. Въпреки това, един от

основните проблеми е, че съществуващият брой наземни станции не могат да приемат и обработят ефективно трафика от тях, поради липсата на достатъчен брой такива, които да работят в конкретен честотен спектър и които да покриват изискванията на новите спътникови съзвездия.

Според последни данни, все още около 3 милиарда от населението на земята, няма достъп до Интернет и това е основната причина инвестициите в този сегмент да растат.

Наземните станции са от съществено значение за приемане на сигналите, от спътниците и предаването им до подходящата дестинация. Те действат като портал между сателита и крайния потребител, като гарантират, че данните от сателита, се получават и обработват правилно. Освен това недостигът на наземни станции може да ограничи потенциала на LEO сателитите да предоставят нови услуги и възможности, включително дистанционно наблюдение, наблюдение на земята и мониторинг на околната среда.

Този проблем е основно в райони с висока гъстота на населението, като градовете, където търсенето на високоскоростен интернет е най-голямо. Ограниченият брой наземни станции означава, че може да няма достатъчен капацитет за обработка на целия трафик, което води до по-ниски скорости и ограничена услуга за потребителите и високи нива на времезакъснение. Това от своя страна може да има негативно въздействие върху бизнеса, институциите, населението, образование и други оперативни дейности и процеси, които разчитат на тези услуги за работа,

За да се реши този проблем, има нужда от разширяване на телеком инфраструктурата, особено в райони с висока гъстота на населението. Използването на повече антенни системи ни позволява да управляваме по-

ефикасно нарастващия сателитен капацитет, както и прецизното му регионално разпределение по хъбове, за да не се натоварва мрежата и да се осигури свободен капацитет. Те могат да бъдат стратегически разположени в райони, които имат по-голямо търсене, увеличавайки общото покритие на сателитната мрежа. За да се осигури и резервираност на мрежата, често се използват и резервни Телепорт антени, които се въвеждат в експлоатация само в случай на дефект или прекъсване на функционираща основна антена. Това е важно при критични приложения и проекти, например при бедствия и аварии, дейности, касаещи националната сигурност, извънредни ситуации и други. Наземните станции се проектират да обработват различни типове трафик, включително глас, данни и видео, и могат да бъдат оптимизирани за работа със специфични приложения или потребителски групи. Наличността на по-голям брой хъбове, дава възможност за висока надеждност на услугата и гарантира високи нива на „SLA“ (Service Level Agreement), или наличност на сателитната услуга. Колкото по-малко от разстоянието до спътниковата платформа от земята, толкова по-ниски са нивата на времезакъснение и съответно по-бърз трансфер на данни. Затова и тенденцията е да се увеличава нуждата от спътници на различни орбити, освен геостационарната. Това изисква значителни инвестиции в телекомуникационна инфраструктура, включително изграждане на нови съоръжения, дата центрове и внедряване на съвременни технологии за подобряване на ефикасността на операциите на наземните станции.

Един от критичните елементи за сателитните оператори е разпределянето на трафика по спътникови платформи, както и Телепорт станциите, което изисква постоянно оптимизиране на този процес от собствениците на спътникови съвездия. Това може да се постигне чрез използването на

усъвършенствани комуникационни технологии и инструменти за анализ на данни и мониторинг на трафик, които могат да помогнат за оптимизиране на маршрутизирането на трафика между различни станции, като се гарантира, че наличният капацитет се използва в пълния си потенциал. Нарастващият брой Телепорт антени изисква и подобрене на комуникационна инфраструктура чрез разширение на наличните наземни капацитети за пренос на данни, която да управлява големите обеми от данни.

1.6 Заключение

Направен исторически и технологичен анализ на развитието на технологиите, прилагани за реализиране на услуги чрез спътникови комуникации. Обосновано е, че частта на наземната инфраструктура на спътникова комуникационна система е съществен компонент за функционирането на комуникациите, управлението на клиентския трафик и осигуряването на надеждна свързаност. Това обосновава необходимостта от разработването на технологични решения за наземните подсистеми на LEO комуникационни сателити. Чрез инвестиране в инфраструктура и модерни технологии можем да подобрим капацитета и ефективността на спътниковите мрежи, като гарантираме, че потребителите имат достъп до високоскоростен интернет, пренос на данни и глас, както и други комуникационни услуги. Въвеждането на иновационни методи и проектирането на продукти, които биха се справили по-ефективно с преноса на данни, би осигурило предпоставки за справянето с увеличаващия се брой сателити.

Основната работа задача на този дисертационен труд е да проектира, разработи проект за инсталация и конфигурация на сателитна наземна антена, оперираща със спътници на ниска наземна орбита, както и да се предложат иновативни методи за приемане, изпращане, обработване и достъп до спътниковите данни от потребителите, опериращи със съзвездията

и платформата. С внедряването на този сателитен терминал ще се докаже оптимизирането на подобни системи за работа със сателити на ниска наземна орбита, като по този начин ще се осигурят предпоставки за изграждането на технологична наземна инфраструктура, която да покрие нарастващия обем от Интернет трафик. Също така ще се приложи и подход за количествена оценка и ефективността на системата, като се анализират данните, които се обработват от системата и се съпоставят качествено със съществуващите системи.

Глава 2. Проблеми при проектиране и функциониране на системи за спътникова комуникация.

2.1 Основни компоненти и характеристики на спътниковата връзка

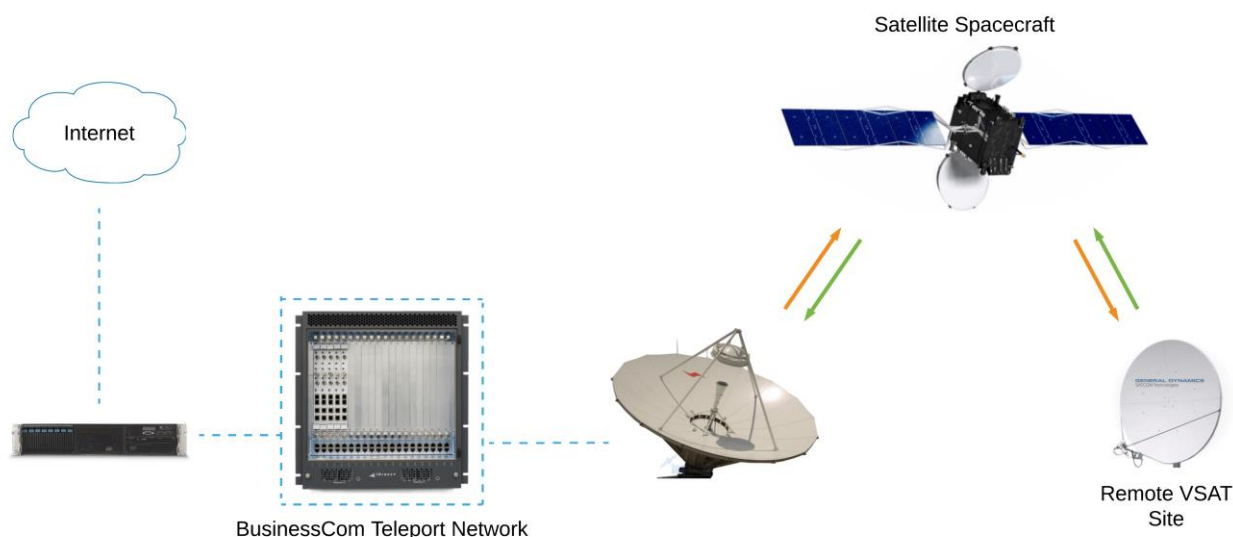
Сателитните връзки и пренос на данни заемат важна роля в глобалната телеком индустрия. Те са част от световната телекомуникационна мрежа. Тяхното съществено предимството е, че осигуряват комуникация до най-отдалечени и недостъпни места без налична кабелна инфраструктура. Необходима е инсталацията на една сателитна приемно-предавателна антена, както и модем, чрез който да се осъществи комуникация със спътник и по този начин да се обезпечи и осигури достъп до Интернет. Изкуствените спътници се намират в космоса на определена орбитална позиция и поради тази причина не са засегнати от природни бедствия на земната повърхност, като земетресения, наводнения, пожари и други. В допълнение, освен конвенционалната свързаност за наземни комуникационни услуги, чрез сателитните съзвездия се предоставя и Интернет достъп до обекти в морета и океани, където е невъзможност да се осигури свързаност през стандартна кабелна мрежа. Използвайки тази технология, могат едновременно да се покрият хиляди обекти от космоса, чрез използването на само един спътников лъч от космоса.

Несъмнено това са ключови предимства, които на този етап не могат да се заменят от нито една друга телекомуникационна технология или мрежа. Не случайно този тип връзки са предпочитани при конкретни специфични проекти и проложения като военни мисии, осигуряване на резервирана комуникация при възникване на бедствия и аварии, научни изследвания, посолства и външни държавни проекти, наблюдение на земната повърхност, достъп до глобалната мрежа в самолетната индустрия.

Спътниковите комуникации се използват за пренос на всякакъв тип услуги като данни, гласови услуги, видео и мултимедийно съдържание. Тяхната гъвкавост позволява и изграждането на различни типове преносна среда и топология на мрежите, като се внедряват и различни методи за криптиране на данните с цел по-висока сигурност, както и възможност за изграждане на виртуални частни мрежи.

Ролята им е ключова за осигуряването на непрекъсваема свързаност и преносът на масиви от данни от и до недостъпни точки, за да се осигури глобално телекомуникационно покритие. В допълнение, освен Интернет трафика и преноса на данни, те осигуряват възможност за достъп до медийно и телевизионно съдържание на домакинства, които са в отдалечени и недостъпни райони, в които няма изградени кабелни трасета и мрежи. Бързото изграждане на мрежата, широките зони на покритие чрез една сателитна платформа и надеждната и високоскоростна връзка със спътника, ги прави една от най-бързо развиващите се индустрии в 21 век.

По-долу описвам основните компоненти на една спътникова комуникационна връзка (Фигура 9).



Фигура 9 – Основни компоненти на спътниковата комуникация, [BusinessCom Networks]

Спътниковата комуникация включва два основни сегмента – космически и наземен сегмент. По-долу описвам тези две направления, както и отделните субелементи, за да се изгради сателитна комуникация [1, 26, 39, 41].

Подробна информация относно съвременните спътникови комуникационни системи и тяхното приложение е публикувана в [2, 3] публикации в тази дисертация.

2.1.1 Наземен сегмент

Той се дели на Gateway (Телепорт станция) и клиентски терминал (антенната система на крайния потребител).

Един от съществените компоненти за осъществяване на пренос на данни чрез спътникова платформа е наземният сегмент или наземната станция [4, 54, 57, 58, 59]. Ние го срещаме по-често като Gateway или Телепорт. Той се състои от система от антени, ведно с широк спектър от хардуер, инсталиран най-често в дата център в близост, които приемат и предават данните до сателитите в конкретна честота и модулационни схеми [61, 87, 88, 91, 93] и по този начин изграждат комуникация в конкретна честотна лента и модулационна схема. Оборудването, което най-често се инсталира са различни типове приемници, модулатори, демодулатори, модеми, конвертори, усилватели, матрици, суичове, хъбове и други. Сателитите оператори използват „ТТС“ (telemetry, tracking and control) антени – тя следи орбиталната позиция, както и други критични параметри на сателита в реално време, за да се гарантира сигурна услуга за потребителите. Чрез тази система се осъществява телеметрия и дистанционен мониторинг и контрол.

Крайните клиентски антени могат да се разделят в три основни категории – фиксирани (stationary), мобилни (on-the-move) и преносими (flyaway), като те се използват според конкретното приложение. Те се характеризират с честотен спектър, размер и тип на рефлектора, поляризация, автоматичен или ръчен тракинг, вид орбита и други. Колкото по-голям е диаметърът на рефлектора, както и изходящата мощност на усилвателя, толкова по-ефективна система имаме и съответно по-добра комуникация със спътника. Изборът на отделните елементи често се детерминира от спътниковия оператор, който изготвя калкулация на връзката (Link Budget), който дава указание и препоръки за минималните изисквания за антената.

Изграждането на наземния сегмент изисква правилен подбор на отделните компоненти, които функционират заедно, за да осигурят качествена комуникация и пренос на данни. Основните елементи, които са част от една антенна система (Фигура 10) за краен потребител са следните:

- Рефлектор на антенна система - това е част от антената, която отразява получените радио-електромагнитни лъчи и ги подава към облъчвателя. Използването на по-голям диаметър позволява изграждане на по-ефективна спътникова връзка [58]. Материалът, от който е произведен рефлектора е ключов и затова често се използват въглеродни влакна (carbon fiber), стъклени влакна (glass fiber) и алуминий.
- Комплект облъчвател (RF feed) – той включва облъчвателя, трансдюсер (Orthomode Transducer) и най-често към него се монтират и конверторите и усилвателите. Той може да оперира в линейна или кръгова поляризация, според сателитния лъч [58].
- Усилвател/Конвертор (Block Up Converter) – усилвателите се експлоатират в Телепорт станцията, като част от предавателните антени или се интегрират в крайния клиентски терминал [60].

Функцията им е да приемат сигнала от дата центъра (най-често от модулатора или модема), да го конвертират от честотен спектър IF или L към по-висок, който съответства на спътниковата система – най-често C, Ku, Ka, X. След което усилва сигнала, за да изпрати получената информация към сателит. За предпочитане е да се използват по-високи изходящи мощности, за да се използва по-ефективно наличния капацитет.

- Ниско-шумов усилвател – Low Noise Block Convertor (LNB) – този компонент приема сигнала от спътника, след което го усилва, за да се обработи от крайното устройство [59]. Също така конвертира от по-висока честота (C, Ku, Ka, X) към по-ниска IF или L. Има два основни типове ниско-шумови усилватели – “Phased Lock Loop”, “Dielectric Resonator Oscillator”. Phased Lock Loop усилватели могат да бъдат с външна или вътрешна референция – “external” и „internal reference”.
- Вълновод (Waveguide) Това е частта от антената, която транспортира електромагнитната вълна от облъчвателя до LNB [59, 60].
- Отопление на антената – Използва се на места, на които температурите падат под нулата и е възможно замръзването на рефлектора и дефектиране на антената, което води до загуба на връзка със спътника или интерференция на сигнала. Използват се различни типове отопления, като най-често то се прикрепя в задната част на антената, но има контролери, чрез които се задават параметрите на работа на системата.
- Стойки за монтаж – при крайните клиентски терминали имаме най-често стойки за монтаж с или без пробиване на основата, така наречените “Non-penetrating roof mounts” и „Penetrating roof mounts” [54, 58]. В зависимост от терена, на който се извършва дейността, се препоръчва и различен тип продукт.

Описаните по-горе елементи са основна част от наземния сегмент при изграждане на спътникова комуникаци. На фигурата (Фигура 11) съм илюстрирал нагледно професионална приемна антена с монтирани два ниско-шумови усилвателя (LNB), която се използва за приемане на телевизионно съдържание в два отделни подбандове в честотна лента Ku.



Фигура 10 – Приемна антена, [личен архив Красимир Терзиев]



Фигура 11 – Елементи на антенната, [личен архив Красимир Терзиев]

Както вече споменах, освен антенната система, за изграждането на спътниковите комуникации, имаме и различен вид допълнително оборудване [49, 50], което се използва в дата център или на мястото на експлоатирането на услугата, за да се осъществи връзка с платформата в космоса. Описвам част от основните компоненти:

- Модем – това устройство извършва модулация и демодулация - конвертира дигиталният сигнал, изпратен от компютъра в аналогов (модулация) и обратно аналогов в дигитален сигнал (демодулация). Модемите обработват пакети от данни, както и се характеризират с максимален обем обрботени данни (bytes), които се изпращам за орпделено време (секунди). Съвременните модеми предлагат

скорости, изразени в Mbps – megabit per second. Понеже модемите извършват модулация и демодулация, те са предназначени за двупосочен обмен на данни – приемане и предаване [87, 88, 91, 93].

- Модулатор – модулаторът е устройство, което наслагва ниско-честотна върху високо-честотна информация или сигнал за целите на безжично предаване на данни. Модулацията е необходима, защото тя е част от процеса по изграждане на спътниковата комуникация [95, 98]. Сигналите могат да бъдат дигитални или аналогови. Основните типове са обособени в три основни направления – амплитудна , честотна и фазова.
 - Амплитудна – amplitude modulation (AM), аналогова и amplitude shift keying (ASK), дигитална.
 - Честотна – frequency modulation (FM) – аналогова и frequency shift keying (FSK), дигитална.
 - Фазова – phase modulation (PM), аналогова и phase shift keying (PSK), дигитална
- Демодулатор – той има точно обратната функция на модулатора. Задачата му е да демодулира AM, FM, PM, ASK, FSK, PSK модулирани сигнали и да ги декодира и преобразува в аудио, видео изход. Също така можем да формулираме този процес, че е извличането на оригиналните данни от спътника и разделянето на полезния сигнал от многобройните радио-електромагнитни вълни, за да се приемат от крайното устройство.
- Конвертор – устройството, което преобразува по-ниска радио честота към по висока такава се нарича степ-ъп конвертор (up-converter). Когато наблюдаваме обратния процес, тоест конвертиране от по-висока честота към по-ниска, тогава използваме степ-даун конвертор (down-converter). Спътниковите комуникации се характеризират с висока честота и поради тази причина е необходимо използване на

това оборудване, за да се изпратят данните в конкретната честота, в която оперира сателитната платформа.

- IP мрежови суич – IP суичовете се използват да предадат информацията до мрежата, от устройствата, свързани към тях, чрез физически най-често Ethernet портове (различен брой – от 4 до 96). Чрез тях се осъществява сигурна и надеждна жична комуникация между устройствата, вместо wi-fi безжична свързаност. Те се използват най-често на места, където има нужда от поддръжка на голям брой крайни устройства, като най-често те обработват Layer 2 или Layer 3 протоколи.
- Рутер – Нарича се още маршрутизатор. Ролята му е ключова в комуникационните мрежи, защото той рутира или разпределя пакетите, които пристигат от различни мрежи, използвайки логика, която е предварително конфигурирана в IP адреси/таблици. Без него, IP мрежите и комуникациите няма как да функционират в синхрон.
- Хъб – това е оборудване, което се инсталира и интегрира с телекомуникационна инфраструктура на Телепорт станциите, за да обезпечи едновременно комуникация с няколко спътника и предоставя възможността за свързване на многобройни крайни терминали и устройства, с цел пренос на данни или достъп до Интернет. Хъбовете се характеризират с поддръжка на големи спътникови капацитети и съответно бърза обработка на голям обем от информация. Те спеставят и ресурси при изграждането на телекомуникационна инфраструктура и мрежа, защото хардуерът вече е предварително инсталиран и конфигуриран и услугата се предоставя лесно и бързо.
- Матрица - това е продукт, чрез който се извърша дистанционен контрол, мониторинг и управление на приеманите (downlink) и изпращаните (uplink) сигнали от и към спътника. Телепорт станциите, сателитните оператори, медийните компании и други организации в

индустрията използват матрици, за да обработват трафика, според нуждите им.

Процесът при предаване на данни е следният - предавателната антена изпраща предварително мултиплексирани, модулирани и усилен сигнал, с конкретни параметри и с точна uplink честота, която достига сателита, който е част от космическия сегмент [85, 92]. В зависимост от разстоянието от земната повърхност и типа на орбитата на спътника, наблюдаваме различно времезакъснение, забавяне на изпратените данни и обем на пренесените данни.

За изграждането на ефективна телекомуникационна връзка, е необходимо да изберем рефлексор с по-голям диаметър – колкото по-голям е размерът му, толкова по-ефективна комуникация наблюдаваме, защото постигаме по-високи нива на ефективна изотропна излъчена мощност (EIRP – effective isotropic radiated power). В допълнение на това, при експлоатация на по-голяма антенна система като размер, можем да интегрираме и по-малък усилвател, което оптимизира и разходите. Обратно на това – колкото по-малък е рефлексора, толкова по-слаб сигнал излъчваме, което предполага по-силна мощност от усилвателя, за да компенсираме загубите [96]. Друг фактор е и изборът на локацията на антенната система, което е в пряка зависимост и с нивото на елевация (вертикалният ъгъл, образуван между посоката на движение на електромагнитна вълна, излъчвана от терминала на земната повърхност, насочена директно към сателит, и хоризонталната равнина.), според географска локация и GPS координати. Колкото по-малък е градусът, толкова по-трудна е комуникацията, предвид разстоянието, което трябва да измине радио сигнала, за да достигне сателита. Най-големите загуби и интерференции се наблюдават в атмосферата, преди достигането до космоса – приема се около 100km над земната повърхност. Повечето спътници, които използваме днес, се намират на геостационарна орбита,

на около 35 786km от земята [1,4, 21, 41, 62]. При тях наблюдаваме средно времезакъснение от 240ms до приемането на сигнал от другата точка. Колкото по-слаб е сигнала от сателита, толкова антената на наземната станция следва да е по-голяма и съответно усилвателите трябва да са по-висока изходяща мощност. Нивото на сигнал на сателита се определя като „EIRP“ – ефективна изотропно излъчена мощност. Тя показва какво е нивото на сигнала, като се вземат предвид GPS координатите на антенната система. Изборът на подходящо място, което да осигури по-добра „видимост“ към сателитната система, с по-висок градус на елевация, както и локация с добри атмосферни условия и повече слънчеви дни, е ключов момент при изграждането на наземната спътникова инфраструктура.

Сателитните антени се характеризират с вид на поляризацията, която е векторна ориентация на електрическото поле спрямо земята [23, 24, 27]. По този начин спътниковият сигнал се отличава от съответния честотен диапазон. Когато се извършва линейна поляризация, векторът на електрическото поле осцилира във вертикалната или хоризонталната равнина (имаме вертикална (Vertical) и хоризонтална (Horizontal) линейна поляризация. Хоризонталният поляризационен сигнал се предава към сателитна комуникационна антена в хоризонтална равнина, а сигналът за вертикална поляризация се предава вертикално. Ако векторът на електрическото поле постоянно променя своята ориентация и ъгъла на въртене, такава поляризация се нарича въртяща се или кръгова. Тя се характеризира с висока скорост на въртене по посока на часовниковата стрелка и обратно въртене на сигнала. Полетата на въртене по посока на часовниковата стрелка и обратно въртене се разграничават в зависимост от посоката на вектора. Тя бива ляво и дясно ориентирана.

В последните години все по-популярни стават и сателитите на средна и ниска орбита (LEO – Low-Earth-Orbit и MEO – Middle Earth Orbit). Тук наблюдаваме

по-ниски нива на времезакъснения, но недостатъкът е, че тези спътници трябва да се обслужват от няколко различни наземни Телепорт станции, защото тяхната орбитална позиция е различна и те не се движат в синхрон със земята. При планирането на изграждане на сателитна комуникация се поставят минимални изисквания за оборудването, за да се осигурят конкретни параметри на услугата (скорост на данните за up и download) – определят се размер на антена, сила на усилвателя, тип поляризация и честота. Всички тези калкулации се подготвят прецизно от сателитния оператор (например Intelsat, Eutelsat [7], SES). Честотната лента също е ключов фактор, предвид това, че колкото по-висока е честотата, толкова и сигналът е по-силен и обратно. Концентрираните лъчи (при по-висока честота като Ka-band) имат по-малки зони на покритие, което ги прави по-непрактични, ако трябва да се покрият по-широки зони. Предвид комплексността при изграждането на подобен тип връзки, както многобройните характеристики, които трябва да се определят, ангажирането на инженери по сателитни комуникации е задължително, за да се изберат подходящите елементи при планирането на оборудването за наземния сегмент [1, 26, 28].

2.1.2 Космически сегмент

Той включва изкуствения спътник (Фигура 12), наречен още сателит. Думата идва от английски Artificial Satellite – изкуствен спътник, който се извежда в орбита, за нуждите на телекомуникационните услуги. Функцията му е да приема сигнали от земята и да изпрати/отрази същите към друга предварително зададена точка или локация, която е част от покритието на лъча [51, 52, 53].

Към днешна дата над 11,000 изкуствени спътника са в околоземна орбита и се използват за различни цели и приложения. Размерите им са много различни, като варират от така наречените „Cube“ сателити – чиито размери

са малко над 4 инча и те могат да се хванат с една ръка, до такива с тежест 10 тона и 34 метра дължина [33, 44, 52]. Спътниците се изстрелват от специална за целта ракета, в която сателитът се сгъва и постепенно се разгръща, при достигането на определена височина в космоса. Част от ракетата пък изгаря в атмосферата [2, 4, 25].

Два са основните елементи на сателитите [1, 4, 21]:

1. "Bus" – представлява модулarna структура, която същност оформя основата на спътника и която поддържа главните системи и подсистеми за нормалната оперативна работа.
2. „Payload“ - включва комуникационната част на спътника – транспондерите, комуникационни антени – приемни и предавателни [62].

- Части на "Bus" сегмент

- Структурна подсистема (Structural Subsystem) - Това осигурява механичната опора за целия сателит, включително полезния товар и други подсистеми. Той е проектиран да издържа на напрежението при изстрелването и суровите условия в космоса.
- Подсистема за захранване (Power subsystem) – тя генерира, съхранява и разпределя електрическа енергия към различните системи на сателита. Основният източник на енергия, използван от електронно работещото оборудване в космоса, са соларните клетки. Въпреки това, батериите също са включени в такива системи, които предлагат захранване в режим на готовност, в случай на липса на слънчева енергия. Тук трябва да се отбележи, че мощността, генерирана от единична соларна клетка, е доста малка от тази, която действително се изисква от оборудването, така че вместо да се използва една, се използват масиви от клетки, в последователна и паралелна конфигурация за постигане на желаното ниво на мощност [48].

- Подсистема за контрол и определяне на позицията (Attitude Control and Determination Subsystem) - тази система поддържа ориентацията и позицията на сателита в пространството, като гарантира, че антените, сензорите и слънчевите панели са правилно насочени. Обикновено се състои от сензори за измерване на отношението и позицията на сателита и задвижващи механизми, като тласкащи устройства или реактивни колела, за извършване на корекции, ако е необходимо. Контролът на сателита съответства на контролирането на ориентацията му, докато обикаля около Земята. Това е решаваща част от проектирането и поддръжката на сателитната система, тъй като това позволява на сателитната антена да се насочи точно към конкретния регион на земята.

По време на този процес се установява ориентацията на спътника в пространството и след това трябва да се активира правилното контролиращо действие в случай на грешка. По принцип позицията на спътниците се променя във времето, поради което изисква наблюдение и периодична корекция. Спътниковите платформи също така трябва да заемат определена орбитална позиция, за да се спазват изискванията на международния телекомуникационен съюз (International Telecommunication Union) и да не пречат на съседните платформи в космоса.

- Подсистема за термичен контрол (Thermal Control Subsystem) - Сателитите, обикалящи около земята, биват засегнати от големи температурни колебания и има различни причини за това. Температурата на спътника варира поради слънчевите лъчения и тези идващи от земята. Освен тях, сателитната система също генерира топлина и всички тези фактори повишават температурата и за правилна работа тя трябва да се поддържа в граници. За да се

постигне това, един от важните фактори е оборудването да работи в подходяща атмосфера. Тази система регулира температурата на сателита, за да защити чувствителната електроника и други компоненти от екстремни температурни колебания. Обикновено използва пасивни техники, като изолация, и активни техники, като нагреватели и радиатори, за поддържане на стабилна среда.

- Подсистема за задвижване (Propulsion Subsystem) - Това дава възможност за промяна на орбитата на спътника или запазване на неговата позиция. В зависимост от изискванията на мисията, задвижването може да включва химически, електрически или други технологии за задвижване.
- Комуникационна подсистема (Communication Subsystem) - Това позволява комуникация между сателитните и наземните станции, улеснявайки предаването на команди, телеметрия и данни за полезен товар. Комуникационната подсистема обикновено се състои от антени, предаватели и приемници. Системата произвежда електрически сигнали пропорционално на количеството, необходимо за измерване, кодира ги и предава до желаната наземна станция. Функцията за телеметрия е свързана с измерване на разстояние. Телеметричните сигнали се състоят от информация за околната среда, сателитна информация, заедно със електрозахранването и налягането на съхраненото гориво [31, 32, 35].

- Части на Payload сегмент

- Транспондер – това е частта от сателита, който изпълнява функцията за приемане и предаване на данни (Фигура 13). Той е най-важната част, чрез която се пренася телекомуникационен сигнал от и към земята. Транспондерът съответства на канал, образуван от последователно

свързани единици между предавателна и приемаща антени. Те не представляват отделно оборудване, а комбинация от елементи, образуващи канал за комуникация. Следователно транспондерът е съществена единица за сателитна комуникация. Ширината на честотната лента на транспондера зависи от технологията, използвана за сателита, както и от естеството на сигнала, който се предава. Той е включен както в връзката нагоре (uplink), така и във връзката надолу (downlink).

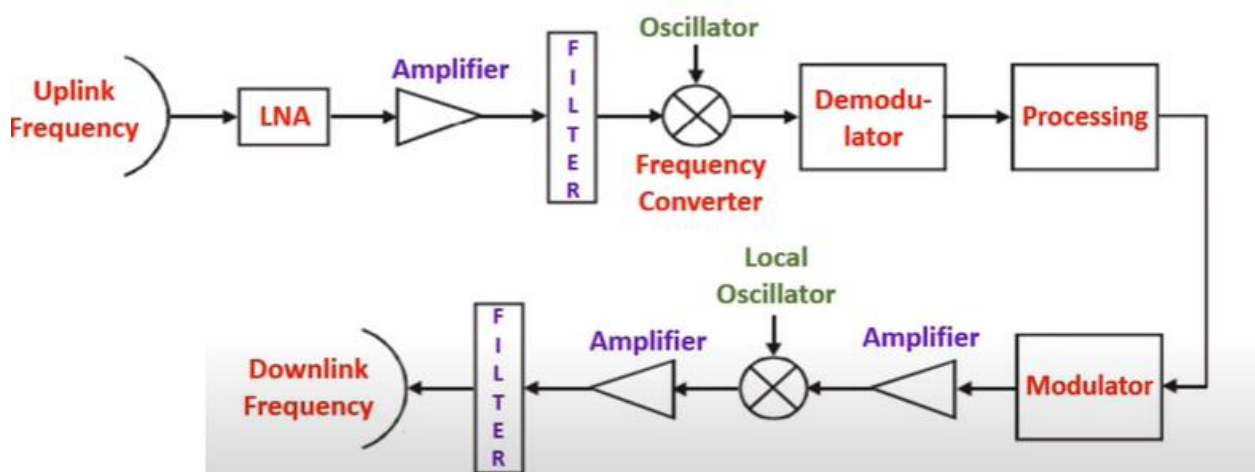
Сателитите имат най-често между 20 и 40 транспондера, както и работят в две поляризации. Животът на един спътник средно е между 10 и 15 години. Основните причини за прекратяването му на дейност са липсата на гориво в малките йонни ракети (thruster), грешка в някой от основните компоненти като електроника, соларни панели или контролираща система. Възможно е също сателитният оператор да използва дадената орбитална позиция за друг нов или съществуващ спътник. След като горивото намалее, сателитът заема наклонена орбита (inclined orbit), като това все пак дава възможност да продължи функционирането му, но доста по неефикасно от гледна точка на връзка с наземните антени. Когато горивото свърши изцяло, той се засилва към гробищна орбита (това е валидно за спътниците на геостационарна орбита), където остават като космически боклук. Сателитите на ниска наземна орбита изгарят в атмосферата, преди да достигнат земната повърхност.

Преди приключването на оперативната работа и живота на платформата, тя се заменя с нова и по този начин се продължават комуникационните услуги. При дефект на сателитни системи, често операторите осигуряват резервен капацитет.

Космическият сегмент и ключов елемент при изграждане на този тип комуникация, защото има за цел да приема, съхранява и препредава сигналите до наземния сегмент.



Фигура 12 – Изкуствен спътник, [Mobile World Live]



Фигура 13 – Сателитен транспондер и приемане/предаване на данни, [SatNow]

Еднопосочната комуникация между наземния сегмент през спътника и до конкретната целева дестинация, до клиентския терминал се нарича

симплекс. Тези връзки са еднопосочни, защото се изпращат данни само към отдалечения терминал. Двупосочните връзки осъществяват пренос на информация от едната точка към другата и обратно – те се наричат вече дуплекс.

В Телепорт станцията се извършва конвертиране и модулиране на сигнала в конкретен честотен спектър и модулационна схема, за да се подготви за изпращане към спътниковата платформа. Той може да бъде аналогов, както и цифров. За да излъчим аналогов сигнал, обикновено използваме честотна модулация – (Frequency modulation – FM). Когато модулираме цифров сигнал се употребява най-често фазова модулация (Phased Shift Key) – BPSK, QPSK, 8PSK, 16 APSK и т.н [87, 91, 93].

Телепорт антената изпраща модулирания сигнал до съответната сателитна платформа. Спътникът приема сигнала чрез приемни антени, след което го усилва и конвертира в подходяща честота. Той се изпраща обратно към земята, до конкретния краен клиентски терминал, който получава информацията, според зададените параметри.

Приемната антена на земята получава сигнала в по-висока честота, чрез наличните ниско шумови усилватели (Low-Noise-Block) го усилва, конвертира го към по-нисък честотен спектър, за да може да оперира с оборудването в дата дентъра (най-често в IF или L честотна лента) и се доставя в завършен вид. Данните се пренасят чрез използване на транспондерите на спътника, които представляват комуникационната част. За целта от земята се извършва модулиране на носещи честоти, наречени “carriers” на английски език. Ние разглеждаме различни видове мрежови топологии, но често прилагаме “звезда”, защото имаме възможност да осигурим достъп до Интернет до стотици отдалечени модеми едновременно, използвайки технологията TDMA (time division multiplexing). В допълнение, през един транспондер, можем да пренесем няколко канала, като едновременно те се доставят до широка

зона, в зависимост от покритието на лъча. Сигналят се мултиплексира предварително до единичен сигнал, след което се излъчва на платформата, която го предава към наземната приемна антена. В този случай прилагаме „MCPC“ (multiple channels per carrier) или „multiple connection per carrier“, защото изпращаме едновременно голям брой канали върху на една носеща честота или транспондер. Когато се излъчват няколко канала в един поток, често се заема и голяма честотна лента от сателитния оператор.

При „MCPC“ мрежите можем да определим честотната лента, от която се нуждаят, осигурявайки повече гъвкавост при предаване на телевизионните програми и канали.

2.2 Основни мрежови топологии и честотни ленти, приложими в сателитните комуникации.

Основните мрежови топологии, които се използват в сателитните комуникации са: Звезда (star), мрежа (mesh) и единичен канал на носеща честота (single channel per carrier) [40, 45] .

- SCPC или „single channel per carrier“ е широко използван термин. Сателитният транспондер има определена честотна лента и е разделена на брой носещи честоти, като се има предвид честотната лента за брой. Например сателитът в обхват „С“ с обща честотна лента от 500MHz е разделен между много транспондери с честотна лента от 36MHz. Тя се използва за пренасяне на информация под формата на глас или данни. Тези линии за глас или данни се наричат канал. „SCPC“ означава единичен канал на сателитен транспондер. Каналът за глас или данни се модулира през носеща честота и се предава с помощта на наземната антена към сателита и същият модулиран сигнал се конвертира/усилва и се изпраща надолу към приемащия терминал от другата страна чрез транспондер – тук имаме аналогичен принцип на изпращане, обработване и приемане на информацията като при MCPC (multiple channel per carrier).

- Звезда (star) - сателитните мрежи със звездна топология осигуряват IP свързаност с наземен хъб в Телепорт станцията на оператора. Чрез използване на мрежово оборудване, което се свързва към VSAT (very small aperture terminal) хъб, който едновременно доставя спътников капацитет до многобройни отдалечени клиентски терминали, които получават достъп до Интернет мрежата.

Една от технологиите, които се прилагат при мрежи тип „звезда“ е TDMA – „time division multiplexing“, която се използва при изпращане на данни до няколко дестинации. Този начин дава възможност да се използва същата честота, която всъщност разделя сигнала на няколко времеви слота. Терминалите се редуват през много кратки интервали, като използват абсолютно същия заложен и предефиниран слот на транспондера и по този начин се оптимизира използването на спътниковия ресурс и капацитет.

Спътниковите комуникации е необходимо да се спазват определен честотен спектър, алокиран от сателитните оператори. Освен това те трябва да спазват и работят в пълно съответствие с международните регулации, които се определят и контролират от Международния телекомуникационен съюз (International Telecommunication Union – ITU [9]). Създаден е през 1934 година и е със седалище в гр. Женева, Швейцария. В съюза членуват 193 държави и над 700 организации от частния сектор. Международният телекомуникационен съюз има три главни направления като функции:

- Радио комуникации (Radiocommunications) - Разпределение и използване на радиочестотния спектър и спътниковите орбити
- Стандартизация (Standardization) Стандартизация на телекомуникационните услуги
- Развитие (Development) – Развитие, подобряване и разширяване на телекомуникационните услуги

Основните характеристики и параметри на спътниковите комуникационни системи, които се следят от съюза, са избор на честота, максимална излъчена мощност, орбитално местоположение на спътника. Целта на тези мерки за намаляването на интерференциите между различните мрежи и системи, излъчващи е един честотен спектър, без значение къде се намират – дали на земята или във въздуха и космическото пространство. За да се планират правилно сателитните мрежи, имаме три отделни региона:

1. Регион 1 – Европа, Африка и бившият ССР и Монголия
2. Регион 2 – Северна и Южна Америка и Гренландия
3. Регион 3 – Азия, Австралия и югозападен Пасифик

Честотният спектър [1, 4, 6, 11, 12] е в основата за създаването и утвърждаването на надеждна комуникационна връзка, като също така определя необходимото оборудване, което трябва да се използва при изпълнението на този процес. Важно е да се отбележи, че честотата представлява съществен параметър, който влияе върху дължината на вълната, сила на сигнал, и съответно върху множество аспекти на комуникационната система.

Средата, през която се разпространява вълната, е от критично значение за сателитните комуникации, поради разнообразните интерференции, които могат да възникнат при преодоляването на големи разстояния до геостационарни спътници. Тази среда се отличава със свойствата на коаксиални вълни, както и с влиянието на атмосферата на Земята и космическото пространство.

От съществено значение е да се подчертае, че най-честите загуби в сателитните комуникации настъпват поради отражението на радио вълните от йоносферата, която представлява слой от земната атмосфера със специфични характеристики и електромагнитни свойства. Разбирането и управлението на тези различни аспекти на честотния спектър са от

изключително значение за успешната реализация на сателитни комуникационни системи.

По-ниската честота е предпочитана при осъществяване на сигурна връзка, защото тя е устойчива при по-лоши атмосферни условия. По-високата честота има по-силен сигнал и съответно ефективна изотропна излъчена мощност, което дава по-високо съотношение на сигнал/шум "C/N", но за сметка на това, тя не е стабилна при лошо време. В този случай, когато използваме по-висока честота и имаме по-силен радио сигнал, се изпращат и приемат по-големи обеми данни през транспондера. При някои сегменти като мобилни сателитни услуги „MSS-mobile satellite service“, наличието на услуга и съответно покритие е от съществено значение, а не толкова обема данни и поради тази причина се използва ниска честота – най-често в честотна лента L. В морския „VSAT (very small aperture)“ сегмент е необходима 100% наличност на интернет услугата, защото ако настъпи бедствено положение, екипажът трябва да може да изпрати спешна нотификация, за да предотврати бедствие [72, 74, 80]. В сегменти като „директно до дома“ (DTH – Direct to Home) се изисква по-голям обем наличен сателитен капацитет, защото се приемат пакет с телевизионно съдържание, поради което се препоръчва използването основно на по-високи честоти – Ku или Ka, за да се утилизира по-ефективно ресурса на транспондера.

Най-широко използваните честотни ленти са VHF, L, S, C, X, Ku, Ka.

Честотна лента VHF – Честотният обхват VHF (Very High Frequency) заема от 30 до 300MHz и намира свои основни приложения в специфични навигационни услуги и функции, както и в областта на предаването на данни от метеорологични сателити. Тази честотна лента се отличава със своите характеристики, които я правят особено подходяща за реализацията на специфични цели и приложения. Основната употреба на VHF честотния обхват включва навигационни услуги, където надеждната комуникация и

прецизното определение на местоположение са от критично значение. Този обхват се използва в морската навигация [72, 73, 74, 75, 77, 78, 79], въздушното движение и други сфери, където сигурността и точността на комуникацията са ключови фактори.

Освен това, той се използва и за предаване на метеорологични данни от специализирани сателити. Тази функционалност играе съществена роля в наблюдението и прогнозирането на метеорологични явления, което е от изключително значение за предупреждението от природни бедствия и оптимизацията на ресурсите в селското стопанство и други области.

Любителски научни изследвания и експерименти също извличат ползи от VHF честотния обхват. Хоби учени и ентусиасти го използват за провеждане на различни научни тестове и експерименти, което допринася за развитието на знанието и практиката в областта на радиокомуникациите и радиоизлъчванията.

Честотна лента L – Този обхват е ограничен в широкия спектър на честотите и по-конкретно се ограничава в интервала между 1 GHz и 2 GHz. Това ограничение има съществено влияние върху капацитета и възможностите за пренос на данни, които могат да бъдат реализирани чрез нея. Въпреки тази ограничаваща характеристика, тази честотна лента представлява неотменен ресурс, особено поради ниската честота, която предоставя. Тази нискочестотна характеристика допринася за надеждната комуникационна връзка и обезпечавя сто процентова наличност на комуникация, ако има сателитно покритие.

Тази конкретна честотна лента се използва често в корабни и морски средства, където нейните особености са от решаващо значение. Терминалите, настроени да работят в тази лента, се интегрират успешно в мрежите на сателитни оператори като Thuraya, Iridium и Inmarsat. Тези оператори предоставят надеждна и широкодостъпна комуникационна

инфраструктура, която е от съществено значение за морския и корабния сектор, където сигурността и непрекъснатата връзка са критични фактори за успешната навигация и операциите [72, 73, 74, 79].

Честотна лента S - представлява част от електромагнитния спектър, която е предназначена за сателитно предаване и обхваща честотния диапазон от 2 GHz до 4 GHz. Този честотен обхват играе важна роля в сателитните комуникационни системи и е използван от редица доставчици на мобилни сателитни услуги (MSS - Mobile Satellite Services).

Сателитните мрежи, базирани на S-лентата, предоставят широк спектър от услуги, включително гласови и данни за мобилни потребители, навигационни и спасителни услуги, както и връзка в отдалечени и региони с ограничен достъп до наземни комуникационни мрежи. S-лентата се характеризира с оптимална комбинация на проникване през атмосферата и висока пропускателна способност, която я прави подходяща за широк спектър от услуги.

S-лентата предоставя възможности за разнообразни приложения и е съчетание от техническа функционалност и ефективно използване на електромагнитния спектър.

Честотна лента C - обхватът представлява част от електромагнитния спектър, която се определя като честотен диапазон от 4 GHz до 8 GHz. Този честотен обхват е основен компонент в сателитните комуникации. Сателитните антени, специализирани за C-обхвата, намират широко приложение в региони по света, където климатичните условия, като силни дъждове и други интензивни явления, могат да доведат до деградация на сигналите. Типичните размери на сателитните антени в C-обхвата се установяват в интервала от 1,8 метра до 2,4 метра. Тази разновидност на антени е наложителна, тъй като по-

големите размери позволяват по-добро приемане и предаване на сигнали в условия на атмосферни интерференции, които често се срещат в региони с интензивни климатични явления. Сателитните комуникации в тази честотна лента имат предимство, че функционирането им е по-малко уязвимо от затихване при дъжд и други метеорологични фактори, спрямо други честотни обхвати. Този фактор ги прави подходящи за употреба, особено в региони като Азия, Африка и Латинска Америка, където климатичните условия могат да бъдат непредсказуеми и с променлив характер. В същото време, С-обхватът предоставя достатъчно пропускателна способност, за да поддържа надеждна комуникация, което го прави подходящ за разнообразни сателитни приложения.

Честотна лента X представлява честотен диапазон, който обхваща интервала от 8 GHz до 12 GHz. Тя има кратка дължина на вълната, която позволява на радарните системи да създават изображения с по-висока разделителна способност. Това е от съществено значение за идентификацията и разграничаването на цели в радарни приложения. X лентата се използва широко в граждански, военни и правителствени сектори за разнообразни цели, включително мониторинг на времето, контрол на въздушния трафик, контрол на трафика на морски кораби, проследяване на отбраната, скорост и наблюдение на движението. Едно от ключовите предимства на тази лента е способността да минимизира атмосферното затихване в сравнение с честоти над 10 GHz. Този фактор прави X лентата подходяща за използване в различни климатични условия и осигурява висока наличност на връзка както за сателитните комуникации (SATCOM), така и за радарните решения за наблюдение на времето.

KU обхватът представлява разпределен честотен диапазон, обхващащ интервала от 12 GHz до 18 GHz, и заема важно място в сферата на сателитните комуникации. Сателитните системи, използващи този честотен

обхват, са сред най-преобладаващите и разпространените, предоставяйки широк спектър услуги за видео, глас и данни както за индивидуални потребители, така и за бизнес организации.

Специфично, Ku обхватът е предпочитан за виртуални мрежи за сателитна комуникация (VSAT -very small aperture terminal), които често се използват в комерсиални и корпоративни приложения. Тези VSAT системи в Ku обхвата най-често са базирани на геостационарни (GEO) сателитни платформи. Разпространението на Ku обхвата сред тези системи се дължи на оптималния баланс между пропускателната способност и надеждността на връзката.

Сателитните антени, специализирани за Ku обхвата, са характеризирани с по-компактни размери спрямо тези в C обхвата, но се наблюдава нестабилност на сигнала при интензивни дъждове, подобни на мусонни. Този фактор обаче не ограничава широкото приложение на Ku обхвата, който често се използва в региони като Европа и Северна Америка, където климатичните условия са по-предсказуеми.

Размерите на двупосочните Ku антени варират в широк интервал, обхващащ размери от 75 сантиметра до 1,8 метра, което позволява адаптацията към различни приложения. Ku обхватът продължава да играе ключова роля в развитието на сателитните комуникационни технологии и предоставя надеждна инфраструктура за широк спектър от комуникационни услуги и приложения.

KA band – Ka обхватът представлява определен честотен диапазон в електромагнитния спектър, който е разпределен между 26 GHz и 40 GHz. Този честотен диапазон се използва основно за предоставяне на високоскоростна широколентова интернет връзка и пренос цифрово видео и аудио предавания.

Сателитите, работещи в Ка обхвата, се характеризират с няколко важни технически характеристики. Първо, те осигуряват възможност за двупосочна или двупосочна комуникация, което означава, че могат да осъществяват както изпращане, така и приемане на сигнали. Този аспект е от съществено значение за сателитните системи, предлагащи интернет връзка и други двупосочни услуги.

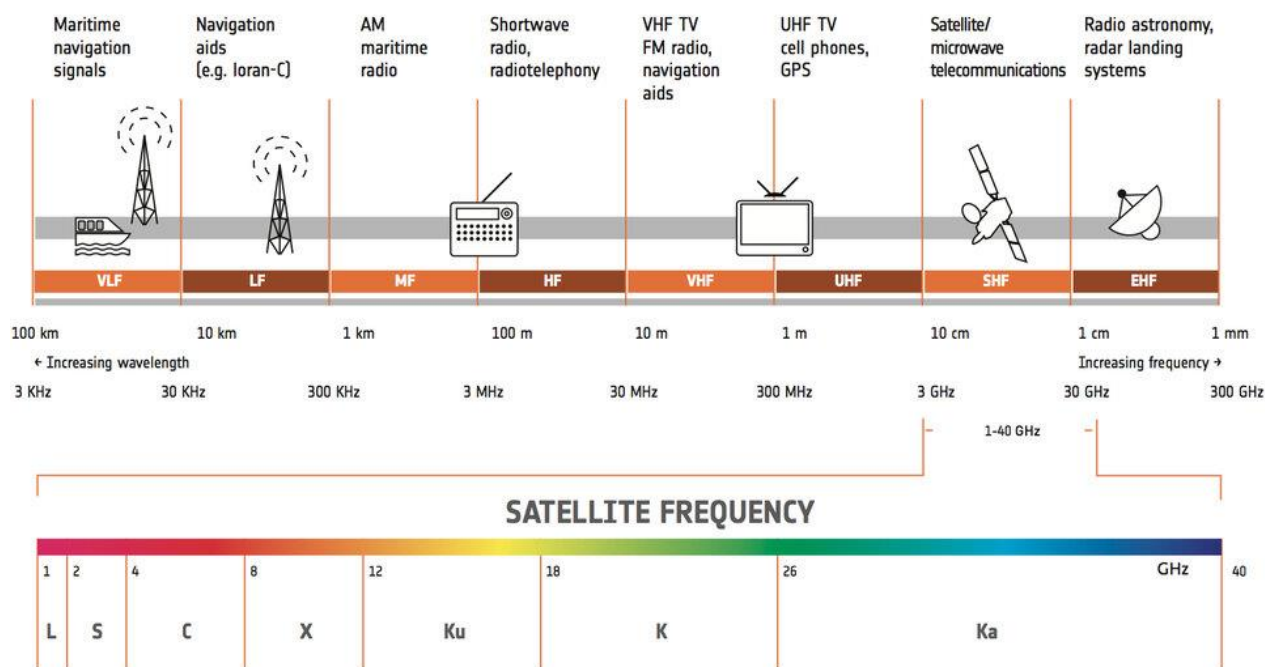
Също така, спътниците в този честотен диапазон разполагат с транспондери, които имат по-широка честотна лента. Това им позволява да осигуряват точкови лъчи с по-голям общ капацитет, които могат да бъдат насочвани или фокусирани към райони с по-висока гъстота на население или други приоритетни области. Този подход увеличава ефективността на сателитната комуникация и позволява обработване на по-голям обем услуги.

Освен това, сателитите в Ка обхвата се отличават със способността си за по-ефективно използване на наличния честотен спектър. Това се постига чрез многократно повторно използване на една и съща честота, което увеличава капацитета и ефективността на сателитната комуникация.

Сателитните системи в Ка обхвата могат да бъдат използвани както в геостационарна (GEO) орбита, така и в не-геостационарна (non-GEO) сателитни системи. Тези характеристики правят Ка обхвата важен честотен ресурс за сателитните комуникации.

Това са основните приложими честотни бандове, като по-късно в дисертацията ще разгледаме конкретните области на приложение, както и технологиите, които се използват по сегменти.

По-долу е представен в табличен вид международното разделяне на честотния спектър (Фигура 14).



Фигура 14 – Радио честотен спектър, [European Space Agency]

Честотата е основно понятие в изграждането на сателитни комуникационни мрежи. Тя е физична величина, която измерва брой повторения на едно и също събитие за единица време. За да я определим бихме могли да фиксираме един времеви интервал, да се преброят повтарящите се събития в този интервал и да го разделим на интервала. Честотата се измерва в Hz от името на немския физик Хайнрих Херц. Ако приемем, че честотата е 1 Hz, то това означава че това събитие се случва един път на всяка 1 секунда.

Сателитният честотен спектър разделя честотите на предаване и приемане с цел избягването на интерференции. Те също се прецизно определени от „ITU“ в конкретна честота [6, 9].

- C band – 5.85 – 7.075GHz uplink и 3.4 – 4.2GHz downlink
- KU band -13.75 – 14.8GHz uplink и 10.7 – 11.7GHz downlink
- Ka band – 28.0 – 30.0GHz uplink и 17.7 – 19.7GHz downlink

Орбитална позиция – Всеки един спътник на геостационарна орбита, се характеризира с орбитална позиция. Арката започва от Гринуичкия меридиан, който е на 0 градуса и разделя кълбото на две части по 180 градуса. По този начин сателитите се обозначават с точна позиция в космоса или така наречената „орбитална позиция“ Тя е важна за изчисляването на азимут и елевация на Телепорт антената или крайния клиентски терминал. Например сателитната платформа „SES 4“ се намира на орбитална позиция 22 градуса изток. По този начин се ориентираме къде да насочим наземните антени за да комуникират ефективно с платформата.

Подробна информация относно структурата, елементите и регулацията в сектора е публикувана [3] публикация в тази дисертация.

2.3 Основните видове услуги, предлагани от спътниковите мрежи. Типове сателитни орбити

2.3.1 Основни видове услуги

Фиксирани сателитни услуги (Fixed Satellite Services - FSS) - Осигуряват комуникации между една или няколко фиксирани наземни локации чрез ретранслация през един или няколко спътника. Когато имаме пренос през няколко сателита, се осъществява така наречената „inter satellite service“ комуникация. Това решение се отличава с това, че лесно могат да се разделят на няколко носещи, което го прави предпочитан при изграждането на спътникови връзки. Поддържат се телефонни гласови услуги, пренос на данни, факс, видео и телевизионно съдържание, радио и други [65].

- Радио и Телевизионно разпръскване (Broadcast Satellite Service - BSS) – тази технология се използва най-често при излъчването на телевизионни канали и

съдържание, например при "Direct to Home" (директно до дома) услугите [2, 10, 19, 89]. Тук е характерно използването на цели транспондери, за да се пренесе мултиплексираното телевизионното съдържание до крайните клиентски антени. Този метод се използва от кабелните оператори предвид ефективността на честотната лента и използването на целия капацитет в транспондерите – 36MHz, 54MHz или 72MHz. Те се делят на два основни типа – многофункционални и системи за директно спътниково приемане, като те се различават от максималната допустима плътност на потока на мощността (Power Flux Density).

- Директни радио и телевизионни услуги (Direct broadcast system - DBS). Предвид зависимостта от плътността на потока и по-високата им честота от стандартната, те предлагат по-ограничено покритие на земната повърхност. Честотната лента към спътника е 17.3 – 18.1 GHz, а от спътника 11.7 – 12.75GHz. Използва се най-често кръгова поляризация.

- Директно до дома услуги (Direct to home - DTH) – това е най-често използваната услуга за излъчване на телевизионно съдържание до крайни абонати. Предимството е, че оборудването е достъпно и с подходящи размери, което улеснява и експлоатацията от крайните потребители. Тази услуга се предлага от кабелните оператори, които осигуряват комплект от сателитна антена и декодер, чрез който се предоставя голям брой канали.

- MSS – Mobile Satellite Services – мобилни спътникови услуги - осигуряване на сателитна връзка до подвижни обекти, на които най-често се монтират портативни и преносими антени и терминали, които имат автоматичен тракинг, за да проследяват сателита към който са насочени. Индустриите, в които се прилагат са морски, авиационни и наземни като влакове, автобуси и т.н. В зависимост от приложението, крайните терминали се монтират на различни места. При наземна мобилни решения, антената е на превозното

средство, при кораби или луксозни яхти в морския сектор, те се инсталират на борда, а в авио индустрията на самолета.

- Радилюбителски връзки – осъществяват се най-често чрез любителски спътници и се изграждат комуникационни връзки с некомерсиална цел.

- Глобална система за позициониране (Global Positioning System – GPS) - мрежа от спътници, разположение на средна назема орбита (около 20 000км от земната повърхност), които служат за определяне на положението, скоростта и времето с точност до 1 наносекунда във всяка точка на земното кълбо и околоземна орбита в реално време. Чрез измерване на точното разстояние от мястото, чиито координати търсим, до група спътници, чиито координати вече са точни и предварително определени [30].

- Метеорологични услуги – метеорологични сателити като „METEOSAT“, „NOOA“ за наблюдение и изследването на земята за метеорологични цели.

- Радиоопределящи спътникови услуги (Radiodetermination satellite service - RDSS) – използват се в авиацията за точно определяне на местоположение, скорост или други параметри на обектите. „RDSS“ системата позволява обмен на точни данни и координати между различни обекти, а не само едноточностно.

- Радио навигационни спътникови системи (Radio Navigation Satellite Services – RNSS) – прилага се в морската индустрия и се използва за определяне на време, местоположение, скорост на плавателното средство. Също така тук се предлагат и гласови комуникационни услуги [5, 16, 18].

- Военни услуги – мрежа от сателити, които се използват за военни цели. Често те оперират в различна от комерсиалната честотна лента – например X.

Орбиталното положение на сателита представлява важен аспект при разработката и функционирането на сателитни комуникационни системи

[4, 43, 46]. Тази характеристика има съществено влияние върху различни параметри, включително ефективността на радио комуникацията, време закъсненението на сигналите, изискванията към хардуера и други.

При изследването на орбиталното положение на сателита трябва да се има предвид, че в космическото пространство всички тела взаимодействат гравитационно помежду си. Тези гравитационни влияния могат да повлияят на траекторията и орбитата на сателита. Затова, сателитите се изстрелват с изключителна прецизност, за да се осигури тяхната точна позиция в орбита, която е съответства на изискванията на конкретната телекомуникационна мрежа и стандарт.

Орбиталните параметри на спътниците се определят, следвайки закона за движение на планетите, формулиран от Йоханес Кеплер, и общата теория на гравитацията, разработена от Исак Нютон. Тези научни принципи позволяват точното определяне на орбиталната позиция на сателита и осигуряват необходимата прецизност при изстрелването и управлението им в космическото пространство. Този подход е от съществено значение за успешното функциониране на сателитните комуникационни системи и гарантира стабилна и надеждна връзка в рамките на телекомуникационната еко система.

2.3.2 Типове сателитни орбити [1, 4, 20, 21, 22]

- Геостационарна околоземна орбита (Geostationary earth orbit – GEO)

Геостационарната орбита, известна още като геосинхронна орбита (GEO) е важна за спътниковите системи в космическото пространство, защото тя се използва най-масово днес. Тя се характеризира с това, че сателитът обикаля земята с период от точно 24 часа, съответстващ на периода на въртене на земята около своята ос. Това позволява практически обектът да е стационарен относно определена точка на

земната повърхност, което е от ключово значение за сателитните комуникационни системи. Тя не може да бъде прецизно запазена от спътниковите платформи, поради влиянието на различни сили, които действат върху тях. В допълнение към гравитационните сили, изпълняващи важна роля за запазването на сателита в орбита около земята, има и други външни гравитационни влияния, предизвикани от слънцето и луната. Тези сили увеличават ъгъла на инклинация на изкуствения обект, което може да доведе до отклонение от геостационарната орбита. За коригиране на тези грешки и поддържане в желаната орбита и позиция, се използват малки тягови устройства "thruster" или йонни ракети, които извършват периодични маневри. Те се задават и контролират от земната станция, чрез антената за телеметрия и контрол (Telemetry, Tracking and Control Antenna - TTC), която осигурява връзка и отдалечена комуникация със сателита. Този процес на корекция и управление на сателитите в геостационарната орбита е от съществено значение, за да се осигури непрекъснатата и надеждна комуникация през тези сателитни системи.

За да се нарече една орбита геостационарна, тя следва да отговаря на следните три условия – спътникът да се движи на изток със същата ъглова скорост, както тази на земята; орбитата да е кръгова, а не елиптична (ексцентричност $e=0$), за да може геостационарната орбита да съвпада с екваториалната равнина; ъгъл на инклинация трябва да е равен на нула. Изпълнявайки тези условия, спътникът, погледнат от земния екватор, се намира на приблизително 35 786 км от земята. Орбиталният период е равен на периода на завъртането на земята. Практически сателитът прави една пълна обиколка на земята също за 24 часа. Идеята за тази орбита е развита и предложена от Артур Кларк през 1945 година.

За да определим радиуса на геостационарната орбита от центъра на земята, можем да използваме трети закон на Кеплер.

$$r_{GSO} = \left(\frac{\mu}{4\pi^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot T^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{3,986004 \cdot 10^5}{4\pi^2} \right) \cdot (86164,09)^{\frac{2}{3}} = 42164,17 km$$

Височината на геостационарната орбита от земята може да се определи като се отчита, че радиусът на земята по екватора е $r_e = 6374.14 km$

$$h = r_{GSO} - r_e = 35786.03 km$$

Предимствата на тази орбита са:

- Спътникът е стационарен по отношение на земята и поради това, влиянието на доплеровия ефект е значително по-малък.
- Орбитата е на доста голяма височина и разстояние от земята и поради тази причина сателитите могат да покрият голяма част от земната повърхност – около 43%. Нужни са само 3 спътника, които да се намират на отстояние 120 градуса един от друг, за да се осигури глобално покритие.

Недостатъците са:

- Те не могат да покрият полюсите, защото ъгълът на елевация е под 10 градуса (най-висок ъгъл на елевация и съответно най-малко затихване през атмосферата имаме на екватора). Колкото по-малък е този ъгъл, толкова по-дълъг е пътят на сигнала през атмосферата и респективно имаме повече затихвания и загуби – понякога над 200dB
- Голямо времезакъснение (latency) – предвид по-далечното разстояние имаме и по-бавно предаване и приемане на данните. Това забавяне може да достигне от 240ms – 280ms. Когато говорим за телекомуникационни услуги, това е сериозен недостатък при услуга като предаване на глас, видео и мултимедийно съдържание или данни.

- Средна наземна орбита (Middle Earth orbit – MEO)

Тази орбита се намира на средно разстояние около 20 000 километра от повърхността на земята, разположена по-ниско от геостационарната орбита. В нея влиянието на доплеровия ефект оказва значително влияние поради по-високата скорост на спътниците. Връзката между тези спътници и земната станция се осъществява за сравнително кратки интервали от време, което налага необходимостта от повече сателити, разположени на различни орбитални равнини, за да се осигури глобално покритие. Поради по-близкото разстояние до земята, в тази орбита се наблюдава по-ниско времезакъснение, което се движи в интервала от 70 милисекунди до 120 милисекунди. Използваните спътници и услуги в тази орбита включват системата за глобално позициониране „GPS“, разположени на приблизително 20 200 километра. Освен това, в нея се намират и „ГЛОНАСС“ (Глобалная Навигационная Спутникова Система) на разстояние от около 19 100 километра и системата „Галилео“ (Galileo) на разстояние от 23 600 километра. Един от водещите сателитни оператори „SES“ използва тази орбита, като разполага със спътниково съзвездие „ОЗВ“, което има за цел са осигури нормален интернет достъп за населението от три милиарда, които не могат да ползват Интернет. Първият сателит е изстрелян през 2013 година, а към денешна дата броят им вече е около 11. Всеки от тях включва общо двадесет насочени честотни лъча Ka, със сателитен капацитет от 512 MHz. Трансферът на данни през един лъч може да достигне около 1.6 Gbps, в зависимост от точната локация, а общо за всяка сателитна платформата се предоставя капацитет от около 16 Gbps. Всеки един спътник тежи около 700kg, като има 179 милисекунди времезекъснение за гласови услуги и 140 милисекунди за пренос на данни, което прави системата атрактивна за експлоатация.

- Ниска наземна орбита / Low earth orbit – LEO

Този орбита се характеризира с височина от 160км до 2500км над земната повърхност. Най-често сателитите, обикалящи тази орбита, имат полярна орбита, което означава, че те покриват всички области на земната повърхност, включително и полюсите. Този вид спътници се нарича негеосинхронни (N-GEO), тъй като те не заемат геостационарна орбита. През последните години наблюдаваме значителен ръст на интереса към сателити в ниска наземна орбита. Телекомуникационните доставчици са особено заинтересовани от тях поради редица предимства. Сателитите се намират на по-близко разстояние от земята, което води до по-кратко забавяне на сигнала и времезакъснение в сравнение с геостационарните спътници. Освен това, енергията, необходима за изграждане на комуникация между сателитите и наземните антени, е по-малка, тъй като разстоянието е по-кратко. Това позволява използването на по-малки антени за пренос на информация. Следва да се подчертае, че ниската наземна орбита се намира под двата радиационни пояса на Ван Алън, което е предимство, тъй като сателитите не са подложени на значително радиационно въздействие. Недостатъците на сателитите в тази орбита включват по-кратък живот, поради факта, че техните орбити не са фиксирани. Според третия закон на Кеплер, периодът на обикалянето на спътника се определя от височината му – в ниска наземна орбита той се движи по-бързо и подлежат на по-силно влияние на доплеровия ефект. Съответно, те осъществяват връзка със земята само за кратки времеви интервали, когато са в близост до наземната станция.

Този тип сателити изискват и специфична техническа реализация, включително превключванията между различните платформи в космоса или

използването на мрежи от малки сателити и „Inter Satellite“ линкове, за да се поддържа непрекъсната комуникация. Наземната Телепорт антена, често разполагаща се в микровълнови антенни покрития (радоми), служи за предпазване от атмосферните влияния и точно насочване към спътника по време на моментите на преминаване (communication pass).

Основните спътникови съзвездия на ниска наземна орбита са:

- One Web – съзвездие, което предоставя достъп до Интернет с глобално покритие. Планирано е да се състои от 648 спътника и надморска височина 1,200км. Използват се честотни ленти Ku, Ka и със спътников капацитет 1.1Tbps. За да се осигури покритие на мрежата са необходими около 71 Телепорт станции. 145kg е тежестта на спътника; Услугата е активна към 2023 година и предоставя високоскоростен пренос на данни.
- Starlink/Space X – съзвездието има за цел да изгради мрежа от 42 000 спътника, като се използват честотни ленти Ku и Ka. За целите на комуникацията имаме оптични сателитни линкове и общ капацитет 23.7Tbps. За да се осъществи глобално покритие са инсталирани Телепорт станции в около 100 локации. Спътникът тежи 386кг и гравитира на около 550км над земната повърхност. Услугите са активни за морската индустрия, както и за наземни мобилни и фиксирани приложения.
- Telesat – мрежата се състои от 198 спътника, използващи честотна лента KA. Връзката се осъществява чрез оптични „Inter-Satellite“ линкове между сателитите, като планираният общ капацитет е в размер на 2.66Tbps. Спътниковата система използва динамично алокиране на трафика, като взема предвид зони с по-висока консумация на данни. По този начин се осигурява надеждна

комуникация и по-високо „up-time“ време на връзката. Поддържат се 1 Gbps скорости за единичен наземен терминал.

- Kuiper/Amazon – съзвездиято планира да изстреля в ниска наземна орбита общо 3236 спътника на около 590 до 630км от земната повърхност. Системата ще осигурява високоскоростен пренос на данни през два типа терминали – ултра компактен (100Mbps) и стандартен (400Mbps). Решението ще поддържа и сателитни капацитети до единична точка до 1Gbps. Мрежата трябва да бъде налична до края на 2024 година.

Големият брой сателити на ниска орбита изисква и наличие на надеждна наземна инфраструктура и сателитни антени (Фигура 15), които могат да обработват и трафика на данни от мрежите. Част от спътниковите системи на ниска орбита са и за наблюдение на земята, като често те оперират в честотни ленти S и X [38, 42].



Фигура 15 – Orbit Gaya Antenna S/X Band, [Orbit]

- Висока елипсовидна околоземна орбита –

Тази орбита се характеризира с формата на елипса, където ексцентрицитетът ($e \neq 0$) е различен от нула. Перигеят на орбитата се намира на приблизително 500 километра над повърхността на земята, докато апогеят е на около 50 000 километра. Скоростта на спътника не е постоянна поради различната височина, което довежда до действието на доплеров ефект върху него. Забележително е, че около две трети от времето си спътниците прекарват в апогея на своята орбита, където имат добра видимост над земната повърхност. Това се дължи на почти стационарната позиция на спътника в този момент. В сравнение, времето, което те прекарват в перигея на орбитата, е сравнително кратко и обикновено не надвишава няколко десетки минути. Времезакъснението на спътника се различава в зависимост от неговата височина над земната повърхност и варира между 50 милисекунди и 320 милисекунди. Спътниците на тази орбита имат ограничен живот, тъй като преминават през двата радиационни пояса на Ван Алън, които оказват изключително негативно въздействие върху електронните им компоненти и слънчевите батерии, използвани за храненето им. Въпреки тези предизвикателства, те имат и следните предимства. Те осигуряват висок ъгъл на елевация в области с големи географски ширини, което води до добри телекомуникационни параметри за предаване на данни. Подобни системи с орбити, сходни на тази, са например „Тундра“ и „Молния“. „Тундра“ се състои от два спътника с орбити, които имат перигей на около 18 000 километра и апогей на около 53 000 километра. „Молния“, от своя страна, включва три сателита с орбити, които имат перигей на около 1 000 километра и апогей на около 39 105 километра.

Тези платформи предлагат около 8 часа видимост, имат период от 12 часа и инклинация от 63.4 градуса, а ексцентричността на тяхната орбита е равна на 0.722 ($e=0.722$).

Подробна информация относно комерсиалните спътникови системи и тяхното развитие е публикувано в [6] публикация в тази дисертация.

2.3.3 Покритие на спътниците/Зона на обслужване

Една от важните характеристики на спътниците на геостационарна орбита е зоната на покритие (footprint) или това е областта от земната повърхност, която може да бъде обхваната (Фигура 16). Това е обикновено изразено като географска област, която включва определени географски координати, като дължина и ширина. Размерът на покритието на лъча на спътника зависи от множество фактори, включително височината на орбитата на спътника, типа и настройката на антените, мощността на предаване и дизайна на системата. Спътниците на геостационарна орбита осигуряват постоянно покритие над определена зона, като в съвременните системи вече имаме и интеграция на софтуерно-дефинирани системи, чрез които покритието се адаптира, според нуждите на пазара. В зависимост от зоната на покритие и силата на сигнала, измерена в ефективна изотропна излъчена мощност (EIRP), определяме и подходящото сателитно оборудване, което е съвместимо и подходящо за изграждането на сателитна телекомуникационна връзка. Спътниковите платформи разполагат с няколко лъча, които осигуряват едновременно комуникация в различни зони и честотна лента. Всички елементи на системата са така проектирани, че да осигурят надеждна комуникация до крайните клиентски терминали. Един геостационарен спътник може да покрие една трета от наземната повърхност. Обикновено обаче лъчите са концентрирани в различни области, за да предоставят по-висок капацитет и пренос на данни. Констатираме, че колкото по-малка е зоната на обслужване, толкова и по-

надежден сигнал получаваме от приемната антена. Силният сигнал, от своя страна, позволява и инсталирането на по-малки и икономически изгодни крайни потребителски антени. Всяка спътникова система има лъчи (надолу) и лъчи (нагоре), които се експлоатират за предаване или приемане. Според региона на обслужване, спътниковите лъчи се делят на:

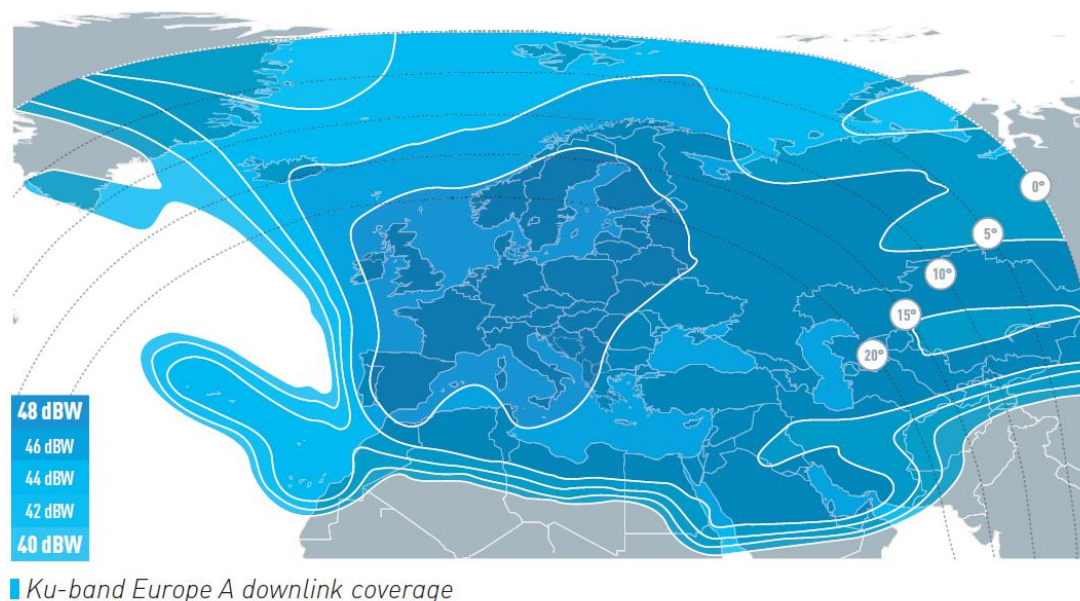
- Глобален лъч (Global beam) – покрива широка географски зони, около 40% от земната повърхност. Той има за цел да осигури свързаност в различни континенти, за разлика например от регионалните, които фокусират ограничени райони.
- Полусферичен лъч (Hemi beam) – покрива едно полукълбо – северно, южно, западно или източно.
- Точков лъч (Spot beam) – тесен концентриран лъч в малка географска зона. Той е с по-висока ефективна изотропна излъчена мощност и позволява пренос на по-високи скорости, но покритието му е ограничено.
- Широк лъч (Wide beam) – обслужват по-широка зона на покритие и затова са по-подходящи за предаване на телевизионно съдържание до многобройни крайни потребители.

Съвременните сателитни технологии предоставят и възможността за насочване и промяна на сателитните лъчи и зони на покритие – това са така наречените „steerable beam“. Това дава възможност на сателитните оператори да предоставят спътникови телекомуникационни услуги, според търсенето и да разпределят трафика в мрежата с цел избягване на натоварването ѝ [41, 46, 81].

Всеки сателит оперира сателитни лъчи, които работят в различни честоти – например два в честотна лента C и три в Ku.

Преди да се реализира спътниковата връзка, сателитният оператор извършва калкулация на връзката (Link budget) – канал „напред“ (forward channel) и канал „обратно“ (return channel). За да се избегнеат интерференции при застъпване на двата лъча при предаване „uplink“ и приемане „downlink“, се използват различни честоти.

Когато предаваме в един лъч и спътниковата система излъчва в друг, използваме „cross-trap“ технология или превключването на лъчите. По този начин използваме ефективно целия ресурс на сателитната платформа, като можем да осъществим комуникация от различни локации по света и да изпратим информацията до желаната наземна антена.



Фигура 16 - Зона на покритие на сателит – downlink покритие,
[Eutelsat]

Контурите очертават и обособяват отделните зони на обслужване с различна сила на сигнала, измерена в ефективна изотропна излъчена мощност (EIRP), елевация в градуси, според която спътникът е видим на хоризонта и възможността да се осъществи комуникация с него.

Основните понятия, които разглеждаме са:

- Ефективна изотропна излъчена мощност (EIRP – Effective Isotropic Radiated Power). Това е максималната излъчена мощност от антената в съотношение децибел „dB“ спрямо един Ват „Watt“. Това е основна характеристика както на спътника, така и на наземната станция.

Формулата за EIRP е:

-Ефективната изотропна излъчена мощност (EIRP) получаваме като съберем изходящата мощност на предавателя с усиливането на антената и извадим загубите на предаване по кабелното трасе (от предавателя до антената - разликата между мощността, изпратена от единия край и получената в приемащата станция).

Коефициентът на усиление на практическата антена се определя като съотношението на максималната плътност на потока на мощността на практическата антена и плътността на потока на мощността на изотропната антена - $G = \Psi_m / \Psi_i$.

Ψ_m е максималната мощност на плътност на потока

Ψ_i е мощността на плътност на потока на изотропната антена

Формулата за изчисление на ефективна изотропна излъчена мощност (EIPR):

$$EIRP = TxPower \text{ (dBm)} + Antenna \text{ Gain (dBi)} - Cable \text{ Loss (dB)}$$

Пример: изходяща мощност на предавател 41dBm + усиление на антена 47dBi – загуби на сигнала 1dB = 87dbm, (57dbW) ефективна изотропна излъчвена мощност (EIRP).

Разглеждаме два типа ефективна изотропна излъчена мощност:

- Downlink EIRP – силата на сигнала, излъчен от сателита към наземната антена

- Uplink EIRP- силата на сигнала, излъчен от наземната антена към спътника.

Силата на сигнала варира, според типа на сателитния лъч, орбитата, честотната лента, видимостта спрямо хоризонта, както и метеорологичните условия. Колкото по-висока е честотата, толкова и по-силен сигнал пристига и обратно.

По-долу е примерна таблица със стойности за ефективна изотропна излъчена мощност „EIRP“ на спътник в Ku честотна лента и какви са приемните препоръчителни антени, за конкретен спътник, собственост на оператора Eutelsat.

EIRP (dBW)	48	47	46	45	44	43	42	41	40
Size (cm)	60-75	65-85	75-95	85-105	95-120	105-135	120-150	135-170	150-190

Районът с най-силен сигнал на излъчване от спътника се нарича „beam peak“. В нашия случай имаме 48dbW и препоръчителни размери на антената от 60-75см.

-Ъгълът на елевация – нарича се също ъгъл на издигане. Той представлява ъгълът между хоризонта и посоката на спътника във вертикална равнина. Колкото по-близо се намира сателита, толкова по-висок и е той. При 0 градуса или отрицателна стойност, спътникът вече се скрива от хоризонта и не може да осъществи комуникационна връзка. Прието е, че приемно-предавателна антена, насочена с ъгъл на елевация от 0-10 градуса, не е препоръчителна за изграждането на сателитни връзки. Минимумът в този случай е 10 градуса като опорна точка. Сателитните оператори предпочитат

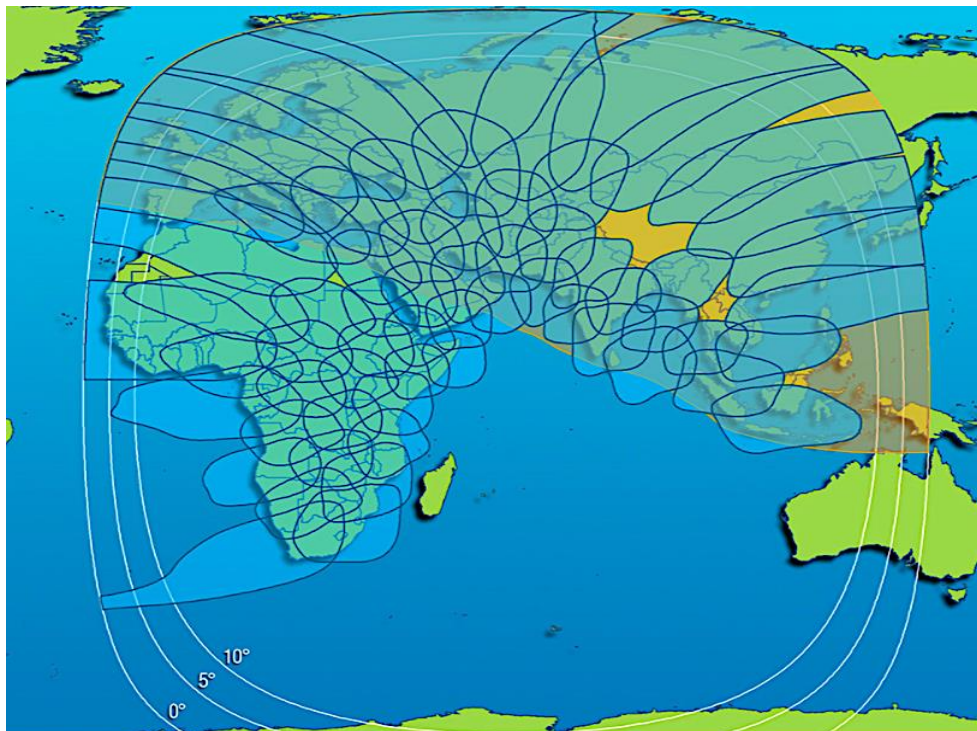
да използват зони с ефективна изотропна излъчена мощност „EIRP“ от 46dbW, както и 15 градуса елевация при калкулацията на спътниковата връзка (Link budget).

-Ъгъл на азимут – посоката на антенната система в хоризонтална равнина.

-Усилване спрямо температура (G/T - Gain over temperature) – това е съотношението на коефициента на усилването на антената спрямо шумовата температура на неговата среда. Колкото по-висок е G/T, толкова по-добра е производителността на сателита. Същият показател се анализира както при наземната станция, така и при антената на сателита в космоса. Този показател се измерва в „Децибел“ спрямо „Келвин“ - „dB/K“.

В съвременните спътникови системи разглеждаме и сателити с високо ниво на производителност – „High Throughput Satellites“ [29, 21, 1]. Те се характеризират с наличието на концентрирана мощност на лъчите в определени локации на земята. Използват се различни честотни ленти, но най-често са Ku и Ka. Те осигуряват големи капацитети и високи скорости за данни. Тези системи мултиплицират честотния капацитет и осигуряват високоскоростна и надеждна телекомуникационна връзка [82, 83].

С оглед на това, че сигналът, който достига земята е по-силен, се експлоатират и по-малки размер на антени, което прави такъв тип системи по-ефективни и по-достъпни за крайните потребители (Фигура 17).



фигура 17 – покритие на High Throughput Satellite – Intelsat 33E, [Intelsat]

Този метод на мултиплициране и многократно използване на честотния спектър се нарича пространствено разделяне. Друг метод е поляризационно разделяне, за да се увеличи използвания капацитет

При този подход имаме работещи и застъпващи се честотни ленти, но разделени в две различни поляризации. Те се делят на линейна и кръгова, като се определят спрямо вектора на електрическото поле спрямо земната повърхност. При всички случаи за постигане на поляризационна изолация е необходимо сигналите в съседните канали да бъде ортогонални [1, 4, 15, 34].

2.3.4 Проектиране на спътникови връзки

Това е една от важните калкулации при изчисление на система за спътникова комуникация [1, 4]. Проектирането на спътниковата връзка от сателитния оператор или така наречения "Link Budget" има за цел да се изчисли загубите на приемане и предаване на комуникационния сигнал, както и да определи необходимото наземно оборудването и всички

останали параметри, за да се постигне добро ниво на сигнал спрямо шум "Signal/Noise" на входа на примника - използва се аббревиатурата „S/N“.

Ето и кратка формула за измерването на отношението сигнал спрямо шум (Signal to Noise ratio - SNR) в децибели:

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \text{ в dB}$$

В изчисленията на връзката влизат най-често апаратурата на наземната станция – модулатор, демодулатор, повишаващ и понижаващ конвертор, усилвател, приемно-предавателна антена и base-band блок. В частта на спътника се използва транспондера. Както вече говорихме, връзката наземна антена - сателит се нарича uplink, а сателит-наземна станция downlink [84].

- Проектиране на връзката наземна станция - спътник "uplink"

За да се осъществи стабилна комуникация между наземната станция и спътника и да се използват максимално възможностите на транспондера, е важно плътността на потока, падащ към наземната станция, да е с висока наситеност. В случай че се постигне плътност на потока мощност, близка до нивото на насищане, това води до максимизиране на изходната мощност, излъчвана от антената на спътника. В резултат постигаме подобро съотношение сигнал-шум (C/N) в комуникационната връзка между спътника и наземната антена. Така имаме възможност за по-ефективен обмен на данни и използване на радиочестотната лента на спътника, съответно правилното използване на наличния сателитен ресурс и капацитет [82].

За да се избегнат интермодуляционни изкривявания, които могат да влошат качеството на връзката, сателитни оператори често използват метода "back-off", чрез намаляване на мощността на потока. Стойността се определя в зависимост от типа на използваната модулация и броя на каналите, за да се осигури линейна работа на транспондера [1, 4, 20, 21, 86, 90].

В случаи, когато се предоставят услуги за мобилни спътни комуникации (MSS), наблюдаваме прилагането на "back-off", тъй като клиентските антени, често са ограничени по размери и не могат да постигнат необходимата плътност на сигнала. В резултат на това, наблюдаваме ограничени възможности за обратния канал в комуникационната верига. В такива случаи, ефективността на връзката се намалява, и може да бъде необходимо да се използва по-ниска модулационна схема, като например QPSK, за да избегнем демодулация на сигнала и загубата на свързаност.

Формулата за изчисление, която прилагаме е:

$$(C/No)_U = [EIRP]_U + (G/T)_U - [LOSSES]_U - K$$

- $[C/No]$ е съотношението на носещата честота към плътността на шума
- $[G/T]$ е съотношението на усилването към температурата на системата

-Проектиране на връзката спътник-наземна станция „downlink“

Този анализ включва планиране на комуникацията от сателитната платформа до Телепорт станцията или отдалечение клиентски терминал. Основната цел при изграждането на тази връзка е да определим нивото на сигнал на входа на приемника на наземната станция. Съществен фактор за това е показателят усилване спрямо температура „G/T“, като целта е да се осигури по-високо ниво на сигнал/шум „C/N“ и респективно по-висока надеждност и сигурност на спътниковата връзка.

Математическата формула е следната:

$$[C/No]_D = [EIRP]_D + [G/T]_D - [LOSSES]_D - K - B$$

$[C/No]$ е съотношението на носещата честота към плътността на шума

$[G/T]$ е съотношението на усилването към температурата на системата

За да се калкулира цялостната двупосочна връзка, трябва изчислим съотношението на сигнал/шум „C/N” и в двете посоки на сателитната връзка – наземна антена - спътник и обратно. Сигналят първоначално се излъчва от предавателя на Телепорт антената, както към него се добавя шума по веригата до спътника в орбита. След това той се усилва от транспондера, който се излъчва обратно към земята. Отдалечения терминал приема освен шума, генериран при предаването на сигнала (нагоре), умножени по коефициента на преобразуване, и шума при приемане (надолу). Коефициентът на преобразуване включва усилването на транспондера и затихването в радио канала спътник-наземна станция. В този случай, за да изчислим общото съотношение на сигнал/шум “C/N” на двупосочната връзка, прилагаме следното уравнение:

$$C/N_o = [(N_o/C)_{up} + (N_o/C)_{down}] - 1$$

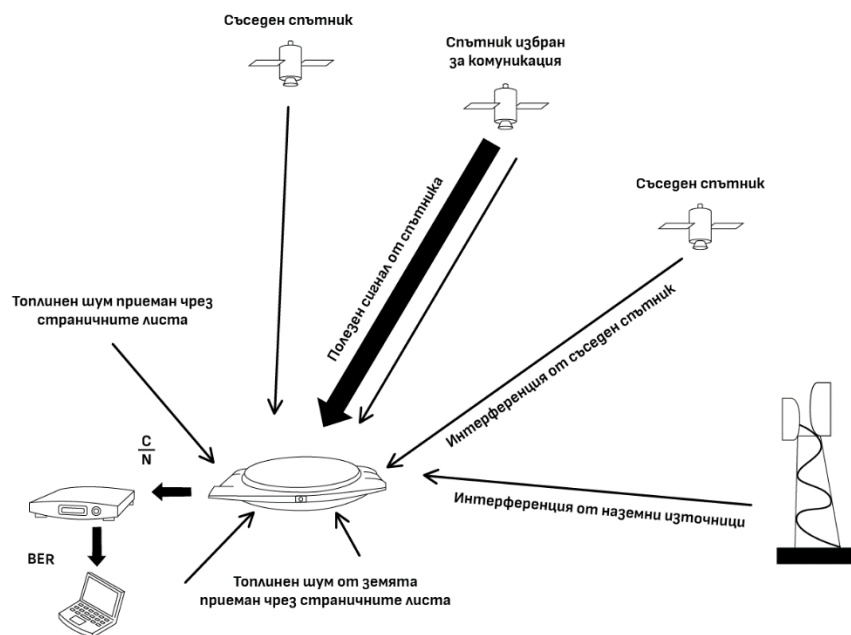
В контекста на радио комуникациите, освен добавения топлинен шум, извършваме също така анализ на шума, произтичащ от интерференции, обусловени от вътрешните характеристики на самата система или взаимодействия с други комуникационни мрежи (Фигура 18). Шумът, генериран от собствената система, може да се дължи на редица фактори, включително методите, използвани за уплътняване на честотния спектър и въздействията и смущенията от съседни честотни канали. Разглеждаме два типа интерференции на системата:

- Вътрешно-канална интерференция, (CCI) – представлява вид интерференция, която се проявява вследствие на спектралното уплътняване, използвано при изграждането на комуникационната система. Източниците на тази интерференция могат да бъдат

свързани с фактори като крайната изолация между лъчите, генерирани от спътникова антена при прилагането на техники за пространствено разделяне на зоните на обслужване, или с крайната изолация между носещите честоти с ортогонални поляризации, които се използват с цел спектрално уплътняване в рамките на един и същи лъч.

- Интерференция от съседен канал, (ACI) - интерференциите могат произтичат както от съседни и близки спътници, така и от земни радиорелейни линии и други комуникационни мрежи, включително мобилни технологии като 3G, 4G и 5G. Най-често наблюдаваните смущения на сигнала се регистрират по време на работа с антени с ограничен размер, поради по-широката характеристика на техните диаграми и следователно по-високата вероятност от загуба на полезния сигнал от съседни спътници, които влияят негативно върху съотношението сигнал-шум "C/N". В такива случаи, крайният терминал често не получава качествен сигнал.

Отделно, интермодулационните изкривявания в рамките на транспондерите представляват допълнителен източник на интерференционен шум, който може неблагоприятно да влияе на цялостната телекомуникационна мрежа, допринасяйки за деградация на сигнала и да възпрепятства цялостния комуникационен процес.



Фигура 18 – Източници на сигнал и шум в спътникова система, [Спътникови комуникации, Марио Ганчев]

По-долу (Фигура 19) прилагам пример за проектиране за двупосочна спътникова връзка (Link Budget), от сателитен оператор Intersputnik (RSCC).

RSCC		The Specification of Satellite Path - "INTERSPUTNIK"										Plana / Nis										
Transponder Parameters																						
Satellite	Transponder	SFD dBW/m²	G/T dB/K	EIRP dBW	IBO dB	OBO dB	NPR dB	F _{up} MHz	F _{dn} MHz	BW MHz	Antenna		Antenna Pointing									
AM8 (14°W)	DB07	-86,05	7,82	52,1	6	4,85	19,59	14218,750	11168,750	54,0	FK1-V	FK1-H	Up Fixed1 Ku-band	Dn Fixed1 Ku-band								
Input Data																						
UpLink		Tx ES				Rx ES					Carrier											
ID	Direction	Name	Da m	Eff [0..1]	L _w dB	Name	Da m	Eff [0..1]	L _w dB	N _{tot} dB	IR kbps	OH	Modcod	Actual FEC	SR kbaud	Roll Off						
129477	F0 → R0	Plana	2,4	0,61	0,5	Nis	1	0,53	0,5	0,88	3097,053		Gtd_S2-8PSK 2/3 BCH,NF,P	0,6452	1600,000	0,2						
129477	F0 → R0	Plana	2,4	0,61	0,5	Nis	1	0,53	0,5	0,88	4119,382		Max_S2-16APSK 2/3 BCH,NF,P	0,6437	1600,000	0,2						
129481	R0 → F0	Nis	1	0,65	0,5	Plana	2,4	0,59	0,5	0,88	533,0000		BPSK 2D-16-S-170B-2/3	0,6667	799,5000	0,2						
Result of Calculation																						
UpLink		Tx ES				Rx ES					Avail		Rain Xs Marg		Satellite		Pattern Loss					
ID	Direction	F _{up} MHz	Ga dB	EIRP dBW	HPA w	F _{dn} MHz	Ga dB	Elev deg	G/T dB/K	Es/No dB	Marg dB	C/N dB	Up %	Dn %	ABW MHz	%	EIRP Carrier dBW	%	Up dB	Dn dB		
129477	F0 → R0	14227,8030	48,89	58,9	11,26	11177,8030	38,6	28,27	15,46	3,75	1	7,62	99,5	99,5	1,46	1,83	2,0000	3,7	32,87	3,64	0,71	0,52
129477	F0 → R0	14227,8030	48,89	58,9	11,26	11177,8030	38,6	28,27	16,61	4,86	0,4	9,37	99,5		1,46		2,0000	3,7	32,87	3,64	0,71	0,52
129481	R0 → F0	14229,3030	41,59	43,93	1,92	11179,3030	46,65	28,27	23,77	3,1	1	2,34	99,5	99,5	1,46	1,22	1,0000	1,85	17,87	0,12	0,71	0,52
Total:																3	5,56	33	3,76			

Фигура 19 – Пример за проектиране на спътникова връзка, [Intersputnik]

Калкулацията включва очакваните параметри при предаване на данни нагоре (uplink) от с. Плана [8] чрез 2.4 метра антена, до Ниш, Сърбия към 1 метров рефлектор и обратно (downlink).

Нека да разгледаме основните елементи при проектирането на сателитната връзка:

Параметри на транспондера – “Transponder Parameters”:

- Име на сателит „Satellite“
- Номер на транспондер „Transponder“
- Плътност на насищане на потока „SFD – Saturated Flux Density“
- Усилване спрямо температурата на средата “G/T – Gain over temperature“
- Честота нагоре „Fup – forward uplink“
- Честота надолу „Fdown - forward downlink“
- Размер на транспондера „BW - bandwidth“
- Поляризация при предаване „Antenna – up FK1 – V, down FK1 – H“

- Сателитен лъч „Antenna pointing“ - Fixed Ku band 1.

Входящи данни - „Input data“

- Номер на връзката „ID“
- Направление „Direction“ – FO > RO или RO > FO
- Локация на антена „Name“
- Диаметър „Da“
- Входящи данни „IR“
- Модулационен код „Modcode“
- Корекция на грешка напред „FEC – forward error correction“
- Символ рейт „SR – Symbol rate“
- Запас от сателитен капацитет „Roll off“

Резултати от анализ на връзката калкулациите - „Results of calculation“:

- Спътникова честота при предаване „Fup – forward uplink“
- Усилване „Ga – Gain“
- Ефективна изотропна излъчена мощност „EIRP – effective isotropic radiated power“
- Високомощен усилвател – “HPA – high power amplifier“
- Спътникова честота на приемане “Fdn – forward downlink“
- Ъгъл на елевация „Elev“
- Запас на връзката „Marg – margin“
- Сигнал спрямо шум „C/N – signal to noise“
- Наличност на връзката “Availability” - надолу „Dn“ и нагоре „Up“
- Сателитен капацитет „ABW“

За да определим, дали подобна сателитна комуникация е ефективна, разглеждаме данните за модулационните кодове при предаване и приемане на данните, както и използвания сателитен капацитет спрямо

скоростта на предаване на данните, изразени в мега бит за секунда "Mbps" [94,99,100].

В контекста на анализа на двупосочни спътникови връзки, наблюдаваме различни важни фактори, които оказват влияние върху ефективността на двупосочната комуникация. Анализът на различни параметри в каналите „нагоре“ и „надолу“ ни позволява да направим извод относно тяхната производителност. При предаване на данни от земята към спътника, резултатите се подобряват с увеличаването на размера на антената и изходящата мощност на усилвателя на Телепорт станцията. Тази подобрена производителност се дължи на способността на по-големите антени да приемат и предават по-ефективно сигналите. Когато информацията се предава от отдалечения терминал към Телепорта, получаваме по-слаби нива на сигнала и прилагаме по-ниски модулационни кодове, тъй като се използват по-малки и неефективни антени и по-нискомощни усилватели. Това води до по-ниски скорости на трансфер на данни, за сметка на по-голям зает капацитет на мрежата. При калкулация с номер „ID“ 129477 използваме модулация „8PSK“ и 2/3 „FEC“, което при заета честотна лента 2 MHz, дава резултат 3097kbps за скорост на предаване на данни. При повишаването на модулационен код до „16APSK“ и „2/3 FEC“, постигаме 4119kbps при същата честотна лента. При калкулация с номер „ID“ 129481 в обратата посока, получаваме влошени резултати, тъй като се прилага по-ниска модулационна схема, за да компенсираме ниските нива на сигнал спрямо шум „C/N“. Експлоатираме антена с малък диаметър (1м) и модулираме сигнала в BPSK 2/3 FEC. При използвана честотна лента от 1MHz, не можем да достигнем и 1:1 съотношение между скорост на предаване на данни и зает капацитет, като резултатът е 533kbps. Като обобщение, в случай, че заемем общо 3MHz за за предаване и приемане, бихме ползвали 533kbps за „upload“ и 4199kbps за „download“, при 16 APSK и BPSK кодове.

При проектирането на спътниковите комуникации трябва да сме сигурни, че сателитната платформа има добро покритие и високи нива на ефективна изотропна излъчена мощност (EIRP), както и да сме сигурни, че имаме подходящ размер на антенни системи/рефлектори и усилватели. По този ще изградим надеждна система и комуникация с мрежата.

За да гарантираме непрекъснатост на връзката, операторът осигурява така наречен запас на връзката или „Link margin” Той ни дава информация за това, колко ни е „резервния“ сигнал в децибели „dB“, като се вземат предвид загубите най-вече от влошени метеорологични условия, които биха довели до деградация на полезния сигнал. Предварително знаем какви са предполагаемите максимални загуби в децибели „dB“, според честотния спектър – приема се, че за честотна лента C е 2dB, а за Ku е 4dB.

Ето и формулата:
$$\text{Link Margin} = \frac{C}{N_{\text{calculated}}} - \frac{C}{N_{\text{required}}}$$

По този начин определяме, дали имаме достатъчен резерв, за да предоставим сателитна услуга, дори и в критични условия – например при буря, дъжд, вятър, които влияят негативно и причиняват намаляване на, влошаване и дори понякога демодулация или пълна загуба на сигнала.

Подробна информация относно иновативни методи за повишаване на ефективността на съвременните сателитни комуникационни системи е публикувано в [7] публикация в тази дисертация.

2.3.5 Въздействие върху технологичната екосистема

- Телепорт инфраструктура – Телепортите, предназначени да бъдат част от нискоорбиталните (LEO) спътникови мрежи, изискват съвсем различни елементи и инфраструктура от тези, които обикновено са свързани с геостационарните (GEO) спътници. В този контекст, акцентът се премества от екваториалната арка към покриването на целия хоризонт. Поради тази причина, необходимостта от множество антени

в различни географски райони е от съществено значение, тъй като спътниците на ниска наземна орбита не се намират в постоянна позиция спрямо земната повърхност. Те трябва да разполагат с добра видимост към небето, за да осигурят надеждна комуникация със сателитните платформи. При избора на локация за хостинг на системи на Телепорт станции, е необходимо е да се вземат предвид и фактори, като липсата на честотни интерференции, които могат да бъдат предизвикани от други източници, като например 5G трансмитери, радио предаватели и други. Това е важно особено при комуникация със съзвездия в по-висока честотна лента, защото климатичните условия, като силни дъждове и бури, могат да доведат до прекъсвания на връзката с наземните станции. И въпреки че антените са видимата част от инфраструктурата на телепорта, те не са и най-важната. Операторите на Телепорти се изправят пред задачата да осигурят необходимите помещения като шкафове за хостинг на оборудването, както и климатични системи, мерки за пожаробезопасност, сигурност на достъпа, видео наблюдение и резервирани решения, които са ключови за поддържането на услугите. Често има необходимост от и допълнителни инвестиции, които да отговарят на изискванията на операторите на спътникови мрежи. Всички подобни телеком помещения и станции минават периодични проверки, както и сертифициране по стандартите на международната телепорт организация – “World Teleport Association”.

- Сателитната екосистема – увеличаващият се брой сателити в орбита, воден от нарастването на нано, микро сателити [33, 44], както и големите мрежи, води до повишаване на риска от сблъсъци на космическите обекти. Това налага по-добро управление на

космическия трафик и стратегии за избягване на космически колизии. Основните казуси, с които операторите трябва да се справят са:

- Разпределение на честотния спектър - радиочестотният спектър за сателитни комуникации е ограничен и силно регулиран ресурс. Осигуряването на равнопоставен достъп и предотвратяването на смущения в спектъра на наземните безжични услуги е едно от основните предизвикателства.
- Космически отломки - нарастващият брой неработещи сателити, остатъчни елементи от ракети и отломки в орбита представляват значителна заплаха за активните спътници.
- Изстрелване на сателити – този процес остава сравнително скъп и това възпрепятства навлизането на нови оператори и по-бързото развитие на сектора [35, 36].
- Регулации и нормативни изисквания – операторите трябва да спазват стриктна нормативна уредба, както и да придобият лицензи за предоставянето на услуги. Често покриването на изискванията забавя въвеждането на системи в експлоатация [9].
- Приоритизиране на трафик – сателитните оператори трябва да отговорят на динамичното потребление и следва да адаптират технологии за промяна на спътниковото покритие, според натовареността на потреблението по зони. Това изисква изстрелване на системи, които позволяват софтуерно да се дефинират зоните, което предполага и нови инвестиции, за да отговорят на нуждите в индустрията.
- Киберсигурност - Сателитите са уязвими на кибератаки и защитата на сателитните комуникации срещу потенциални заплахи е задължителна. Операторите трябва да инвестират в нови софтуерни

и хардуерни разработки за киберсигурност, за да защитят своите мрежи и данни.

- Нови съзвездия – появата на все повече сателитни системи на ниска и средна орбита, изискват и обезпечаване на съвременно наземно оборудване, което да поеме трафика от иновативните мрежи.

Възможности и рискове – Телепорт операторите представляват ключова съставна част от съвременните спътникови мрежи и са в центъра на еволюцията на индустрията, предизвикана от настъпващите проекти в ниска орбита (LEO). Една от ключовите възможности за Телепортите е предоставянето на цялостната технологична инфраструктура и парцел земя, на която станциите могат да се колокират. Това е съществена стъпка за операторите на спътници на ниска наземна орбита, тъй като непрекъснатото им движение, изисква наличието на няколко географски района, от които могат да се осъществяват комуникациите.

Възможността да предоставят поддръжка на оборудването и да извършват ремонти при възникване на технологични дефекти, също представлява сериозен източник на допълнителни приходи за Телепортите.

Освен това, сателитните оператори често развиват регионални и бизнес инициативи, при които са необходими допълнителни инсталации на място. В този контекст, Телепортите често действат като надеждни партньори, които изпълняват функциите на оператори на място и предлагат услугите си на дистрибутори и местни фирми, които разширяват пазарния си дял.

Стратегиите на сателитните оператори се фокусират също върху разширяване на мрежата от официални дистрибутори на услугите им и на сателитния капацитет. В този контекст, наземните оператори се превръщат в ключови партньори, които препродават цялостни телекомуникационни решения с необходимите лицензи за излъчване, съгласно изискванията на

Международния съюз за телекомуникации „ITU“ [76]. Това генерира нови възможности за приходи на операторите, които инвестират в това направление [56].

Въпреки тези възможности, следва да се подчертае, че развитието на проектите в мрежите на ниска орбита носи както положителни, така и отрицателни аспекти. Успехът на големите сателитни мрежи на ниска орбита може да предизвика спад на развитието на операторите на геостационарни спътници, които могат да бъдат принудени да адаптират своите услуги или да търсят нови пазарни ниши. Има и риск от пренасищане от спътникови мрежи в ниска наземна орбита, което ще доведе до прекратяване на дейностите на някои от компаниите в този сегмент.

Подробна информация относно иновациите в сателитната индустрия, както и тяхното въздействие върху технологичната екосистема е публикувана [5] публикация към тази дисертация.

2.3.6 Оценка на функционалостта на спътниковите комуникации на ниска наземна орбита

През последните години имаме значителен ръст в предоставянето на услуги чрез спътници на ниска земна орбита, които имат за цел заснемането и наблюдението на земната повърхност [38, 42, 55]. Този вид сателити оперират на относително ниска височина, в диапазон между 500 и 1200 километра над земята и се движат в слънчево-синхронна орбита. Техните позиции са значително по-ниски от тези на геостационарните спътници, които се намират на приблизително 36,000 километра височина. Тази по-ниска орбита е необходима за заснемането на снимки с висока резолюция, които са подходящи за разнообразни приложения и анализ в различни сфери (Фигура 20). След това изображенията се обработват и анализират чрез софтуер или друга система, за да се извлечем ползедна информация, която може да обслужва много широк спектър от приложения и индустрии.

Дистанционното наблюдение на земята включва сушата, моретата (морета, реки, езера) и атмосферата, като за целта се използва полезния товар (payload) на сателита, чрез който събираме данните. Това са основно оптични и термални сензори и камери.

Има няколко основни области, в които спътниците на ниска орбита намират широко приложение, като например земеделието [31], мониторинг на атмосферата и промените в земната повърхност и околната среда (суша, море и въздух), наблюдение на водни басейни, превенция срещу бедствия и аварии като пожари или вулканични изригвания и мониторинг на климатични промени. Например, проектът "Copernicus" включва няколко спътника, наречени „Sentinel“, които се финансират от европейската космическа агенция и европейската комисия. Те се използват за оперативно наблюдение на концентрацията на газовете в атмосферата и предоставят безплатен достъп до големи масиви от данни. Този достъп дава възможност на различни заинтересовани страни да извличат снимки от конкретни географски области.

В селското стопанство, например, спътниците на ниска орбита се използват за наблюдение на метеорологични параметри, влажност и здраве на посевите. Тази информация е от съществено значение за земеделците, позволявайки им да следят здравето на посевите и да предотвратят загуба на реколта или неефективно отглеждане на културите. В допълнение, в областта на земеделието насърчават използването на спътникови снимки и данни за проследяемост и контрол на обработваните земи (Фигура 21).

Този напредък в сателитната технология отваря врати към нови начини за наблюдение и анализ на природните ресурси, както и усъвършенстването на технологии в селското стопанство.

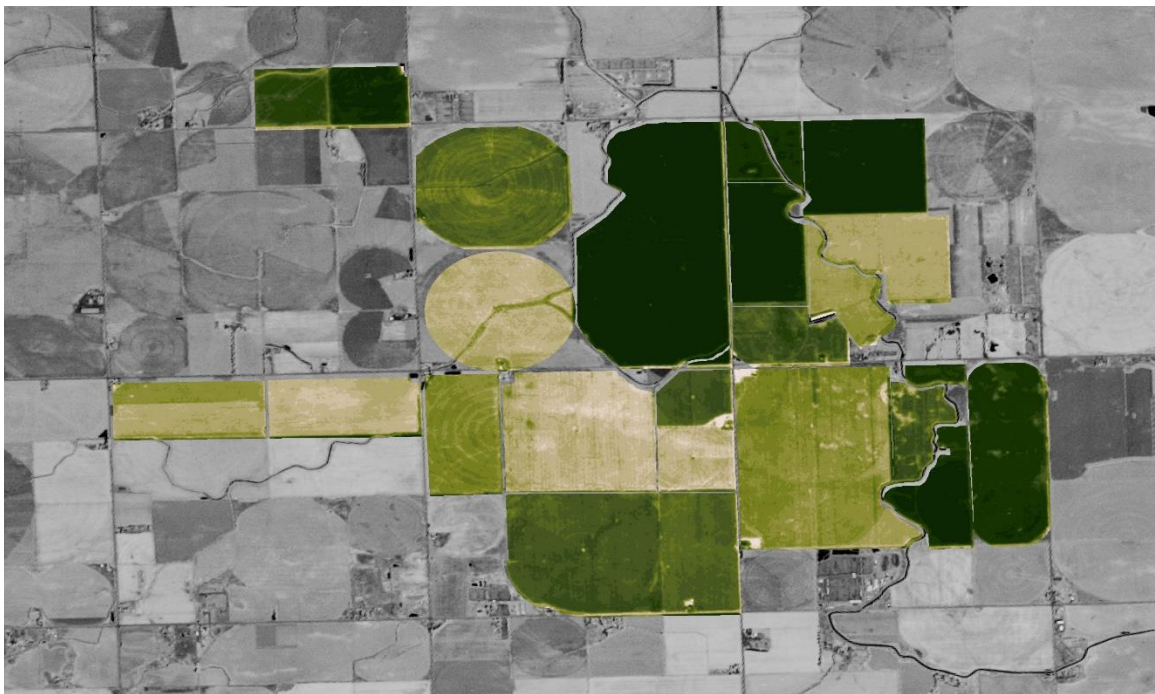
Подробна информация относно приложението на спътникови системи в селското стопанство е публикувана в [1, 4] публикации по дисертацията.



Фигура 20 – Снимка на пожари от спътникова мрежа на Planet, [Planet]

Можем да разграничим четири типа резолюции:

- Пространствена (Spatial) - способността на сензора да идентифицира най-малкия размер детайл на шаблон върху изображение, обикновено се отнася до размера на пиксела.
- Спектрална (Spectral) - чувствителността на сензора да реагира на специфичен честотен диапазон, включва видима светлина и инфрачервена светлина.
- Радиометрична (Radiometric) - способността на сензора да измерва силата на сигнала или яркостта на обектите
- Временна (Temporal) - честотата, с която сензорът преминава отново през дадена област



Фигура 21 – Снимка с данни за жизнен индекс от Planet Lab, [Planet]

- Ролята на LEO спътниците при изграждането на 5G мрежите

През последните години се наблюдава тенденция за многократно нарастване на трафика на данните през мобилните мрежи. Свързването на така наречените умни устройства, автомобили, градове и комуникацията им помежду им, с цел оптимизиране на различни процеси и взаимодействие, наложи изграждането на по-бързи мрежи за пренос на данни.

В контекста на съвременните комуникации, 5G мрежите разширяват възможностите и приложенията на пазара.

1. Увеличаване на трафика и броя на потребителите извън урбанизираните среди и центрове, в селски и отдалечени райони, което води до разпространението на устройства за Интернет на нещата (IoT).

2. Осигуряване на покритие за движещи се обекти - като кораби, автомобили, влакове. По този начин се осигурява достъп до мрежата по време на движение – „mobility”.
3. По-ефективно обработване и кеширането на данни, предвид ограничените капацитети на мрежите.

За да се осигури достъп до Интернет за автомобили, самолети, дронове или кораб е необходима мобилна или сателитна мрежа, защото тези обекти не могат да бъдат присъединени към телекомуникационна мрежа чрез оптичен кабел. Навлизането на умни устройства, които постоянно използват данни в реално време, изисква наличие на по-бързи скорости, за да оперират правилно. 5G мрежите са в основата на развитието на тези иновации.

Изграждането на голям брой базови станции, които да разполагат с качествена оптична връзка до всяка една от тях, се оказва предизвикателство и практически е невъзможно. Сателитните мрежи могат да обслужват и осигурят наличен капацитет до онези точки, които са в отдалечени райони, като предложат качествена и надеждна гласова комуникация и обмен на данни. Поради тази причина, спътниците имат ключова роля в развитието на тази технология.

5G и спътниковите мрежи могат да изпълняват три потенциални функции: Осигуряване на пренос до базови станции, резервираност и обезпечаване със свързаност на отдалечени и селски райони [97].

Нека да разгледаме тези направления:

Сателитен пренос/Backhaul:

Сателитният пренос до базови станции е полезен и приложим в отдалечени, селски или неразвити райони без телеком инфраструктура, при които разходите за полагане на оптични кабели или друга наземна

инфраструктура са непосилно високи. Чрез него се осигурява разширяване на покритието на клетъчната мрежа, като по този се увеличава наличния капацитет за услуги за данни и гласова комуникация. Използването на сателитна технология позволява на мобилните оператори да предоставят услуги в райони, които иначе биха били трудно достъпни. Тази технология пренася трафика (гласов и данни) от базовата станция до основната мрежа на мобилния оператор. За целта, Телепорт станцията изгражда кабелно оптично трасе до технологичен център (на оператора), като по този начин изпраща трафика, който се рутира и разпределя по дестинации – например мобилни устройства или Интернет. Процесът работи и в обратна посока, като позволява прехвърляне на данни от основната мрежа към сателита, надолу към сателитния терминал на клетъчната базова станция, до крайните ползватели на услугата [64].

Резервираност на трафика:

Резервирането на мобилната мрежа чрез сателитен пренос е начин за подобряване на надеждността и качеството на услугите, чрез сателити, които осигуряват спътников капацитет в случай на бедствия и авария или други технически неизправности. Това означава, че ако наземната свързаност към определена базова станция отпадне, тя ще има комуникация с основната мрежа и ще продължи да предава услуги на потребителите.

Сателитният пренос може да се използва за осигуряване на резервиране както за 4G, така и за 5G мрежи. Той е особено полезен в райони, където наземната инфраструктура е ненадеждна или недостъпна, като селски райони, страни с ограничени телекомуникационни възможности и региони с риск от бедствия.

Има два основни типа сателитна резервираност: чрез геостационарна (GEO) и ниска околоземна орбита (LEO). GEO спътниците имат предимство, че покриват широка зона, но поради по-високата им позиция в космоса,

наблюдаваме и по-големи времезакъснения (latency - времето, необходимо за преминаване на сигнала от наземната станция до сателита и обратно).

LEO сателитите са разположени в по-ниска орбита и това осигурява по-ниски нива на времезакъснение, но също така имат по-малка зона на покритие.

GEO платформите се използват за райони с висок трафик, където наличността на мрежата е критична, като големи градове и транспортни коридори. LEO сателитите обикновено се използват за селски райони и други райони, където наземната инфраструктура е ограничена.

Прилагането на сателитната резервираност подобрява надеждността и устойчивостта на мобилните мрежи.

Спътниците на геостационарна орбита са от ключово значение за решаването на проблема с „последната миля – кабелното трасе от технологичния хъб/точка на присъствие на оператора до дома или офиса “. С развитието на индустрията, както и нарастващия трафик, мобилните оператори използват този пренос, за да осигурят качествени услуги и наличност на мрежата. 5G мрежите имат експоненционален ръст на свързани преносими устройства, включително мобилни телефони, но също и „умни“ устройства и сензори, които обменят непрекъснато данни със сървъри през мрежата. Приложенията и хардуерът, които използват мобилните мрежи нарастват, като например автономни автомобили, проследяване на транспортни средства и критични компоненти в производството, аугментираната (добавената) и виртуалната реалност, видео предаване, машина към машина (machine to machine) комуникация, гласови услуги и други. Развитието на „Интернет на нещата“ е фокус на мобилните оператори. Осигуряването на сателитен пренос и капацитет изисква инсталиране на наземната станция и подбор на подходящ модем, който да се свърже към спътниковата мрежа и да осигури резервираност.

Трафикът се насочва отново през спътника към наземната Телепорт антена, която се свързва към основния технологичен център на оператора. В случай, че основната 4G или 5G връзка отпадне, данните се рутират през втората изградена връзка.

Подробна информация относно спътникови комуникационни системи на ниска наземна орбита и тяхното приложение е публикувана в [4] от публикациите по дисертацията.

2.4 Заключение

Направен е технологичен анализ на структурата на система за сателитни комуникации. Определени са функциите, които трябва да се изпълняват от отделните технически устройства. Разгледани са технологичните проблеми и изисквания, които елементите на цялата система, както и работата ѝ в цялост трябва да удовлетворяват, за нейната експлоатация.

Перспективно технологично развитие на сателитните комуникации е интеграцията на спътникови технологии, като част от 4G и 5G наземните комуникационни системи. Това ще позволи общите комуникационни мрежи да увеличават наличния капацитет, покритието и достъпа до тях. Технологиите се налага в селските и отдалечени региони, където нарастващите изисквания и потребление не могат да бъдат обезпечени чрез наличната телекомуникационна инфраструктура. От съществено значение е и осигуряване на сателитен пренос за резервиране на комуникацията на мобилните оператори.

Развитието на телекомуникационната индустрия и разнообразието от приложения, създават благоприятна среда за развитието на това направление, както и все по-широкото прилагане на сателитните комуникации в съвременните мрежи и системи.

Глава 3. Проектиране на антенната част на система за спътникова комуникация на ниска наземна орбита

3.1 Обхват на проекта

„OC LEO 1 Ground Station“ представлява професионална наземна станция за работа със спътници на ниска наземна орбита, която предлага услугата – „наземна станция като услуга“ за сателитни мисии, „multi mission ground station as a service“ и оперира в честотна лента S в диапазон 2035MHz – 2310MHz. Антенната система работи в кръгова поляризация – съответно с лява и дясна ориентация. Размерът на рефлектора е 3.2 метра. Технологиията за обработка на данните е базирана на „Network Cloud Engine“ , която включва множество микросървъри, функциониращи в облака, които осъществяват работата и мониторинга на различните наземни станции в мрежа, както и осигуряват достъп до user интерфейс за работата на крайния потребител.

Проектът включва инсталацията на сателитна антена, работеща със спътници на ниска наземна орбита в честотна лента S, които оперират в орбита около 120 до 2000km над земната повърхност. Чрез внедряването на тази иновация, сателитните оператори ще могат да приемат данните от конкретни платформи, а компаниите или потребителите ще разполагат с техни ресурси в космоса, в случай, че притежават собствен сателит или съзвездие от такива. Тази система е насочена към университети, научни институти, училища и сателитни оператори, които могат да управляват наземния сегмент и да обработват данните от техните мрежи в космоса. Основните приложения са спътникови снимки на земята, наблюдение на околната среда, научни изследвания и анализи, военно разузнаване, превенция на бедствия и аварии, развитие на селското стопанство и животновъдство, както и други телекомуникационни нужди. Чрез наземната

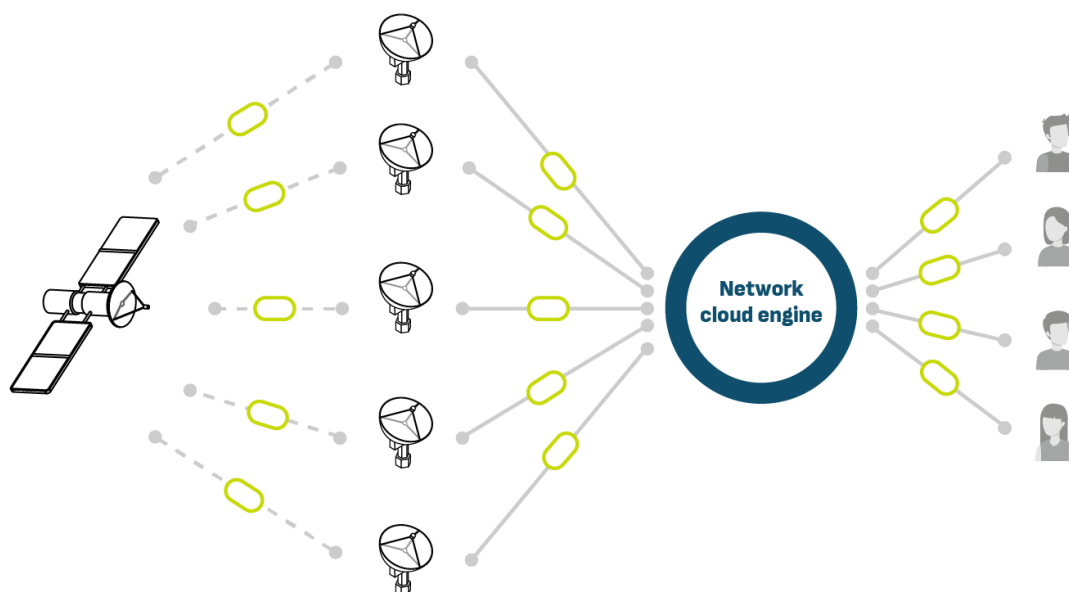
антена, се осигурява достъп до облачно приложение с лесен и интуитивен интерфейс, който ще даде възможност за осъществяването на сателитна мисия, чрез която данните от конкретни спътникови платформи, могат да се получат и обработят от крайните потребители. Системата може да се използва чрез съвсем нормален браузър за Интернет, като се въведе единствено номер „ID“ на спътника и се запази конкретен времеви слот, в който да се получи информацията. Антената може да се експлоатира за получаване и обработка на различен тип данни, като те могат да не са криптирани и лесно могат да се свалят през облачната среда, но те биха могли да се криптират, за да се защитят от злонамерени ползватели, чрез използването на механизми като “AES-265”. Подобни съоразения се имплементират и в сферата на животновъдството и растиниевъдството, за да се получават и данни за различни индекси – индекс на почвената вода, индекс на почвената влага на повърхността, вегетационен индекс за изгорялата площ, които са важен фактор в аграрния сектор. Посредством изследване и анализ на данните, получени чрез антенната система „OC LEO 1“, е възможно да се наблюдава целия вегетационен цикъл, наличие на междинни култури и да се осъществява редовен мониторинг на производствените процеси. Една от основните задачи на подобни инсталации също е да автоматизира целия процес в подобни сектори, като това допринася за директното получаване на информацията на мрежови сървъри и компютри, тяхното обработване и интерпретиране, с цел да се оптимизират процесите, както и повишаването на ефективността на добива на различни култури. В допълнение снимките, които получаваме през антенната система, показват и различни изменения на земната повърхност. Сателитните данни от тази станция се прилага в селското стопанство с цел рационалното използване на водните ресурси. Тази технология допринася за разпознаване на засушавания и други екстремни метеорологични събития, които могат да доведат до воден дефицит. Това решение също предоставя

съществени ползи в животновъдството. Голяма част от фермерите зависят от прогнози за валежи в определени географски райони, които имат влияние върху качеството на храната за животните. За тази цел се извършва дългосрочно наблюдение на пасищата и се събират данни от сензори, които могат да прогнозират метеорологичните условия. Този процес допринася за оптимизация на пасищата, подобрява условията на живот за животните и улеснява работата на фермерите. Очакванията са тази система, иновация и нейното приложение да навлизат все повече в тези области, защото ползите за бизнеса, държавните организации и крайните потребители са значителни. Сателитната наземна антена, която ще представим е част комуникационна мрежа и дава възможност за бърз достъп до широк брой спътникови платформи, които извършват широк спектър от мисии.

Чрез внедряването на облачни технологии и „Network cloud engine“, всеки потребител или собственик на сателит, ще достъпва бързо и сигурно своите данни, след извършване на оторизация от оператора. Разработката включва подобрена цялостна и ефективна система за работа със спътници на ниска наземна орбита, която е част от наземния сегмент в спътниковата връзка.

Технологията, която използваме в този случай позволява да се достъпят мрежа от наземни сателитни антени, разположени в различни географски райони, чрез една единствена точка за достъп, като се използва облачно-базирана платформа “Network Cloud Engine” (NCE), за да се предадат данните от центъра за контрол на сателитната мисия до спътниковото съзвездие. Предимството на това решение е, че операторът на услугата не е нужно да управлява поединично всяка отделен сателитен терминал, а посредством “NCE” да оркестрира целия процес от едно място (Фигура 22). По този начин потребителят има възможност едновременно и ефективно да планира и реализира многобройни сателитни мисии и да получи масивите от данни

до централен сървър в облака, след предоставянето на индивидуални потребителско име и парола.



Фигура 22 – процес на обработка на данни – Data Flow, [Красимир Терзиев]

Решението позволява и интеграция с различни облачни платформи, тоест не е задължително потребителят да използва същата облачна услуга, а може да интегрира платформата например с AWS" Amazon или "Azure" на Microsoft, в зависимост от изискванията на сателитните оператори. Системата позволява лесно надграждане и е независима относно използването на един и същи тип сателитни антени и спътници – пълна скалируемост или „full scalability“ като термин на английски език.

Чрез използването на "NCE" технолофия, операторът има възможност да изпраща в реално време данните чрез мрежата от наземни терминали до спътниковите съзвездия. При получаване на данни чрез използването на софтуер за планиране (Planer), планираме сателитни мисии, в зависимост

от преминаването им покрай наземните терминали. Без човешка намеса, след като сателитът бъде прихванат, данните се насочват към облака и могат да се обработват на по-късен етап. В случай, че някоя от наземните антени се претовари и не може да поеме дадена сателитна мисия, „NCE“ системата има внедрен алгоритъм, който разпределя тази задача към следващата най-близка станция от мрежата, чрез балансиране на натоварването „Load Balancer“.

Всички тези процеси са преконфигурирани и настроени в облачната платформа, за да осигурят безпроблемна работа на потребителите и операторите на услугата. Прилагането на тази иновация позволява предаването на данните към облака, без забавяне или терминиране на определени сателитни мисии, предвид липсата на капацитет на дадената наземна станция. С други думи, разработката ни дава възможност да оркестрираме спътниковите данни от земята към космоса и обратно чрез „NCE“ и използването на иновативни алгоритми. Следва да добавим, че системата ни дава възможност получената информация да се съхранява, управлява и също да се анализира от различни ключови апликации и софтуерни решения, като директно се интегрират към облачната система, с цел по-бърза и ефективна обработка. Това се реализира чрез използването на „API“ ключове – Application programming interface.

Използването на „OC LEO 1“ антена практически е полезен инструмент за всички сателитни оператори, които могат лесно да управляват своите космически съзвездия и да спестят изграждането на множество собствени станции, за да предоставят услуги на крайните клиенти. Лесният интерфейс и създаването на правила за работа със системата, на ниво потребител като йерархия и достъпи, е съвременно решение за компании, които предоставят масиви от данни в сателитната индустрия.

Приблизителният планиран капацитет в тестова среда на „ОС LEO 1“ е около 20 сателитни мисии (passes) на ден, а скоростта на връзката е от 1,2Kbps до 1,2Gbps. Системата поддържа всички „CCSDS“ (Consultative Committee for Space Data Systems), DVB S2 и DVB S2X стандарти и протоколи [37], в зависимост от изискванията на мисията.

С цел по-лесна интеграция с други интерфейси и софтуер, платформата предлага и API (Application Programming Interface). Също така преди да се въведе в експлоатация, разработката дава възможност и за тест на целия процес на обработка потока от данни процес, чрез софтуерно приложение „GSE“ емулатор – Ground station emulator.

„ОС LEO 1“ наземна станция е проектирана да отговори на нуждите на пазара, като предоставя изключително опростен клиентски интерфейс за управление на достъпни цени (Фигура 23).

В основата на услугата имаме мрежа от сателитни антени, разположени в различни точки по целия свят, и софтуерна инфраструктура, която позволява дистанционно управление на мрежата. Както споменахме в основата на услугата стои „Network cloud engine“, която осигурява комуникация на всички различни хардуерни и софтуерни елементи в една цялостна телекомуникационна система (Фигура 24). Предвид рисковете от хакерски атаки и все по-високите изисквания за „IT“ кибер сигурност, облачната платформа е обезпечена със система срещу кибер атаки. В допълнение, операторът извършва минимум 4 пъти в годината така наречено „penetration test“ и „vulnerability scanning“, за да се предотвратят рискове при работата на антената.

Сателитният оператор може да изтегли значително количество данни от своя сателит или съзвездие по безопасен, лесен и бърз начин, използвайки набор от софтверни приложения и инструменти.

Чрез използването на тази иновативна технология, получаването на сателитни данни става все по-лесно и нарастващия трафик от космическите обекти ще е достъпен чрез използването на единна система.

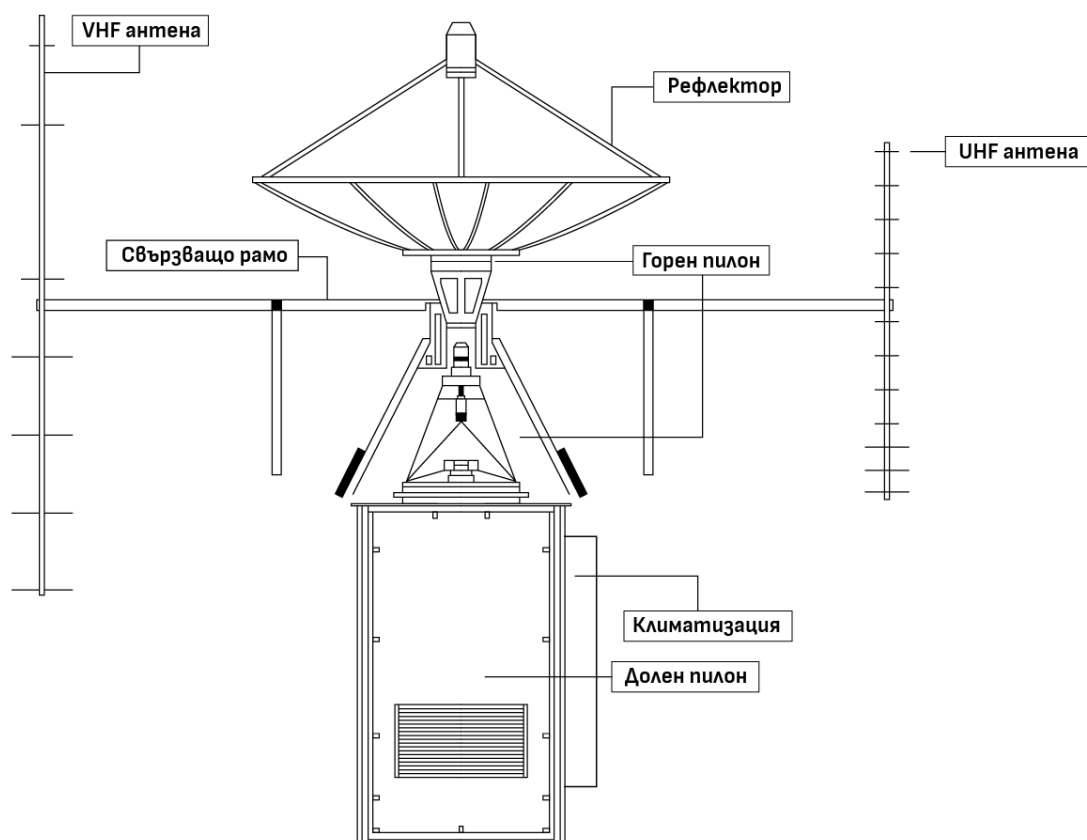
Данните от спътници от ниска наземна орбита се използват в различни сфери като умни градове, интелигентно животновъдство и растиниевъдство, минното дело, транспорт, телеметрия – наблюдение на околната среда и земната повърхност и др [38].

Мрежата от сателитни терминали се подобрява постоянно и се разширява, предвид нарастващия брой спътници и сателитни съзвездия на ниска наземна орбита.

3.2 Общ план и основни компоненти на „ОС LEO 1“ наземна антена

- Параболичен рефлектор – представлява 3.2м метален диск (от алуминий), комплект облъчвател в честотна лента “S” (RF Feed).
- Горен пилон (Upper Pylon) – механична система, която помещава моторите за елевация и азимут, както и компоненти за изпращане на сигнали по линията „нагоре“
- Долен пилон (Lower Pylon)– Основна колона, която поддържа горния пилон и свързва наземната станция към земята. В него се намират и елементи на антената, ниско-шумов усилвател (LNA), високо-мощен усилвател (HPA), синхронизатор/ризолвър (определя точната позиция на антенната система по азимут и елевация в градуси), система на контрол на антената (antenna control unit).
- Климатизация – осигурява подходяща температура и охлаждане на елементите в долния пилон.
- Свързващо рамо – опорен лост от фибростъкло или алуминий, който поддържа YAGI антените

- UHF YAGI антена – антена, оперираща в честотна лента UHF
- VHF YAGI антена - антена, оперираща в честотна лента VHF



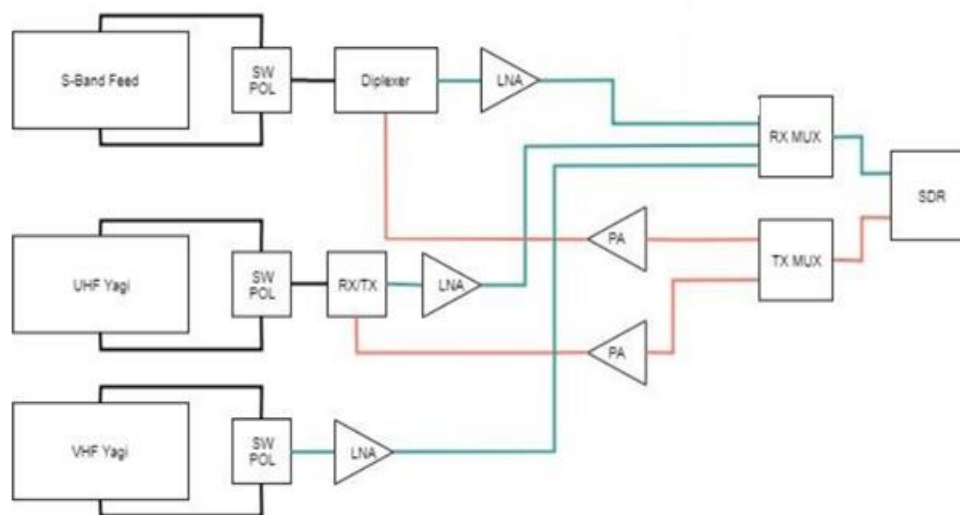
Фигура 23 – Илюстрация на ОС LEO 1 DY антена, [Красимир Терзиев]

Техническа спецификация S-band, антенна система ОС-LEO 1

Спецификация	Приемане Rx	Предаване Tx
Честотен спектър	2210-2310 MHz	2035-2120 MHz
Максимално изотропно усилване на	34.8dBi	34.8dBi

антената (Maximum isotropic gain)		
Широчина на лъча	3.1°	3.3°
Поляризация	Дясно/ляво ориентирана, X-POL	Дясно/ляво ориентирана, X-POL
Шумова температура на приемника	291 K @ 5° EL	Не се прилага
Еквивалентна изотропна излъчена мощност EIRP	Не се прилага	54 dbW
G/T	10.6dB/K	Не се прилага
Усилвател Tx		100W
Модулация	Конфигурира се, според спътниковата система	Конфигурира се, според спътниковата система

Радиопроизводителност и елементи



Фигура 24 – Радио производителност

Обхват на проекта – проектиране, монтаж на антенна система за спътникова комуникация на ниска наземна орбита.

Описана е подробна информация относно подготовка, предварителни изисквания, монтаж, които трябва да се извършат преди инсталирането и конфигурирането на наземна станция „OC LEO 1“. Дейностите се извършват от системен интегратор, който притежава необходимата квалификация за изграждане на подобни съоразения. След приключването на отделните задачи, се попълва и чек лист, който удостоверява успешното им завършване.

Този проект съдържа и допълнителни наръчници, скици и ръководства, които се използват като допълнителна помощ при изпълнението на предварителните монтажни работи и подготовката на локацията, на която ще се монтира „OC LEO 1“ антенна система.

- Инженерни скици за „OC LEO 1“, размери, и упътване за монтаж

- Системни елементи и диаграма за интеграция и присъединяване към мрежата

Азимутната ориентация на антената се осъществява на два етапа. Всеки един се изпълнява стриктно, според предварителното задание, за да се извърши коректна инсталация на съоръжението, която покрива зададените стандарти. Телепорт операторът преминава през следните фази:

Първа фаза – Избор на локация за „ОС LEO 1“ антенна система

- Избор на физическа локация, на която да се монтира антена
- Избор на подходящо място за електрическо табло и допълнителните външни елементи
- Определяне на дължина на кабелни трасета и тръби за присъединяване към електрическата мрежа и Интернет кабелите

Фаза 2 – Подготовка на обекта

- Дизайн и конструкция на основите, както и опорните точки
- Дизайн и подготовка на заземителните съоръжения
- Дизайн и подготовка на електрическите връзки и Интернет кабелите
- Дизайн и подготовка на нужните тръби за полагане на кабели
- Дизайн и конструкция на гръмоотводни съоръжения
- Безопасност на обекта/локацията – Телепорт операторът спазва и се придържа към инструкциите за безопасност за всички служители и персонал, които извършват дейностите по проекта.

Елементи на антената

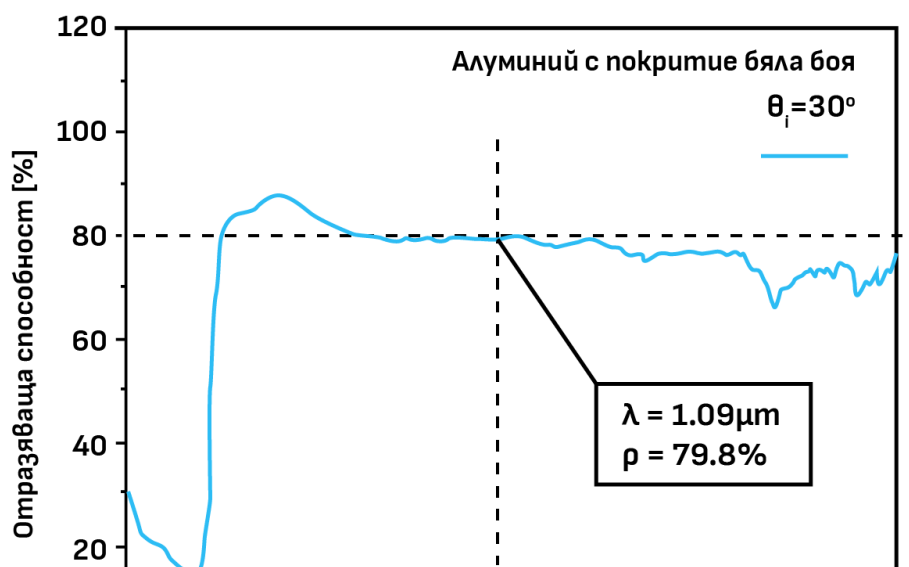
Антената система и рефлектора се монтира на подходящо място, което предплага възможно по-малко интерференции на сигнала, както и по-малко обекти в непосредствена близост. За да се осигури ефективна спътникова комуникация, осигуряваме добра видимост към хоризонта, спрямо спътниковата платформа, инсталация на заземителни съоръжения, както и подходяща Интернет връзка, която да обезпечи необходимите капацитети.

Антенна система „OC LEO 1“ е планирана да работи с два броя „Yagi“ VHF и UHF антени и рефлектор с размер 3.2 метра в честотна лента S.

Към рефлектора се монтира електрическа система против обледеняване „de-ice“, която се управлява чрез софтуерен контролер. За правилно функциониране на антенната система, се вземат предвид ветровите показатели на района, за да не се наруши комуникацията със спътника. Рефлекторът, който интегрираме е високо ефективен, защото е покрит и боядисан с „highly-diffusive“ бяла боя, който позволява разпръскването на концентрираните слънчеви лъчи и по този начин избягваме загряването и високата температура на повърхността, което води до по-лоши параметри на сателитната връзка и съответно по-слаб сигнал.

На базата на модела на Торънс – Спароу се анализират бистатични данни за отразяване на повърхности от различни материали [66, 67]. Използва се алгоритъм за оптимизиране на параметрите и повишаване на ефективността. Измерената полусферична отразителна способност на тази проба от 200 nm до 2000 nm (чрез използване на спектрофотометър (U-3501) с интегрираща сфера), както е показано на Фиг. 25. Когато дължината на вълната е 1,09 μm , тогава стойността е 79,8

%. С уравнението по-горе можем да получим стойността на коефициента на отражение ρ е 79,8%, който се измерва чрез интегрална сфера. Чрез прилагането на този модел и покритието с бяла боя, подобряваме общата производителност на антенната система и параметрите на сателитната комуникация.



Фигура 25 – Ниво на отразяване на повърхността, [Research Gate]

Друг важен и критичен аспект, който трябва да бъде взет под внимание с оглед на постигането на максимална ефективност и усилване на антената, е прецизната геометрия на рефлектора и увеличаването на акуратността на покритието, наричано "surface accuracy". Тя има решаваща роля в оптимизирането на антенната система и в максимизирането на използваната енергия.

За постигане на най-високите нива на усилване при използването на параболична рефлекторна антена, повърхността трябва да бъде конструирана и поддържана с най-висока степен на прецизност, като се

стреми да се осигури максимална близост до параболичния контур [68]. Всякакви отклонения водят до нежелана деградация на точността на отражението и, съответно до влошаване на производителността на антенната система.

Особено важно е да се обърне внимание на размера на прорезите или отворите в отразяващата метална мрежа. Те трябва да бъдат проектирани и изработени с изключителна точност, като размерът им трябва да бъде значително по-малък от дължината на вълната на използваната електромагнитна радиация (означена с λ), разделено на 10 ($\lambda/10$). Това изискване се налага, тъй като по-големите размери на прорезите или отворите могат да предизвикат нежелано разсейване и дифракция на радиоизлъчването, което от своя страна може да намали ефективността на антената и точността на концентрацията на сигнала [71].

Вниманието към прецизната геометрия на рефлектора и качеството на "surface accuracy" играе ключова роля в поддържането на оптималната функционалност на параболичната рефлекторна антена, като същевременно осигурява максималната усилваща способност и най-добро качество на приемането и излъчването на електромагнитни сигнали.

За да изчислим усилването на параболичен рефлектор използваме следната формула:

$$G=10\log_{10}k(\pi.D/\lambda)^2$$

G е усилването спрямо изотропен източник в децибели „dB“

k е коефициентът на ефективност, който обикновено е около 50% до 60%, т.е. 0,5 до 0,6

D е диаметърът на параболичния рефлектор в метри

λ е дължината на вълната на сигнала в метри

Основната рефлекторна повърхност е съставена от единични панели. Точността на единичния панел е в правопрпорционална зависимост с прецизността на рефлекторна повърхност на антената. Един панел на антенната система в честотна лента "S" се разполага като филм и се закрепя върху гумата с нитове. Нивата на точност на повърхността на антената в честотен спектър „S" е 7.5mm~10.00 mm (r.m.s) грешки. За постигането на такава точност се използва високопрецизна технология за формоване на панели под отрицателно налягане.

Този съвременен проект не само позволява на нашата антена да постигне по-точна насоченост и по-висок коефициент на усилване, да намали значително грешките на повърхността (surface errors), но и да повиши ефективността на приемане и предаване на сигнали от и към космически обекти. Дизайнът на параболична рефлекторна антена се основава на принципите на геометричната оптика и теоремата за параболичния рефлектор [69,70].

За да подобрим системата, използваме 3.2м рефлектор с усъвършенствана геометрия, специална боя за покритието, както и висококачествен алуминий. Друг елемент от антената е интеграция на 100W усилвател в честотна лента "S", като съвкупността от тези компоненти, ни позволява да постигнем по-добри спътникови параметри и да повишим цялостната производителност на системата.

За да се осигурим оптимално осветяване на отразяващата повърхност, нивото на осветеност трябва да бъде по-голямо в центъра, отколкото отстрани. Антенната система е проектирана с максимално ефективен фокален център с цел електромагнитните вълни да се концентрират по-добре и да се постигнат по-високи нива на сигнал спрямо шум – C/N.

3.3. Технически изисквания на антенната система

- Електрически изисквания

“OC LEO 1” – (с включена de-ice система)

- Антената изисква еднофазов променлив ток, 110 – 240VAC, 50 – 60Hz. Връзката следва да се защити и обезопаси с автоматични предпазители
- Максималната мощност, която трябва да се осигури за наземната станция е 6Kw, 32Amp.
 - Заземяване на съоръжението

За целите на проекта са осигурени всички необходими електрически компоненти, за да осигурим заземяването на антената. В допълнение се спазват и регулаторните изисквания и стандарти при извършването на тази дейност.

- Мълниезащита

Проектът включва и необходимото оборудване и осигурява мълниезащита на антенната система. Всички елементи са инсталирани професионална така, че да обезопасят съоръженията. Мълниезащитата, която е част от този проект, не се ограничава само до антенната система, но се разпростира и на други съоръжения и компоненти, свързани с наземната станция. Подходът включва професионално проектиране и инсталация на отвеждащи електричеството системи, които са специално разработени за тази система. Те трябва да бъдат интегрирани в съоръженията и да бъдат способни да отведат потенциално разрушителния електростатичен разряд, който може да доведе до нарушения в работата и

комуникацията със спътника. Всички използвани методи са в съответствие със стандартите за сигурност и качество, като се вземат предвид и местните климатични условия и вероятността за мълнии.

- Изисквания за Интернет Свързаност.

Интернет свързаността е планирана така, че да осигури необходимите наземни капацитети, които да обслужват сателитните мисии без прекъсването на услугата. За целта антенната системата, и в частност модема, се свързва към MAN (Metropolitan Area Network) на доставчик на Интернет услуги, чрез LAN интерфейс и порт, който поддържа скорости до 1 Gbps. Осигурява се и резервирана свързаност чрез друг доставчик, за да се избегне загуба на спътниковата комуникация. По този начин се предоставя основна Интернет свързаност и резервираност, както се позволява високоскоростен трансфер между сателитната платформа и наземната станция. Капацитетът е ключов фактор, вземайки предвид нарастващите данни, които се обработват от системи на ниска наземна орбита.

- Описание на дейностите, които трябва да се извършат от системния интегратор

За да се гарантира коректната инсталация на „ОС LEO 1“ антена, както и функционирането ѝ, системният интегратор трябва да подготви прецизно предвиденото място за монтаж, като осъществи според предварителните изисквания, следните дейности:

- Избор на подходящо място за инсталация, което да е с добра видимост към хоризона за антената.
- Избор на място за монтаж на електрическо табло
- Избор на локация за монтаж на стойка за уеб камера

- Подготвяне на основата за инсталацията
- Полагане на кабелни трасета за Интернет свързаност
- Окабеляване за свързване на електрическите кабели
- Подготовка на електрически връзки за заземяване
- Подготовка на гръмоотводни съоръжения
- Подготовка на мястото за инсталация, осигуряване на необходимите машини/кранове и персонал за деня на инсталирането на оборудването

Системният интегратор трябва да осигури подемна машина, за да може антената да се повдигне и постави на точното място, предвидено в проекта. Използването на монтажен кран е необходимо, за да се сглобят всички части на антената, преди извършването на инсталацията.

- Избор на място за колокация на „OC LEO 1“ антенна система

Системният интегратор трябва да се вземе предвид следните изисквания и детайли, преди да направи окончателен избор за мястото на „LEO OC 1“ антена:

- Добра видимост към хоризонта и достатъчен ъгъл на елевация антената към сателитната платформа
- Отсъствие в близост на обекти, които биха причинили интерференции
- Отсъствие в близост на обекти, които биха попречили на плавното ротационно движение на антената, което да ограничи нейния обхват и съответно да възпрепятства комуникацията със спътника.
- Отсъствие на предаватели или други антени, които биха могли да причинят честотни интерференции и да влошат сигнала
- Предварителен анализ относно изграждане на солидна основа на антената
- Предварителен анализ относно обезпечаването на антенната система с достатъчни капацитети за електричество и Интернет свързаност.

- Предварителен анализ как да се колокира и защити прилежащото оборудване
- Системи за превенция и защита срещу неоторизиран достъп.
- Осигуряване на достъп за подемните машини и кранове, предвидени за инсталацията
- Осигуряване на достъп за извършване на инсталационните дейности
- Осигуряване на достъп за осъществяване на планираната поддръжка на антената, както и оборудването на място.

Спазването на предварителните изисквания за избор на място за колокация, обслужване и поддръжка на антената система осигурява нормалното функциониране и комуникация със спътника. Предварителният анализ ни дава допълнителни данни и ключови показатели, за да се предотврати грешен избор на локация, което да доведе до деградация на сигнала и неефективна сателитна връзка. Също така се извършва оценка на възможностите за достъп до сайта, наличие на електрозахранване, определяне на дължините на кабелите, тестване на наличието на комуникационни връзки и преглед на общи въпроси, свързани със сигурността на мястото, собствеността и организирането на процеса по обслужване и ремонт на системата. Също така получаваме важна информация за определянето на метеорологичните географски специфики, конструкцията на обекта и спазването на всички регулаторни изисквания при изграждането на технологичното съоразение.

- Обобщение на предварителните изисквания за инсталация

- Осигуряване на добра видимост към хоризонта – преди инсталацията на антената, проверяваме щателно, че наличните в съседство обекти и препятствия са съвместими с изискванията на проекта за видимост и те не възпрепятстват движението на

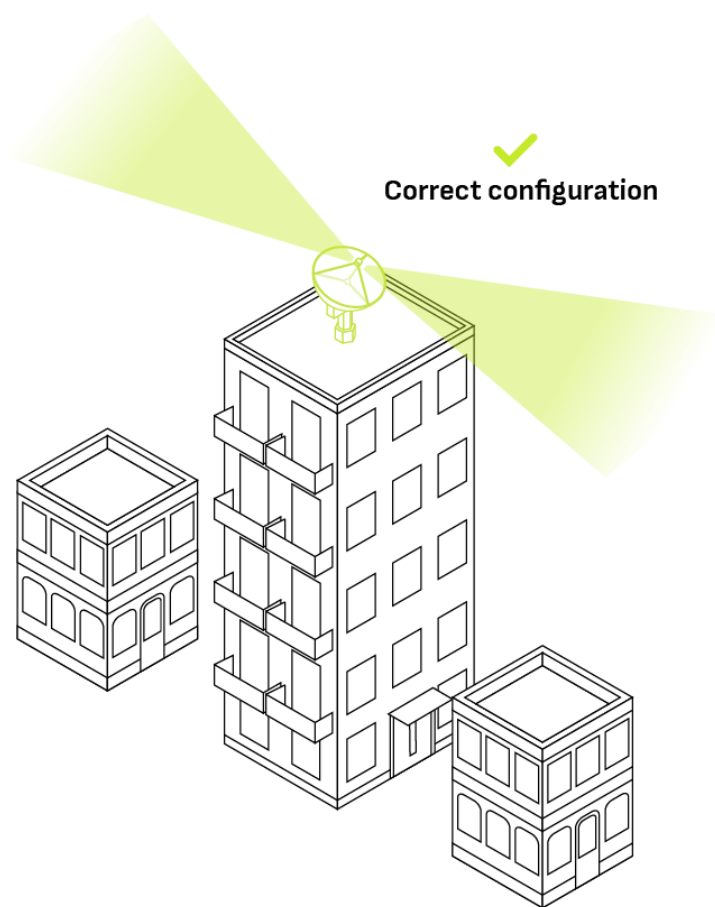
антената за проследяване на спътника на ниска наземна орбита.

- Осигуряване на достъп – технологичният обект трябва да осигурява нормален достъп до съществуващата инфраструктура, като електричество, канална мрежа, оборудване, комуникации и други. В допълнение хардуерът и мястото следва да са безопасни за работа и поддръжка.
- Сила на вятъра – извършване на полеви тест на антената при максимални стойности на силата на вятъра, за да се установи, че рефлекторът е стабилен и не променя своите допустими параметри за комуникация със сателитите.
- Честотни интерференции – преди въвеждане в експлатация на антената трябва да сме сигурни, че в близост няма друго радио оборудване, което да пречи и да създава интерференция с „ОС LEO 1“ антенна система.
- Метеорологични условия и околна среда – анализиране на климатични условия в рамките на годината, за да се уверим, че те не биха попречили на функционирането на „ОС - LEO 1“ антена.
- Достъп до обекта и сигурност – интегриране на система за контрол чрез персонализирани карти, за да се предотврати неоторизиран достъп на лица, които да застрашат или нарушат работата на антенната система.
- Разрешителни за обекта – да се осигурят необходимите разрешителни за строеж, при изграждането и инсталацията на антената.
- Радио-честотни лицензи – да се получат необходимите радио лицензи, които са необходими при експлоатация на антената.

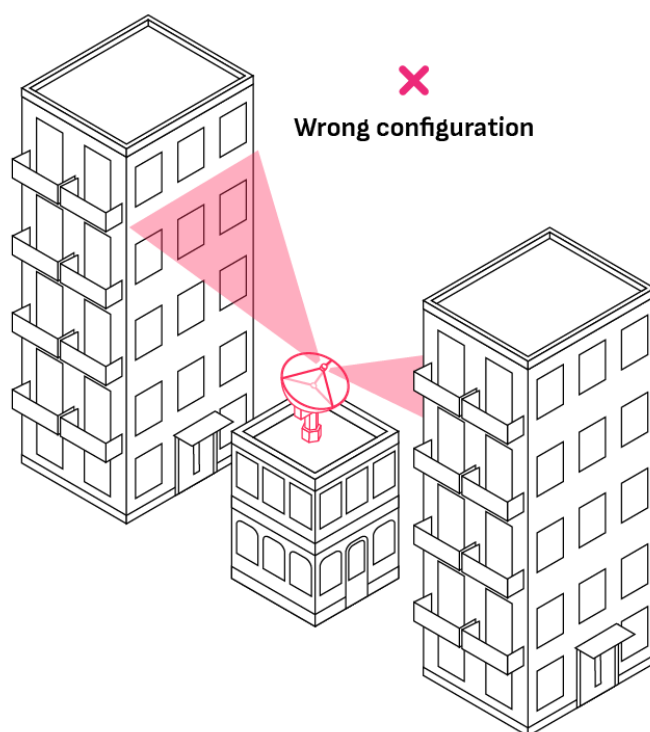
Тези лицензи се издават от Комисия за регулиране на съобщенията.

- Подробни изисквания при предварителната инсталация на „ОС – LEO 1“ антенна система

За да осигурим добра видимост към хоризонта и достатъчен ъгъл на елевация за спътникова комуникация, приемниците в наземната станция са настроени да следят сателити от 0 градуса над хоризонта (Фигура 26). Отрицателните стойности изключват активирането на системата и автоматичен тракинг със спътниците на ниска наземна орбита. Препятствията биха могли да доведат до загуба на спътников сигнал или могат да причинят така наречените отразени сигнали, които сами по себе си имат негативни влияние върху качеството на пренесените данни, а от там и на сателитната връзка (Фигура 27). Поради тази причина, се стремим да осигурим максимална видимост към хоризонта, минимални радио смущения, както и отсъствие от обекти в съседство, които да намалят градуса на елевация и азумит. На фигури 26 и 27 съм представил правилна и неправилна инсталация на „ОС LEO 1“ антенна система.



Фигура 26 – правилна конфигурация/инсталация, [Красимир Терзиев]



Фигура 27 – неправилна конфигурация/инсталация, [Красимир Терзиев]

Станцията е проектирана така, че да минимизира нуждите по отношение на съхранение на електронното и телекомуникационно оборудване, поддръжка, механична настройка и ръчно управление. Поради тези причини всички подсистеми за номиналните операции са интегрирани и предварително конфигуриране, като единствените външни системи са електропроводът и Интернет връзката.



Фигура 28 – Очаквани позиции на антената, според хоризонта, [Красимир Терзиев]

Високи дървета и растения също биха могли да доведат до прекъсване или загуба сигнала, поради не добра видимост към спътника, така както пречат и съседни сгради или обекти. Ако в близост има малки дръвчета, които не са препятствие към момента на изграждане на инсталацията, инсталаторите трябва да предвидят и техния растеж, който евентуално ще попречи на функционирането на антената, след няколко години експлоатация. Също така, хоризонтални или вертикални плоскости, биха могли да причинят отразяване на сигнала и последващи загуби на данни.

Други евентуални източници на интерференции са фиксирани рефлексори, верижни огради и плетове, метални обекти в околностите, както и временни

обекти, като например паркирани автомобили, движещи се превозни средства, строителни скелета и други.

В допълнение трябва да се прецизират регулаторните рестрикции за излъчване в специфична честотна лента и поляризация, защото това би могло да повлияе върху цялостното качество на услугата, в случай, че не се спазят изискванията. Планираната позиция на антената е илюстрирана на фигура 28.

- Осигуряване на достъп – системният интегратор планира достъпа до оборудването за последващо обслужване и предвижда евентуалните обструкции на място като тръби, парапети, стълби, стени и други. Също така трябва да се осигури достатъчно място за присъствие на инженери, които да стоят в близост до антената по време на нейното движение, както и да няма други механични пречки. Антената се движи сравнително бързо и осигуряването на свободен достъп до нея е важно от гледна точка на сигурността и изискванията за обслужването ѝ.
- Сила на вятъра – антенната система се планира за инсталация на място, което е подходящо и дава възможност за изграждането на стабилна основа. Локацията се избира прецизно, като съседните сгради или обекти не трябва да концентрират силни ветрове, които да надвишават максимално допустимите стойности, описани и заложиени в техническите изискванията. Тези параметри са описани в проекта и трябва да се вземат под внимание при планирането на обекта.
- Честотни Интерференции – Потенциални източници на радио смущения, включително телевизионни и комуникационни кули с високо напрежение, е желателно да бъдат на сравнително далечно разстояние от антената. Изпълнителят следва да комуникира и предвиди работата на подобни системи в близост, както и излъчването

на оборудване в същите честотни спектрове. Излъчванията на съседни обекти трябва да се измерят, за да се избегнат смущения на сигнала.

- Метеорологични условия и околна среда – времето, което е специфично за конкретната локация е от ключово значение при избора на оборудването. Например, ако имаме студен климат и натрупване на сняг, то използването на защитен купол и инсталацията му трябва да се планира. Метеорологичните условия могат да окажат негативно влияние върху сателитната услуга и поради тази причина изпълнителят трябва да комуникира и предвиди следните събития – дъжд, сняг, силен вятър, ниски и високи температури, рискове от земетресения, торнадо, наводнения и пожари. При избора на локация за монтаж на антенната система се препоръчва зоната да е с подходящи метеорологични условия и исторически да не са настъпвали бедствия и аварии.
- Достъп и сигурност на обекта - при инсталацията на оборудването, трябва да се осигури лесен достъп до антената на оторизирани лица. Лицата и списък с имената следва да се документира прецизно, за да се избегне неоторизиран достъп, който да доведе до риск за услугата. На лицата се издават персонализирани карти. В допълнение набавяме информация за изминали инциденти или вандалски прояви в околността. Възможно е да се наложи изграждане на защитна ограда или осигуряване на специални предпазни мерки, както и видео наблюдение с внедрени интелигентни функции за по-висока защита. Сигурността на обекта трябва да се предвиди при избора на локация, както и на специализираното оборудване, което е част от цялостната система. Под внимание вземаме и влиянието на човека, животните и самата среда – по-долу описвам конкретните фактори.

Въздействие на човека – най-често, технологичните обекти се намират в частна собственост, където живеят хора. Вандалите и крадците рядко биха навлезли в частни имоти, защото това се възприема като нарушение. Препоръчително е да се минимизира видимостта към самото оборудване и антена, както то да бъде по-далеч от пътища. Също така е желателно съоръжението да бъде монтирано на възможно най-ниско място, за да не се вижда от околните. Използването на ключалки и катинар е важно, за да се избегне неоторизиран достъп на външни лица.

Въздействие на животни – Обектът следва да бъде обезопасен с ограда срещу по-големи животни като крави, кози, овце, мечки, вълци и други. Също така е добре да има защита срещу по-малки животни като например гризачи. За целта кабелите трябва да са покрити в метални отводи или да са вкопани в стена или пода, там където е възможно. Това ще ги съхрани и ще предотврати негативно метеорологичното влияние и евентуална ерозия.

Влияние на атмосферните условия – препоръчва се използването на водоустойчива защита за електрониката, предвид очакваните валежи, силни ветрове и бури, както високи и ниски температури. В по-горещите райони е желателно да се използват вентилатори, а в студените изолация, която да поддържа подходяща температура.

- Достъп до компонентите и хардуера – системният интегратор трябва да предвиди свободен достъп, с цел пренасянето на оборудването до точката на инсталация. Също така трябва да се осигури и възможност за използване на кран, лебедка и други подежни машини, за да се доставят елементите от системата до планираното място за монтаж.

- Разрешителни за строеж – преди започването на строително-монтажните работи на място, изпълнителят трябва да осигури всички необходими разрешителни и документи, които са необходими за инсталирането на системата.
- Радио-честотни лицензи – Предварително трябва да се провери с местния регулатор (Комисия за регулиране на съобщенията), дали конкретния честотен спектър е разрешен за ползване и колко време би отнело получаването на тези разрешителни от институциите.

Определяне на мястото за инсталация на електрическия шкаф

Изпълнителят трябва да определи подходяща локация за монтаж на електрическия шкаф, като се съобрази със следните изисквания:

- Трябва да бъде монтиран извън обхвата на дейността и насочване на антената.
- Трябва да бъде на сигурно място и да бъде лесно достъпен от оторизираните лица, без да се налага да се преминава в обхвата на действие на антената.
- Да се осигури кабелно трасе до антената, като се съобрази типа на кабела, както и дължината.
- Да се закупят кабелни канали/тръби, които да ги защитят от негативни метеорологични условия.
- В случай на монтаж на покрив, трябва да се осигури минимум 2 метра от парапета.
- Шкафът не изисква монтаж на земята и най-често се използват бетонови блокове за баланса му и за инсталацията.
- Ако местната нормативна уредба не позволява монтаж на тези бетонови блокчета, има възможност за поставяне чрез използване на образец, чрез ползване на болтове за прикрепяне към земята.

Обобщение на изискванията за предварителна инсталация

- Системният интегратор трябва да проектира дизайна и конструкцията на фундамента, преди поставяне на антената, като следва предписанията и технологичните изисквания.
- Местоположение на фундамент – монтаж на покрив и монтаж на сграда; наземно монтиране; други типове
- Дизайн на фундамента и предписания – да се определи типа на фундамента – дали ще е с бетонови блокове, монтаж на покрива или друг тип; В случай, че се ползват бетонови блокове, да се определи точния метод за закрепяне към бетона; Препоръчително е дизайна на фундамента да се възложи на инженеринг компания; Проверява се също, дали основата отговаря на местните регулации; Финално се преминава през чек лист, който да потвърди, че фундаментът ще издържи на структурно и ветрово натоварване.
- Хардуер за монтаж – проверява се, че изпълнителят осигурява достатъчно количество, качество на оборудването при монтажа.
- Шаблон на модела болтове – системният интегратор осигурява коректен образец относно използването на монтажните болтове
- Кабели, тръби и дизайн на фундамента – уверяваме се, че към конструкцията на антената има налични кабелни трасета, чрез които да се изтеглят електро-захранващ и останалите кабели; Проверява се, че кабелните трасета са така проектирани, че да са водоустойчиви и да няма опасност от проникване на вода, която да наруши структурата им; Кабелните трасета трябва да са с подходящ диаметър и вид на материала; Те трябва да отговарят и на изисквания за максимално огъване, което да предотврати прекъсването на физическите кабели.

Монтаж на сграда / Монтаж на покрива

Тази инсталация е препоръчителна поради следните предимства:

- Лесен достъп до електрическо захранване и комуникации
- Сигурност на сайта
- Увеличена кота, за да се преодолеят околните препятствия
- Фактори на околната среда, влияещи на приемника (температура, влажност)
- Съществуваща структура (предполагаща дългосрочна стабилност)
- Често по-ниски разходи за инсталиране поради горепосочените причини.

Проектът изисква само зидани сгради, като се препоръчват масивни тухлени или стоманобетонни. Сградата трябва да е построена минимум преди пет години, за да се избегне вероятността от първоначални щети по конструкцията. Не трябва да има видими пукнатини по външните или вътрешните стени. Не се препоръчват сгради с височина над 30 метра. Избягваме дърво или обикновена метална рамка с метални стени и без метални покриви.

Монтаж на земята

Наземните опори обикновено се разделят на три категории: Пилон, Обтегателни въжета и Кула. Препоръчителната е стойката да е пилон.

Елементите които трябва да съблюдаваме при избора на място за наземна станция са:

- Бъдещо използване/застрояване на района, т.е. изграждане на нови сгради или подобрения и инсталиране на подземни съоръжения
- Преминаване на други близки обекти до антената

- Тип на почвата
- Достъп до електричество и комуникации

„ОС LEO 1“ антена изисква:

- 1 захранващ кабел, свързващ електрическия шкаф към долния пилон.
- 1 сигнален кабел, свързващ електрическия шкаф към долния пилон.
- 1 заземяващ кабел, свързан към Телепорта/дата центъра.
- 1 интернет кабел, свързващ антенната система към основната телекомуникационна мрежа.

Допълнителни кабели:

- 2 захранващи кабела, свързващи долния пилон с допълнителните външни светлини
- 1 сигнален кабел, свързващ долния пилон с уеб камерата.
- 1 сигнален кабел, свързващ долния пилон с допълнителната анемометрична станция.

Интернет връзка

Обобщение на изискването за интернет връзка

1. Изискване за скорост на Интернет

- Системният интегратор е длъжен да осигури подходяща скорост на интернет.
- LEO наземната станция изисква симетрична връзка за “download” и “upload”
- Планираният Интернет капацитет е 1Gbps, чрез който се обезпечават сателитните мисии.

- Основното съоръжение, осигуряващо интернет връзка към телекомуникационния шкаф, трябва да има резервна връзка с минимална скорост 100Mbps.

2. Изискване за интернет връзка

- Системният интегратор трябва да предостави информация за вида на връзката, IP адресите, и използваните кибер защиты и системи.
- „LEO ОС 1“ изисква само една физическа линия, която го свързва към основната телекомуникационна мрежа.
- Изпълнителят трябва да осигури връзка без „firewall“ защита.
- Системата изисква ползването на един публичен статичен IP адрес

3. Размери и характеристики на интернет кабелите

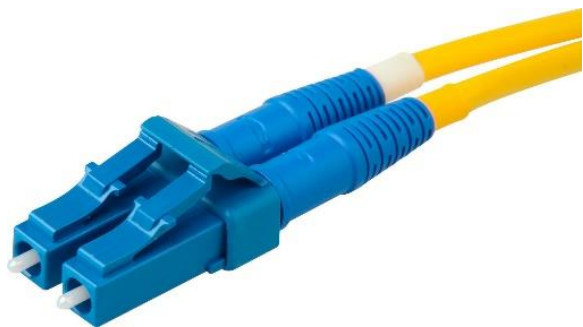
- Системният интегратор е длъжен да предостави Интернет връзката на разположение в монтирания телекомуникационен шкаф на място.
- Системният интегратор предоставя информация за необходимия тип окабеляване.

Телекомуникационният шкаф може да бъде свързан с два вида кабели:

- Антенната система се присъединява към Интернет чрез кабел с RJ45 Cat. 5E (Фигура 29) или LC конектор (Фигура 30), както е показано на фигурата. Препоръчва се използването на оптична връзка.



Фигура 29 – Ethernet кабел, RJ45 конектор, [Ultra.bg]



Фигура 30 - Кабел, LC конектор , [Markettek]

- Системният интегратор е длъжен да избере алтернативни кабели, ако неговите конектори са различни от стандартните (RJ45 или LC оптично влакно), поради специфични местни стандарти.
- Връзката с антената трябва да бъде директна и не трябва да има други кабелни връзки. Поради тази причина изпълнителят трябва да осигури достатъчно дълъг кабел, като планира и резерв от 2 метра.

В случай, че телекомуникационният шкаф е свързан чрез оптичен кабел, пач панелът за свързване на оптиката в края на кабела е задължителен. Той трябва да бъде подготвен по време на инсталацията, тъй като трябва да се намира вътре в Долния пилон.

- В случай че на едно и също място са инсталирани повече от една „OC LEO 1“ антени, те могат да бъдат свързани към рутера на първата монтирана антена. В този случай трябва да се прокарат допълнителни кабелни трасета, за да се свърже първата антена с другите наземни станции.

Изисквания за електрическо свързване

„OC LEO 1“ антена с включена „De-Ice“ система

- Антената изисква еднофазно променливо електричество, 110 до 240 VAC, 50 до 60Hz. Връзката трябва да бъде защитена с диференциален автоматичен прекъсвач.
- Максималната мощност, изисквана за наземната станция (De-Ice) е 6KW
- Използваме 32Amp главен прекъсвач при основния източник на захранване
- Системният интегратор свързва кабела директно към електрическия шкаф чрез триполюсен захранващ кабел (оцветен вътрешен кабел за земя, нула и фаза), подходящ за външен монтаж и с минимално сечение от 6 mm² в съответствие с местните разпоредби (Фигура 31).



Фигура 31 – Захранващ кабел – зелен/жълт кабел за заземяване; син кабел – неутрален; други цветове – фаза, [AdobeStock]

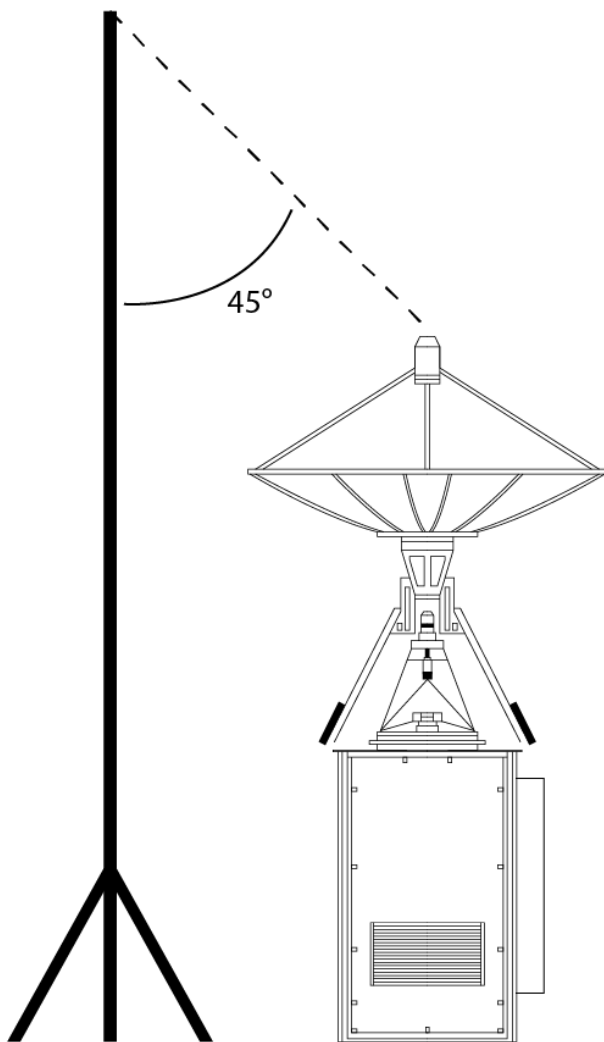
Съображение при инсталирането на мълниезащитна система

Тъй като електрическите стандарти и се различават в световен мащаб, системният интегратор е отговорен за правилното изграждане на мълниезащита на мястото на инсталация на антената. Мълниезащитата трябва да бъде осигурена като външна система, която обгражда зоната на сайта. Системите за мълниезащита обикновено включват специални елементи за заземяване, които не са свързани към захранването на системата, освен ако местните електрически стандарти не изискват това.

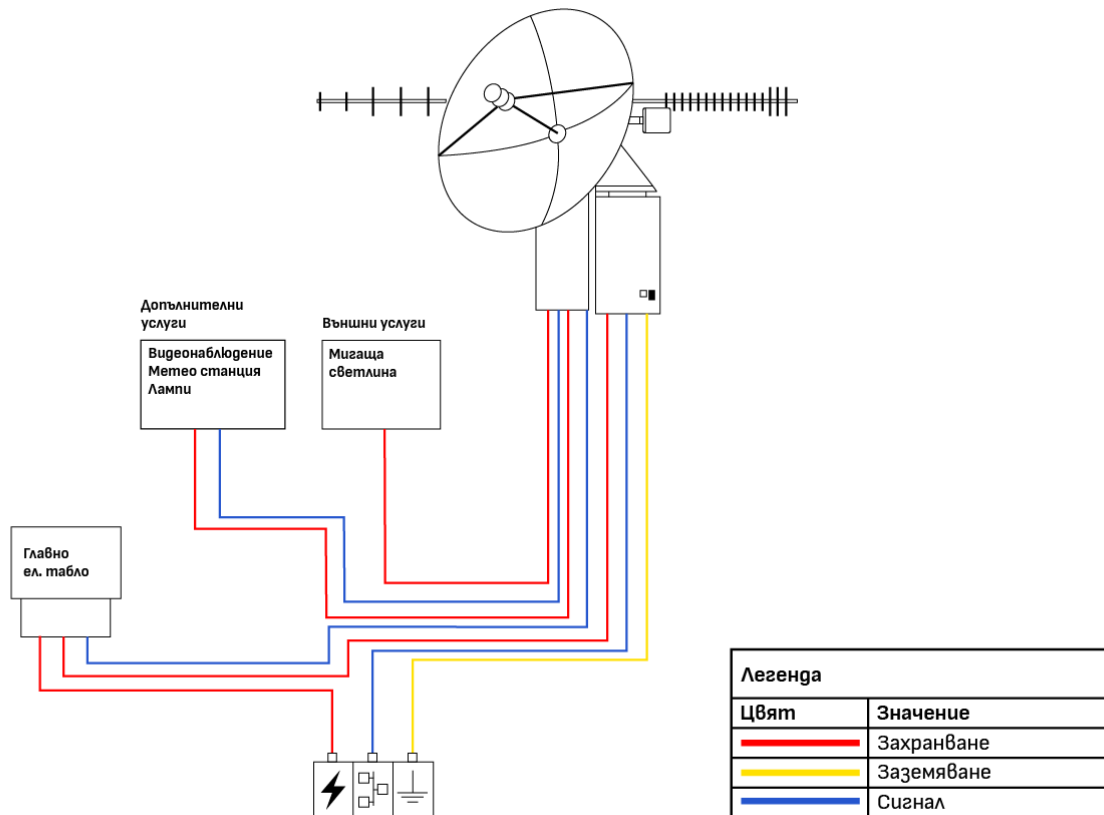
На фигура 32 съм илюстрирал планираната мълниезащитна система. Тя е предвидена да обслужва площ от 80m², т.е. обиколка с радиус 5m от центъра на антената.

На фигура 33 е представена легенда за окабеляване на системата.

Общата височина на станцията (включително Yagi антените) трябва да се вземе предвид при избора на системата.



Фигура 32 – Гръмоотвод, [Красимир Терзиев]



Фигура 33 – Окабеляване на антенна система, [Красимир Терзиев]

- Изисквания за изграждане на основата

Наземната антена изисква изграждане на солидна основа, за да функционира правилно. Системният интегратор предоставя приблизителна информация за натоварването, на база предварителна оценка.

Монтирането на наземната станция на покрива на сграда или върха на друга конструкция изисква използването и монтажа на специални съображения. Те са необходими поради риск от огъване, поради силен вятър. Такива измествания могат да причинят щети на строителната конструкция.

Малки промени в основата на системата могат да доведат до грешки, които влияят негативно на точността на насочване на антената.

Системният интегратор е длъжен да планира опората, за да осигури стабилност, която предотвратява преминаването от надвишаващи следните стойности.

- 0,1 градуса от празен товар до 62km/h (17,22m/s)

1. Натоварване на фундамента

Информацията за натоварването за проектирането на основите е представена на фигура 34.

2. Структурна информация за натоварване

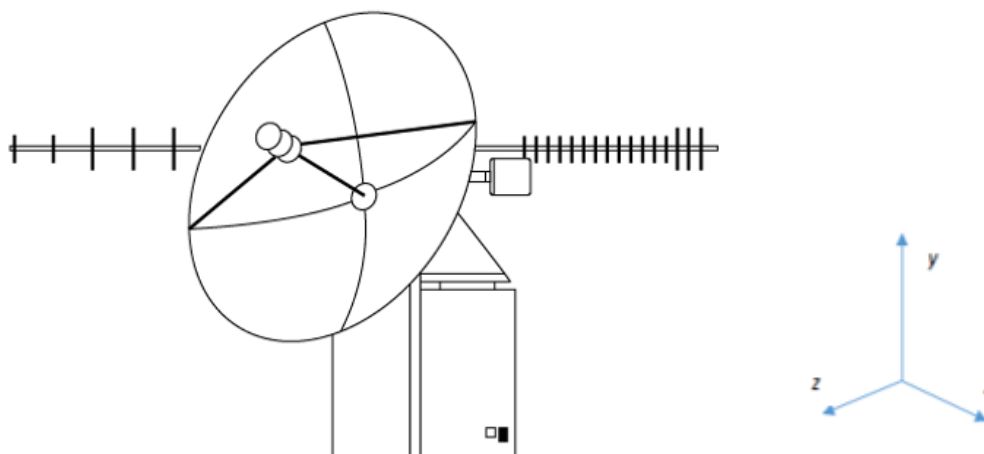
Стойностите за 62km/h (17,22m/s) и 185km/h (51,39m/s) са изчисления при най-високи натоварвания, които биха се случили при условия на силен вятър, който влияе на антената в режим на работа. При калкулациите не е заложен резерв на тези стойности.

- Стойности за 62km/h са изчисления за натоварване на системата от силен вятър по време на работа
- Стойности за 185km/h представлява натоварване при пределни скорости на „оцеляване“ – или това е вятър, при който съоразението може да бъде съборено. Пропъричително да се спре работата на антената, ако скоростта на вятъра надвишава 62km/h.
- Натоварванията на антената се изчисляват при следните условия:
 - шупливост на рефлектора 0%
 - Ъгъл на елевация от 0 градуса
 - Ъгъл на азимут по посока на вятъра от 60 градуса

Системният интегратор е задължен да проектира основи, като се има предвид силата на вятъра и евентуалното натоварване на антената по време на работа.

Натоварване на основата: 62km/h, 17,22m/s (operational load)						
Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz	Тегло
6783Nm	278.5Nm	244.5Nm	85.8Nm	-76.8Nm	1604.4Nm	1350kg

Натоварване на основата: 185km/h, 51,39m/s (survival load)						
Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz	Тегло
83829Nm	3418Nm	2999Nm	1049Nm	-938Nm	19882Nm	1350kg



Фигура 34 – Ветрово натоварване на антената, [Красимир Терзиев]

3.3 Изводи

Направено е проектиране на съществените технологични компоненти за наземна станция на сателитна комуникационна система. Дефинирани са изисквания, които трябва да се изпълняват от технологичните подсистеми и компоненти, за да се обезпечи надеждна сателитна комуникация. Определени са информационните и технически връзки между отделните

компоненти. Описан е минимален набор от технически елементи и компоненти и цялостната им интеграция в една екосистема, която може да изгрази функционалността на наземна станция за космически комуникации.

Глава 4. Оценка и сравнения на технологични параметри на проектираната наземна станция

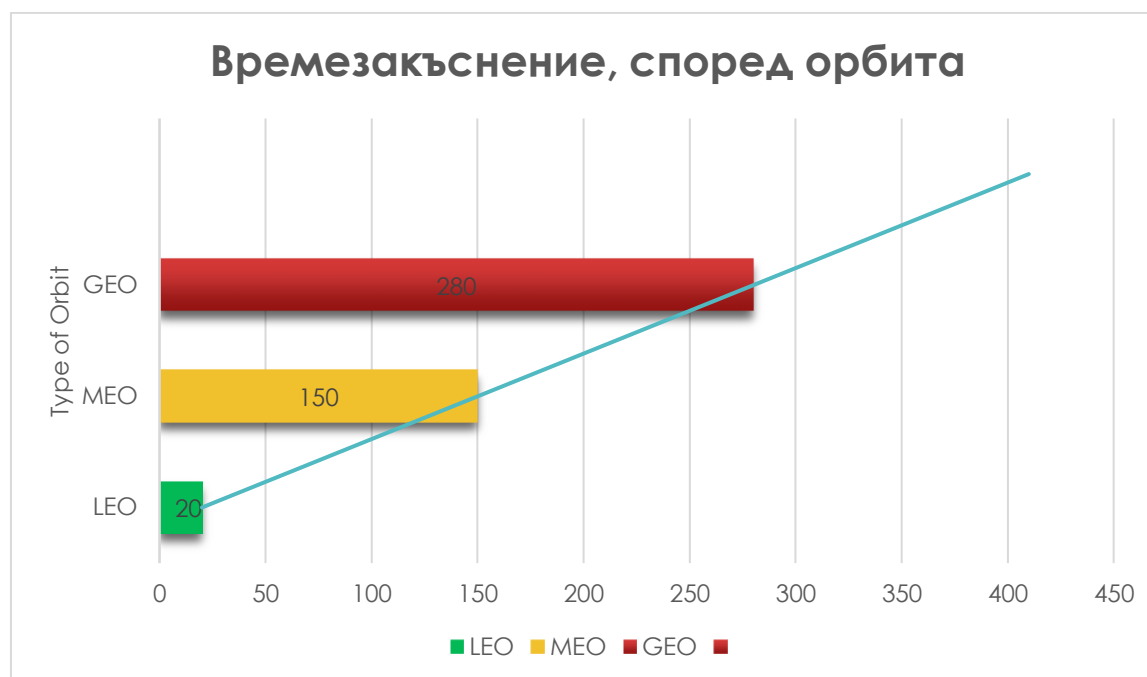
4.1 Изследване и определяне на техническите характеристики на проектираната наземна станция за космически комуникации

В тази глава е направен анализ на технологичните параметри на проектираната система за спътникова комуникация на ниска наземна орбита. Извършени са измервания и оценка на проектираната антенната част на система за спътникова комуникация. Усъвършенстването на параметрите на антенната система позволява повишаване на функционалността на цялата спътникова комуникация. Определени са основните технологични стойности, които определят функционалността и качеството на спътниковата връзка.

Представят се резултатите от направеното експериментално приложение на сателитната антена и се извършва количествена оценка и анализ на качеството и ефективността на системата. Анализират се и се описват резултатите от направените емпирични изследвания, въвеждат се в таблици и се визуализират чрез диаграми. След извършването на обстоен анализ на получените данни от системата, можем да оценим при кои показатели наблюдаваме подобрени функционални и експлоатационни характеристики.

Експериментално е оценена проектираната и разработена антенна система, която показва преимуществени резултати в сравнение текущото технологично ниво на антенната част на спътникова комуникационна система.

Графика 1



Тип орбита	LEO	MEO	GEO
Времеzakъснение m/s	20	150	280

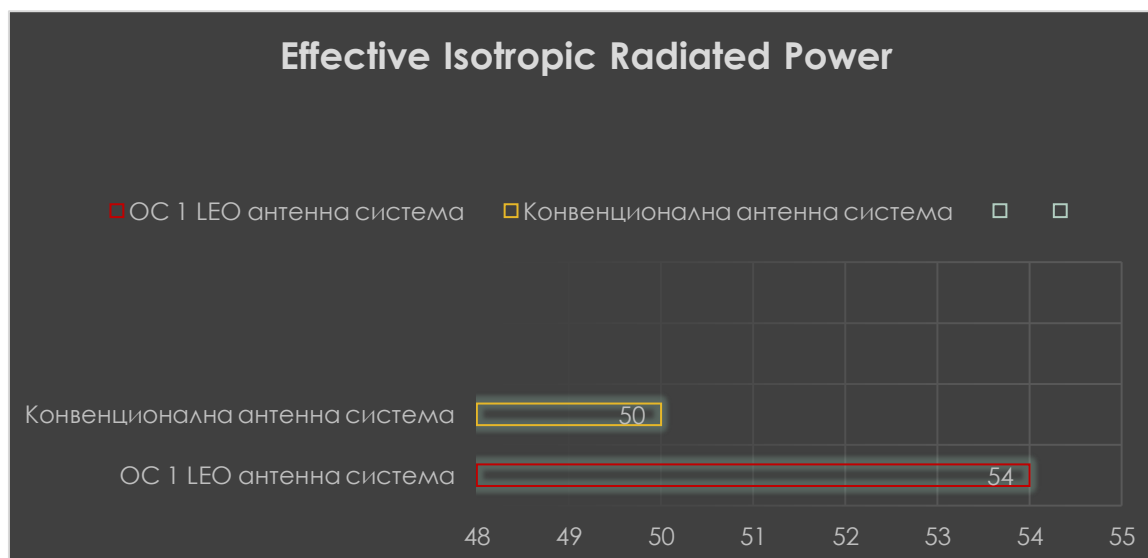
Извод: В графика 1 е представено сравнение при използването на антенни системи на ниска наземна орбита, спрямо платформи на средна и геостационарна орбита.

Времеzakъснението при спътниковите комуникации е критичен елемент, който влияе върху качеството на данните, бързината на предаването им, както и приложението им в реални телекомуникационни системи и мрежи.

Проектираната антена осигурява ниски нива на времеzakъснение, което означава оптимизирана и надеждна комуникация между наземните терминали и спътниковото съзвездие и по-бързо и ефективно приемане на

данните и обработката им от съответните крайни системи или устройства. Съвременните приложения изискват ниско времезакъснение, за да могат да обработят информацията, както и да повишат клиентската удовлетвореност. Подобрявайки скоростта на комуникация се осигурява и значително по-гладка и безпроблема работа на апликациите, както и се покриват технологичните изисквания на софтуерните разработчици. Представят се премимумществени резултати от направеното експериментално приложение чрез приложената графика, която визуализира 20ms при използването на проектираната „OC LEO 1“ антена, спрямо 280ms при стандартните геостационарни системи. Подобрените нива на времезакъснение позволяват и обработка на по-големи обеми данни и подобряване на ефективността на цялостната спътникова връзка.

Графика 2

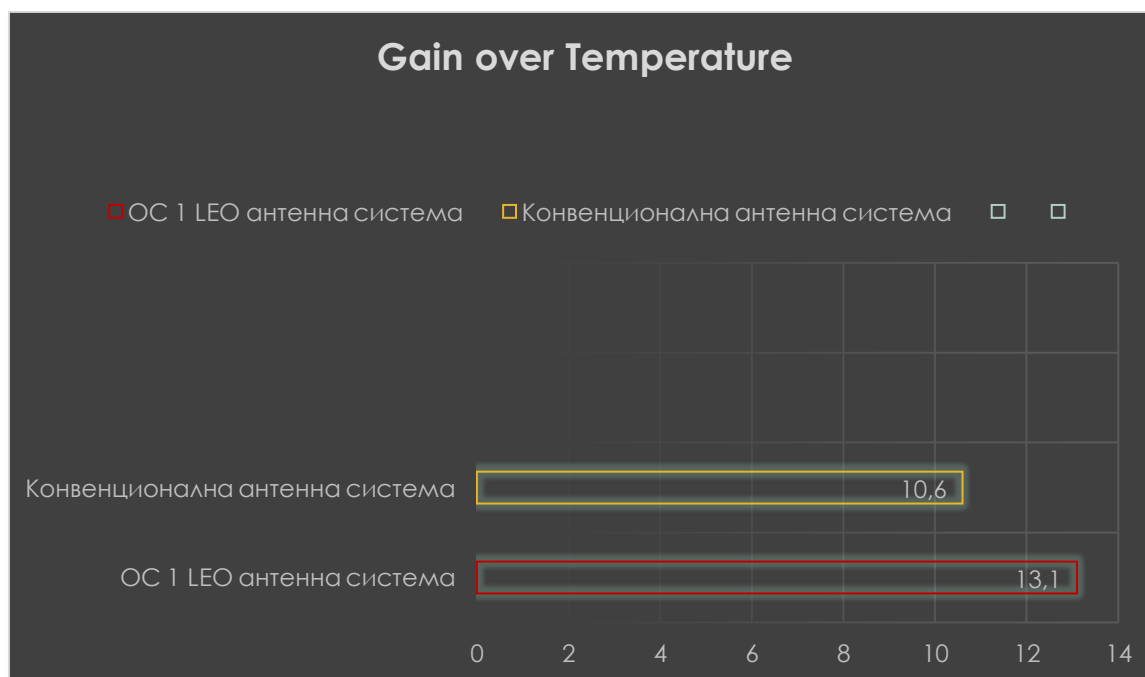


Показатели	OC LEO 1 антена	Конвенционална антенна система	Разлика
EIRP	54dBW	50dBW	4dBW

Извод: Графика 2 представя сравнение и анализ на стойностите на ефективна изотропна излъчена мощност при антенна система "OC LEO 1", спрямо конвенционалните антени.

Ефективната изотропна излъчена мощност (EIRP) е съществен параметър на антенната система при изграждане на спътникови комуникации. Този показател ни дава информация за силата на сигнала от наземната станция към сателита, като по-високите стойности са правопрпорционални с пренос на по-големи обеми от данни, по-ефективна комуникация, както е по-нисък риск от деградация на сигнала. EIRP стойностите се вземат също предвид при изготвянето на дизайна на лъча на излъчване (beam pattern). Антенната система, която проектираме осигурява преимуществени резултати на EIRP със стойност от 54dBW, което е с 4dBW по-силен сигнал. Подобряването на този параметър ни гарантира по-добро приемане на сигнала от спътника, ефективно усвояване на спътниковия капацитет, както и по-малко загуби на сигнала от земята до космоса.

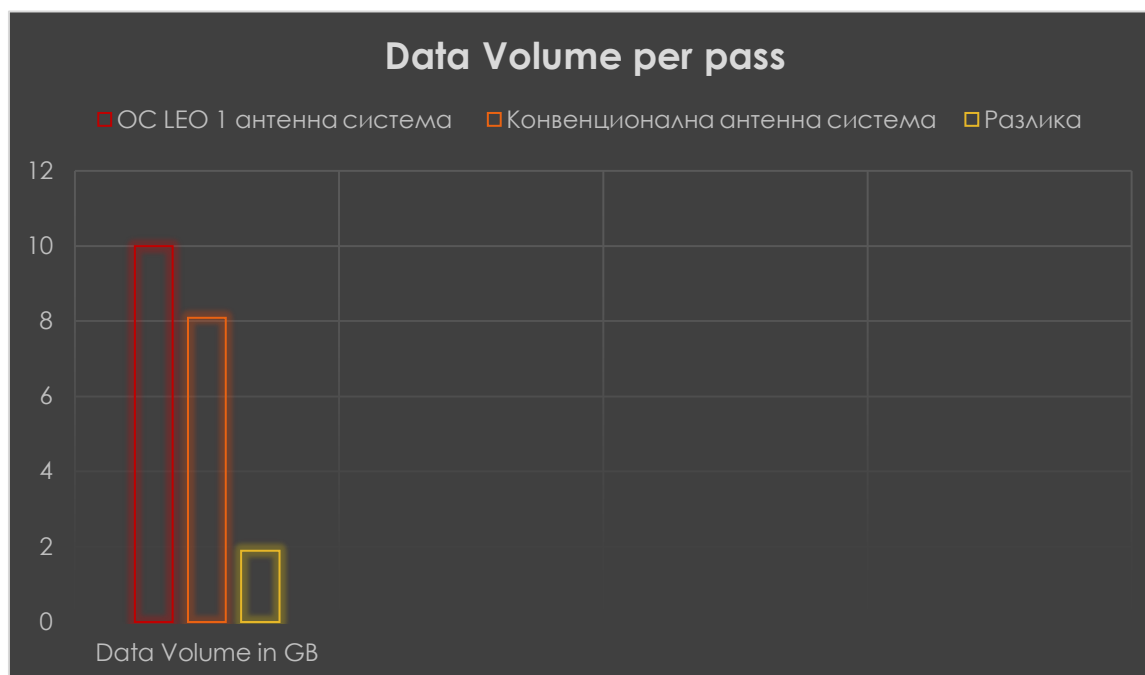
Графика 3



Показатели	ОС LEO 1 антена	Конвенционална антенна система	Разлика
G/T	13.1dB/K	10.6dB/K	2.5dB/K

Извод: В графика 3 сме изследвали един от критичните параметри на антенната система, от който зависи приемането на спътников сигнал от космоса, а именно "Усилване спрямо температура" – G/T. Направено е сравнение между проектираната антенна система „ОС LEO 1“, спрямо конвенционалните антени. Оценката на тази стойност ни дава информация за способността на антената да приема слаби сигнали от космоса и едновременно да поддържа ниски нива на шум, които влияят негативно и намаляват полезния сигнал, получен от приемника. По-високите нива на G/T дават възможност на системата да работи по-добре в близост до други телекомуникационни уреди, като предотвратяват интерференции, които водят до декрация на радио сигнала. Антени с ниски нива на G/T често не могат да приемат спътников сигнал, който затихва в атмосферата. В проектираната антена на ниска наземна орбита "ОС LEO 1" имаме преимуществена стойност от 13.1dB/K, която е с 2.5dB/K по-висока спрямо конвенционалното оборудване. Експлоатирането на нашата антена ни позволява по-ефективна комуникация със сателита, което води до приемане на по-голям обем от данни по време на преминаването на спътника през хоризонта.

Графика 4

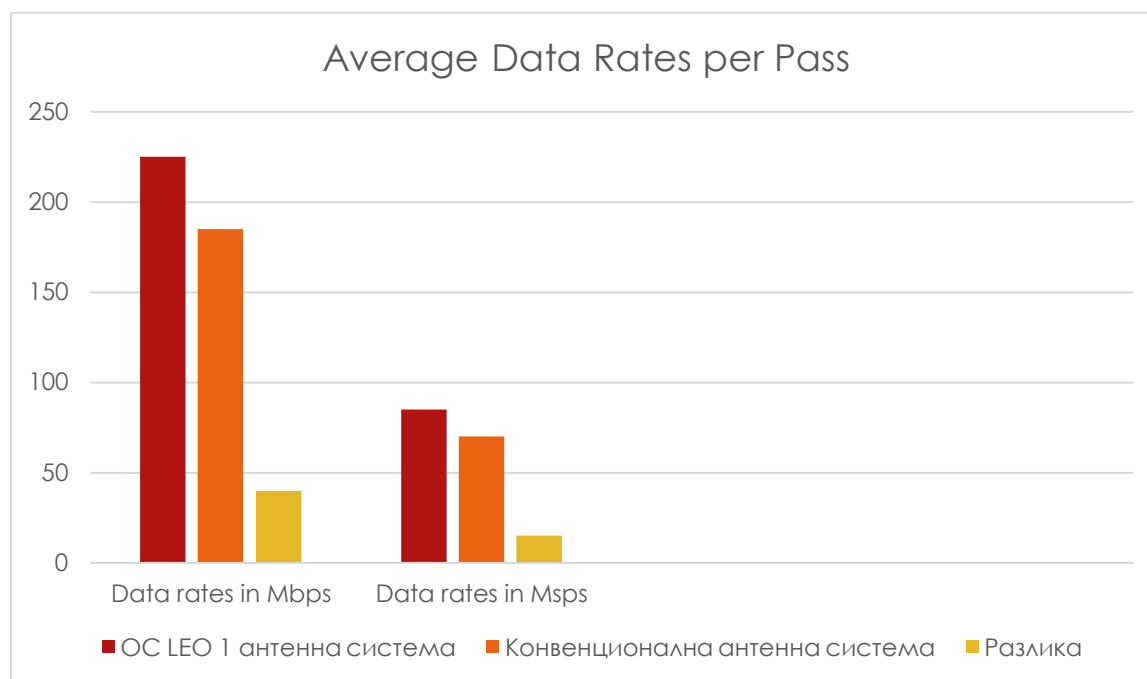


Показатели	OC LEO 1 антена	Конвенционална антенна система	Разлика
Data Volume	10 GB	8.1GB	1.9GB

Извод: В графика 4 е представен анализ и оценка на ефективността на антенната система при преминаване на спътника през хоризонта. Извършено е сравнение между проектираната антенна система и конвенционалните антени. Тя визуализира данните, които очакваме да се приемат от сателитната платформа при средно време на комуникация с антената (satellite pass) от 5-7 минути. В резултат от по-ниските стойности на времезакъснение, оптимизираните G/T и EIRP параметри, постигаме и по-бързи скорости на обмен на данни и възможност за получаване на по-голям обем от информация. Представени са преимуществени резултати от проектираната система на ниска наземна орбита със стойности 10GB, които са с 1.9GB повече спрямо настоящите антени на пазара.

Повишаването на ефективността на системата позволява експлоатирането и интеграцията на повече данни в крайните клиентски приложения.

Графика 5



Показатели	OC LEO 1	Конвенционална антенна система	Разлика
Mbps	225Mbps	185Mbps	40Mbps
Msps	85Msps	70Msps	15Msps

Извод: в графика 5 е представен анализ, оценка и сравнение на скоростите на приемане от проектираната антенна система на ниска наземна орбита, спрямо аналогични продукти на пазара. Визализирани са разликите в скорости, измерени в Mbps (Mega bit per second) и Msps (Mega Symbols per second), като се доказва оптимизация при експлоатация на антена "OC LEO-1". Очаквани са преимуществени стойности за приемане със стойности 225Mbps и 85Msps, което е с 40Mbps и 15Msps по-висока скорост от еквивалентни платформи. Това позволява интеграция със софтуерни и

хардуерни приложения, изискващи по-бързо предаване на данни. Цялостното подобрене на параметрите на антенната система осигурява по-сигурна, надеждна и постоянна комуникация със спътниковите платформи на ниска наземна орбита, с високи нива на наличност на услугата.

4.2 Приложение на предложения подход за количествена оценка на качеството и ефективността на системата

На базата на извършените сравнителни анализи в тази глава от дисертационния труд, е извършена количествена оценка на качеството и ефективността на проектираната система "OC LEO 1" на ниска наземна орбита. Презентирани са стойностите на представените показатели (обозначени с C1, C2, C3, C4, C5) и в процентно съотношение са доказани преимуществени резултати, спрямо настоящите антенни системи. Оценката на качеството е извършена по пет ключови критерия, като всеки един от тях е представен графично.

Формулата, която е приложена е:

Показател C1 - $(C1_{\text{OC LEO 1 антенна система}} / C1_{\text{Конвенционална антенна система}}) \times 100\%$

Показател C2 - $(C2_{\text{OC LEO 1 антенна система}} / C2_{\text{Конвенционална антенна система}}) \times 100\%$

Показател C3 - $(C3_{\text{OC LEO 1 антенна система}} / C3_{\text{Конвенционална антенна система}}) \times 100\%$

Показател C4 - $(C4_{\text{OC LEO 1 антенна система}} / C4_{\text{Конвенционална антенна система}}) \times 100\%$

Показател C5 - $(C5_{\text{OC LEO 1 антенна система}} / C5_{\text{Конвенционална антенна система}}) \times 100\%$

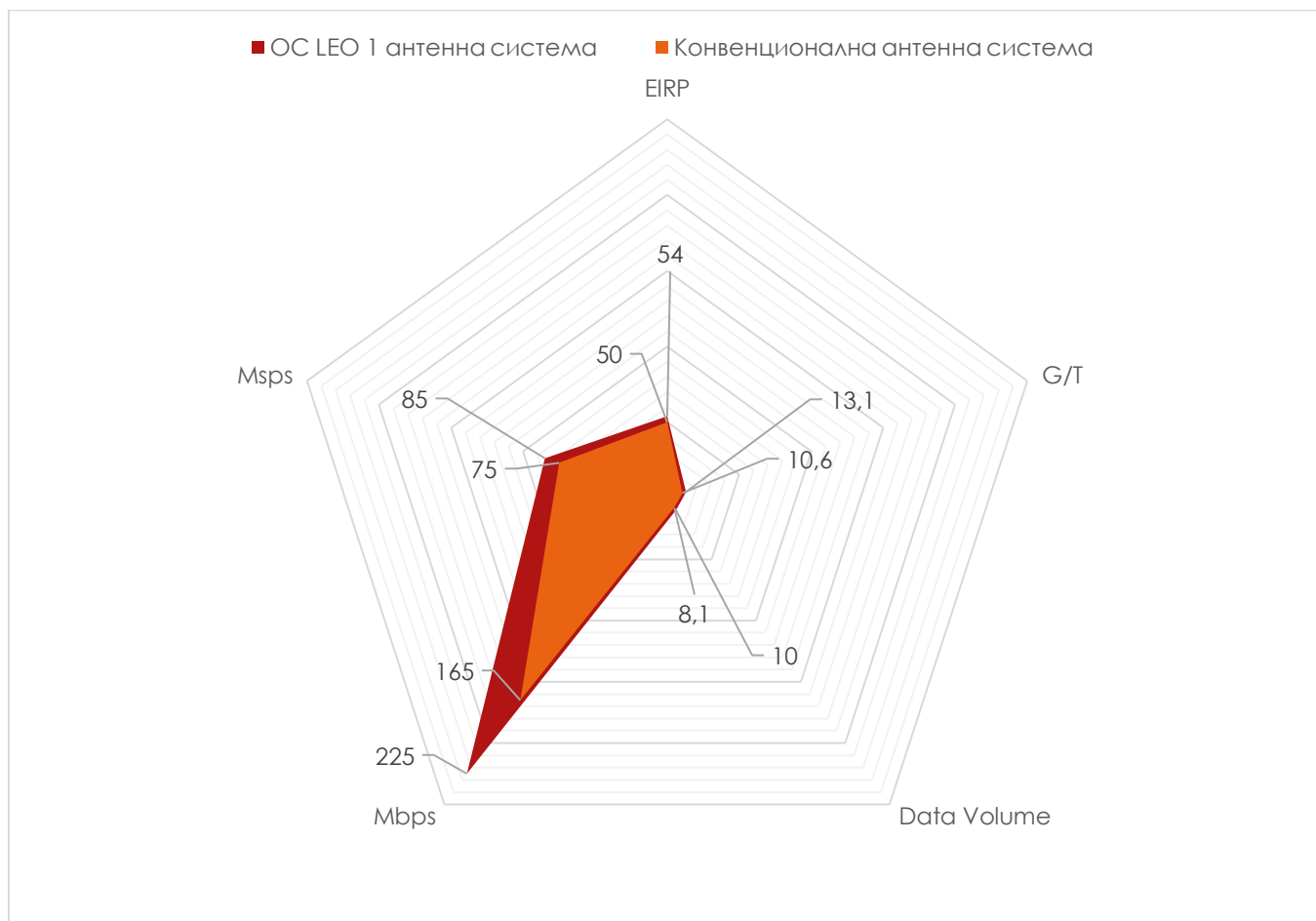
От получения резултат изваждаме 100%, за да получим с колко процента сме повишили ефективността на системата по дадения критерий. Разликата е

представена в колона „Повишение на ефективност на антенната система“ в проценти. За нагледност на резултатите от извършената оценка и анализ, са изготвени радарни диаграми по отделните показатели.

Таблица с обобщени резултати на стойности при антенна система “OC LEO 1” и конвенционална антенна система.

Показатели:

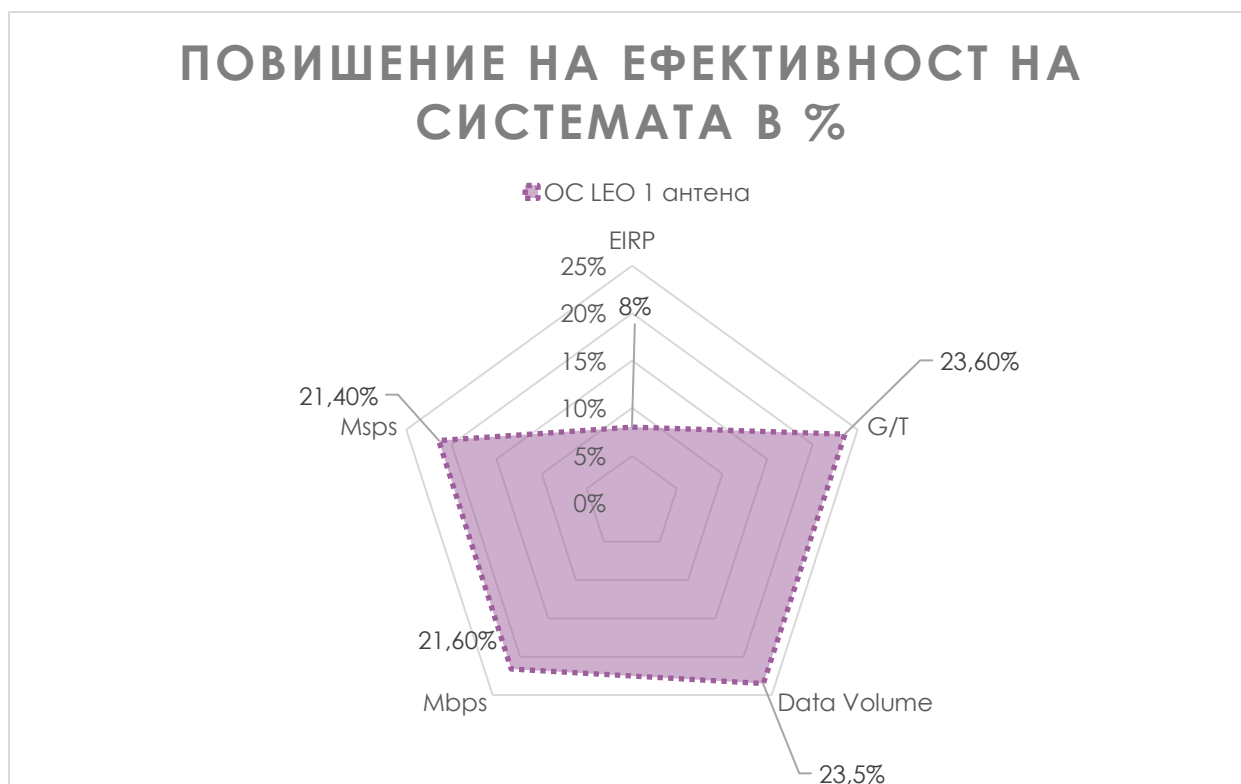
Показатели	OC LEO 1 антенна система	Конвенционална антенна система	Повишение на ефективност на антенната система в %
C1. Ефективна изотропна излъчена мощност EIRP в dBW	54	50	8%
C2. Коефициент на качество на антената в режим на приемане G/T в dB/K	13.1	10.6	23.6%
C3. Обем данни на сателитен „pass“ в GB	10	8.1	23.5%
C4. Скорост на приемане на данни в Mbps	225	185	21.6%
C5. Скорост на приемане на данни в Msps	85	70	21.4%



Диаграма 1:

На радарна диаграма 1 е илюстрирано сравнение на получените резултати от графиките в тази глава за основните параметри на проектираната антенна система спрямо конвенционалните антени. Представена е разликата, изразена пространствено в площ. В оранжев цвят са визуализирани стойностите на конвенционалните антенни системи, а в тъмно червен са тези на проектираната антенна система на ниска наземна орбита. От резултатите следва, че по критерии скорост на обмен на данни в Msbs и Mbps съществува сериозна оптимизация и подобрене на ефективността, както и при обем на данни (Data Volume) и коефициента на приемане, изразен в G/T. При тези параметри имаме над 20% повишение спрямо аналогичните спътникови системи, което е илюстрирано чрез

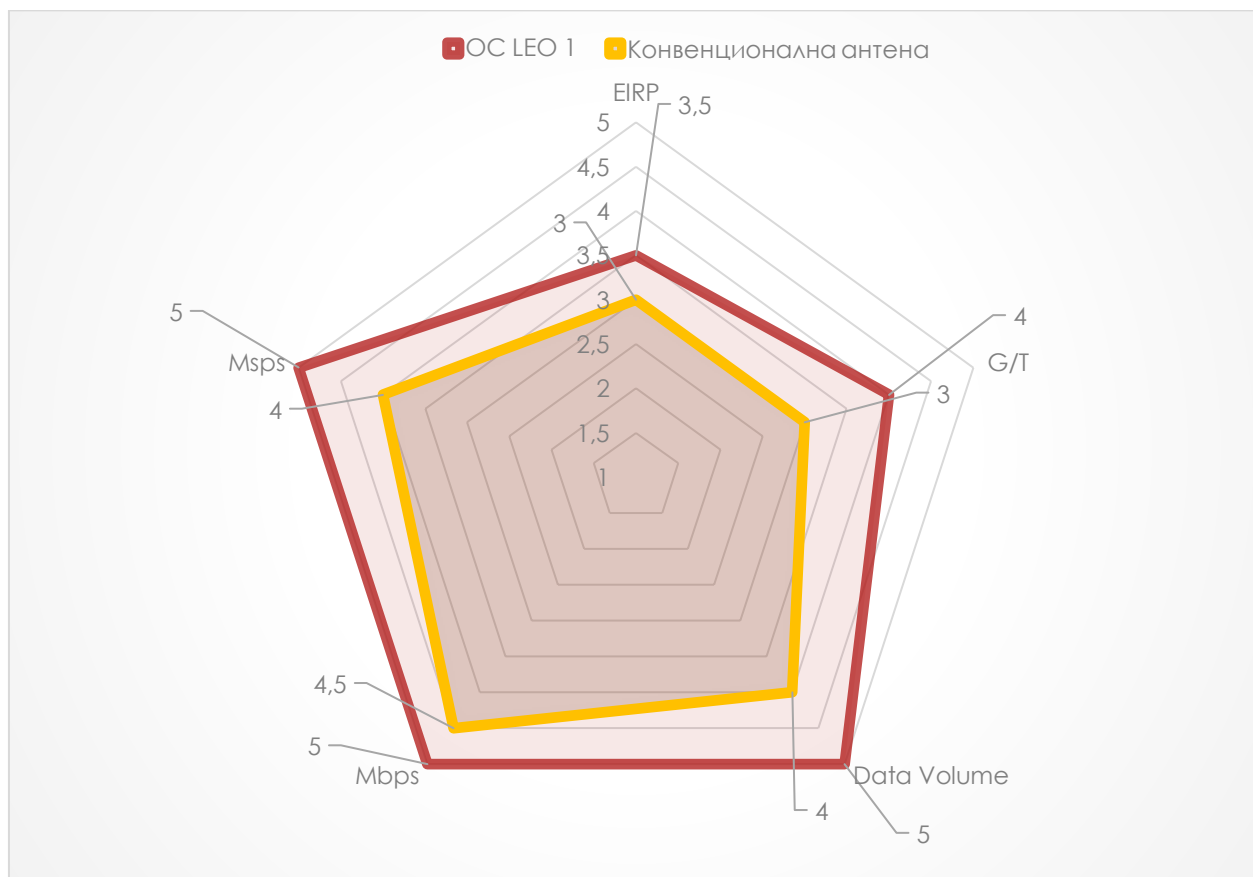
фигурата с по-голямата площ, представена на диаграмата. Получените резултати дават количествена оценка кои критерии са подобрени при внедряване на проектираната система. Оптимизацията е доказана във всички критични елементи, които се анализират, при експлоатация на антенни системи на ниска наземна орбита.



Диаграма 2:

На радарна диаграма 2 е представена в процентно съотношение оптимизацията по отделните критерии, при експлоатация на проектираната антенна система. В лилав цвят е илюстрирана фигурата, която представя оптимизация по петте основни критерия, както и цялостно повишение на ефективността на системата. Като начална стойност е взета 0%, което представлява критерий на конвенционална антенна система (при който нямаме оптимизация) и е заложен в проценти подобрението им по

основните параметри като скорост на обмен на данни в Msp/s и Mbps, както, обем получени данни от сателитната мисия, коефициента на приемане G/T и ефективната изотропна излъчена мощност (EIRP).



Диаграма 3:

Подготовка и организация на проучването

За да изчислим повишението на ефективността на функционалността на системата, е подготвена тестова система на проектираната антена на ниска наземна орбита, както и конвенционална антена, инсталирани в технологичен център на компания "Orbital Connect" (доставчик на сателитни комуникационни услуги и продукти). На двете антенни платформи бяха извършени тестови сателитни мисии със спътници на ниска орбита, със

средна продължителност между 5 и 7 минути на сателитно преминаване (satellite pass). Осигурен е и достъп до софтуера "Network Cloud Engine", чрез който се избира целеви спътник, както и наземната антена, която ще приема данните от платформата. Потребителите, които тестват системата са 5 сателитни инженери (обозначени в таблиците с E1, E2, E3, E4, E5), които са сертифицирани за работа с Телепорт станции и оборудване. Те получават пълен достъп до ресурсите при експлоатацията на "OC-LEO 1" антена, както и конвенционалната, като задават критериите, конфигурират оборудването и въвеждат параметрите в Network Cloud Engine, за да получат крайната информация в облачна система на Amazon "AWS Cloud". За проведения експеримент, на всеки един инженер му бе предоставен пълен достъп до оценяваната система, както и съответните анкетни карти, чрез които всеки един от тях да даде своята обрана връзка, оценка и мнение за системата.

Цели на проучването

Провеждането на изследването в дисертационния труд има няколко цели. Първата цел е да се получат мнения от страна на инженери, разработващи антенни системи, които биха имали важна роля при по-нататъшно технологично и структурно усъвършенстване и развитие на спътниковите системи и комуникационни продукти, които са част от цялата еко система.

Втората цел е да се получат емпирични данни, резултати и анализ на наземни антени на ниска орбита, които биха имали важна роля при определяне на ефективността на системата.

Третата цел е да се установи дали системата е достатъчно универсална, ценово достъпна и лесна за интегрирана, за да има възможност да се използва от повече бизнес организации, университети, както държавни и научни институции.

Резултати и методология за оценка

За да изчислим повишението на функционалността на системата, прилагаме метод за оценка по петобалната система със скала от 1-5 (1 - „Слабо“, 2 – „Средно“, 3 – „Добро“, 4 – „Много добро“ и 5 „Отлично“ ниво на функционалност). Приемат се и не цели, десетични числа при оценяването (например 2.5 или 3.5 и т.н.). Стойностите са изразени и в процентно съотношение, като 20% се приема за „Слабо“, а 100% за „Отлично“. Критериите, които се анализират са P1.EIRP, P2.G/T, P3.Data Volume, P4.Mbps и P5.Msps. Всеки потребител, който тества антените, попълва своето мнение и оценка в системата. Общият брой на инженерите провеждат емпиричните анализи и тестове са E=5. След приключване на анкетата, оценките са представени в табличен вид се сумират и разделят на общия брой потребители, като се взема средната стойност на съвкупността от числовите данни (средноаритметичен подход). Представени са две таблици, които включват оценка по петобалната система при проектираната система на ниска наземна орбита „ОС LEO-1“ и конвенционални антенни системи. В края е изчислена и средната оценка на системата и общото подобрене, като стойност и в проценти.

Вземайки предвид стойностите от направените оценки, резултатите са нанесени в Диаграма 3.

Формулата, която се прилага за изчисление на средноаритметичната стойност е на оценките от потребителите, които тестваха системата е:

Формула за ОС LEO 1 антена:

$$\text{Показател P1} - \Sigma(E1+E2+E3+E4+E5)/5 = P1E_c$$

$$\text{Показател P2} - \Sigma(E1+E2+E3+E4+E5)/5 = P2E_c$$

$$\text{Показател P3} - \Sigma(E1+E2+E3+E4+E5)/5 = P3E_c$$

$$\text{Показател P4} - \Sigma(E1+E2+E3+E4+E5)/5 = P4_{Ec}$$

$$\text{Показател P5} - \Sigma(E1+E2+E3+E4+E5)/5 = P5_{Ec}$$

Формула за изчисление на средна оценка за функционалността на системата: $EcP = \Sigma(P1_{Ec}+P2_{Ec}+P3_{Ec}+P4_{Ec}+P5_{Ec})/5$

Формула за конвенционална антена:

$$\text{Показател S1} - \Sigma(S1+S2+S3+S4+S5)/5 = S1_{Ec}$$

$$\text{Показател S2} - \Sigma(S1+S2+S3+S4+S5)/5 = S2_{Ec}$$

$$\text{Показател S3} - \Sigma(S1+S2+S3+S4+S5)/5 = S3_{Ec}$$

$$\text{Показател S4} - \Sigma(S1+S2+S3+S4+S5)/5 = S4_{Ec}$$

$$\text{Показател S5} - \Sigma(S1+S2+S3+S4+S5)/5 = S5_{Ec}$$

Формула за изчисление на средна оценка за функционалността на системата: $EcS = \Sigma(S1_{Ec} + S2_{Ec} + S3_{Ec} + S4_{Ec} + S5_{Ec})/5$

За целите на оценяването на функционалността на системата е използвана радарна диаграма 3, на която са представени фигури, чиято площ изразява мнението и оценката на анкетираниите и провелият тестове инженери. В оранжев цвят е илюстрирана площта на конвенционална антенна система, а в червен тази на проектираната „OC LEO 1“ антена. Както се вижда, площта на интегрираната „OC LEO 1“ система е по-голяма, което доказва преимуществени резултати, спрямо технологиите, които се експлоатират към момента. На базата на получените резултати можем да заключим, че имаме постигната оптимизация на спътниковата антена, както и по-добри резултати по основните параметри, което води и до високо ниво на удовлетворение на крайните потребители.

Скала за оценка на функционалността на системата

Оценка/Стойност	Резултат/ниво на функционалност
1	Слабо
2	Средно
3	Добро
4	Много добро
5	Отлично

Таблица с оценки на антенна система „OC LEO 1“

Показатели	E1	E2	E3	E4	E5	Ес	Оценка в % по петобална система
P1. EIRP	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	70%
P2. G/T	4.5	4	4.5	4	3	4	80%
P3. Data Volume	5	5	5	5	5	5	100%
P4. Mbps	5	5	5	5	5	5	100%
P5. Msps	5	5	5	5	5	5	100%
ЕсР. Средна оценка						4.5	90%

Таблица с оценки на конвенционална антенна система

Показатели	E1	E2	E3	E4	E5	Ес	Оценка в % по петобална система
S1. EIRP	3	3	4	3	2	3	60%
S2. G/T	2.5	3.5	2	4	3	3	60%
S3. Data Volume	4	5	4.5	3.5	3	4	80%
S4. Mbps	5	4	4	5	4.5	4.5	90%
S5. Msps	4	5	4.5	4.5	4.5	4.5	90%
ЕсS. Средна оценка						3.8	76%

С оглед горепосочените резултати, общата функционалност на проектираната система получава 0.7 пункта по-висока оценка от настоящите антени по петобалната система или средно 14 % повишаване на ефективността.

4.3 Изводи

В тази глава са представени резултати от направени измервания на проектираната антенна система за спътникови комуникации. Определени са съществени технологични параметри като времезакъснение, чувствителност на приемане на сателитен сигнал, мощност на усилвателите и силата на сигнала, изпратен към спътника, скорост на предаване на данни, температурна устойчивост, орбитални специфики, както и цялостна ефективност на проектираната система за ниска наземна орбита. Получените резултати са сравнени с резултати на текущо експлоатирани технологични решения за спътникови комуникационни системи. Направени са оценки по набор от критерии като мощност на излъчване, коефициент на ефективност на приемане, обем и скорост на пренесените данни при преминаване на спътник (satellite pass) и анализ на времезакъсненията по орбитална позиция. Този многокритериален избор графично е интерпретиран, което позволява да се направят оценки на проектираната антенна система и да се сравни със съществуващи решения. Направените измервания показват повишаване на изисквани параметри на антенната система, което благоприятства повишаването на функционалността на наземната част на системи за спътникови комуникации

Приноси на дисертационния труд

1. Направен е аналитичен обзор на спътниковите комуникации, чрез който е определена полезността на използване на нискоорбитни сателити и са определени технологичните функции, които трябва да изпълняват наземните станции.
2. Проектирана е наземна станция за спътникови комуникации за нискоорбитни сателити, която позволява да се поддържат информационни услуги чрез нискоорбитни сателити.

3. Разработена е антенна система за наземната станция, която позволява да се постигне по-висока скорост на комуникация, по-голямо усилване на сигнал за приемане и предаване, по-голяма обща функционалност.
4. Антенната част е оценена чрез експерименти, като са постигнати по-високи технологични параметри от съществуващ прототип и използването ѝ в реална система за спътникови комуникации.

Резултати от дисертационния труд са приложени при внедряване и разработването на проект за антенна система „OC-LEO 1“ в честотна лента S, предназначена за комуникация със спътникови платформи на ниска наземна орбита.

Бъдещи насоки за работа

Въз основа на проведените изследвания и проучвания при експлоатацията на антенна система OC-LEO-1 със сателити в орбита, както и приложения подход за оценка на качеството и ефективността на системата, е необходимо да продължи усъвършенстването на технологиите и елементите, за да се осигури възможност за обработка на нарастващите обеми от информация и данни в мрежите. Подобни платформи ще се развиват в следните насоки:

- Възможност на антените да оперират и извършват комуникация едновременно в няколко различни орбити – така наречените “multi-orbit” продукти
- Наземното оборудване и хардуер ще се адаптира към работа с няколко орбити, което изисква допълнителни научни и технологични разработки и подобрения. Повечето продукти към момента

осигуряват възможност за работа само с една орбита, което е доста ограничително и изисква допълнителни инвестиции в няколко антенни системи и допълнителен хардуер, който да осигури подобна комуникация.

- Спътниковите системи предлагат софтуерно дефинирани функции, които осигуряват динамични спътникови лъчи. Технологиата позволява репрограмизиране и промяна на спътниковите лъчи с цел осигуряване на трафик. Това изисква и развитие и усъвършенстване на наземното оборудване, което да позволи лесна и бърза интеграция и комуникация с тези сателити в орбита.
- Тенденциите са сателитите да извършват обработка на данните в космоса – модулация, демодулация на сигнала и маршрутизиране на данните в космоса, което осигурява по-висок капацитет.
- Използване на „Phased Array“ антени – те имат динамични лъчи и могат да адаптират покритието си, за да насочат допълнителен капацитет към зони с голям трафик. Наземният хардуер трябва да се адаптира към тези иновации.
- Оптична връзка между сателитите – данните се предават от един спътник към друг, като се намалява нуждата от комуникация с наземната инфраструктура. По този начин ще се облекчи и трафика, който се обработва от наземните антенни системи, което ще повиши бързината и обемите на предаване на данни.
- Ще се използват все повече хибридни орбити – спътниците са разположение в различни орбити, за да осигурят глобално покритие и да обезпечат необходимите капацитети.
- Внедряване на така наречените „High-throughput“ сателитни системи. Този метод концентрира спътниковите лъчи към земята, като осигурява по-силен сигнал и респективно по-висока скорост за пренос на данни.

- Създаване на нормативна уредба и законодателство относно справянето с космическия боклук. Част от сателитите, които са на геостационарна орбита остават като обекти в орбита, след като им свърши горивото и преустановят предоставянето на услуги. Бизнесът и държавните организации ще търсят решения за намаляване на негативните ефекти от космическия боклук.

В заключение, спътниковите комуникации са съществена част от глобалната телекомуникационна мрежа, като те осигуряват надеждни гласови услуги и пренос на данни за различни индустрии. Те са от съществено значение при бедствия и аварии, навигационни услуги и GPS позициониране, наблюдение на земята, телевизионно и радио излъчване, военни и отбранителни мисии, научни изследвания, развитие на 4G/5G мрежи и като цяло свободен Интернет достъп. Тяхното развитие, усъвършенстване и по-широко приложение допринася за по-бързи скорости за пренос на данни и съответно навлизането на иновативни приложения, софтуерни приложения и IoT технологии, които допринасят и за повишаване на икономическата активност, както и качеството на живот в различни аспекти. Този сектор ще продължи да бъде основен катализатор за разгръщането на глобалните телекомуникационни мрежи, както и очакванията са за разширение на производството на нови спътникови системи, субсистеми и компоненти, както и развитие на иновативни продукти, които са част от наземната инфраструктура.

ПУБЛИКАЦИИ НА ДОКТОРАНТА ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. D. Karastoyanov, K. Terziev and E. Blagoeva, "Use of Satellites for Observation of Objects in Agriculture," 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), Maldives, Maldives, 2022, pp 1-5, DOI: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988626, ISBN 166547095-7, Code 185686
2. Терзиев К., Карастоянов Д., СЪВРЕМЕННИ САТЕЛИТНИ КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ. XXIX Международна научно-техническа конференция – АДП 2020, бр. 2, Publishing house of TUSofia Publisher, Department "Automation of Discrete Production Engineering", 2020, ISSN:2682-9584, 149-154
3. Красимир Терзиев, Димитър Карастоянов, СТРУКТУРА И ОРГАНИЗАЦИЯ НА СПЪТНИКОВА КОМУНИКАЦИОННА СИСТЕМА, XXX Международна научно-техническа конференция – АДП 2021, Издателство на ТУ София, брой 3, 2021, ISSN 2682-9584, 181-184
4. Красимир Терзиев, Димитър Карастоянов, ЛЕО СПЪТНИЦИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ В СЕЛСКОТО СТОПАНСТВО, XXXI Международна научно-техническа конференция – АДП 2022, Издателство на ТУ София, брой 4, 2022, ISSN 2682-9584, 210-214
5. Krasimir Terziev, Dimitar Karastoyanov. The Impact of Innovation in the Satellite Industry on the Telecommunications Services Market., Problems of engineering cybernetics and robotics, print ISSN: 2738-7356, ONLINE ISSN: 2738-7364, 2020, Vol. 73, pp 30-38
6. К. Терзиев., Иновативни методи за повишаването на ефективността на съвременните сателитни комуникационни системи., ROBOTICS, AUTOMATION AND MECHATRONICS' 21 RAM 2021, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2021, ISSN:1314-4634, 108-111
7. К. Терзиев., Комерсиални спътникови телекомуникационни системи. ROBOTICS, AUTOMATION AND MECHATRONICS' 20 RAM 2020, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2020, ISSN:1314-4634, 30-33

Декларация за оригиналност на резултатите

Декларирам, че настоящата дисертация съдържа оригинални резултати, получени при проведени от мен научни изследвания, с подкрепата и съдействието на научния ми ръководител. Резултатите, които са получени, описани и/или публикувани от други учени, са надлежно и подробно цитирани в библиографията.

Настоящата дисертация не е прилагана за придобиване на научна степен в друго висше училище, университет или научен институт.

Красимир Терзиев /подпис/

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Стефан Желев, Спътникови комуникации, Университетско издание „Епископ Константин Преславски“, Шумен 2012
2. Heavens fill with Commerce, A brief history of satellite communications satellite industry, Virgil S. Labrador and Peter I. Galace, SAT NEWS Publishers
3. The satellite technology guide for the 21st century, Virgil S. Labrador with chapter contributions from John M. Puetz, DC Palter and Daniel B.Freyer, SYNTHESIS PUBLICATIONS LLC
4. Спътникови комуникации, Марио Гачев, Херон Прес София
5. Комуникации на море и световна морска система за бедствия и безопасност, Чавдар Александров и Соня Тончева, Издателска къща „СТЕНО“, Варна 2019г.
6. Global VSAT Training: <https://gvftraining.org/>
7. Eutelsat official web site: <https://www.eutelsat.com/en/home.html>
8. VIVACOM / Satellite services web site:
<https://www.vivacom.bg/bg/business/uslugi-za-dostavchici/satelitni-uslugi>
9. International Communications Union:
<https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>
10. Ahrens, Astra: Fernsehen ohne Grenzen, Dusseldorf ECON Verlag 1993
11. Binkowski, Edward S. – Satellite Information Systems. Boston: G.K. Hall, 1988
12. Bleazard G.B. Introducing Satellite Communications, New York: Halted Press 1985
13. Blonstein Larry. Communications Satellites: Technology of Space Communications. New York: J. Wiley, 1987
14. Burrows William, E. This New Ocean: The story of the first space age. New York: The modern Library, 1999.
15. Intelsat: www.intelsat.com
16. Maritime and Coastguard Agency, GMDSS CSOC Handbook, MCA 2007
17. Furuno Operators manual NBDP Terminal DP – 6
18. Waugh I., The Marine Radio and Satellite Communications Manual, Waterline Books 1994
19. Elbert Bruce R, Introduction to Satellite Communication (Artech House Space Applications)
20. Satellite Communications Applications Handbook, 2nd edition, Boston Artech House, 1999
21. Maral, Gerard and Bousquet, Michel. Satellite Communications Systems, 4th edition, New York; John Wiley and Sons, 2004.

22. Palter, DC. Satellites and Internet: Challenges and Solutions. Sonoma, Calif: Satnews Publishers, 2003
23. Pritchard, Wilbur, Suyderhood, Henri and Nelson, Robert A. Satellite Communication Systems Engineering. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall 1993
24. Gavaghan, Helen. Something New Under the Sun: Satellites and the Beginning of the Space Age. New York Springer Verlag, 1998
25. Whalen David J, The Origins of Satellite Communications 1945-1965. Washington D.C.: Smithsonian Institution Press, 2002.
26. Satellite Basics for Everyone: An Illustrated Guide to Satellites for Non-Technical and Technical People by C. Robert Welti | Jun 4, 2012
27. Satellites - Acting Edition by Diana Son | Sep 30, 2008
28. Communication Satellites by D. Martin, P. Anderson, et al. | Mar 16, 2007
29. High-throughput Satellites by Hector Fenech | Mar 31, 2021
30. From Sails to Satellites: The Origin and Development of Navigational Science by J. E. D. Williams | Mar 4, 1993
31. Hyperspectral Satellites and System Design by Shen-En Qian | Apr 15, 2020
32. The Science of Spacecraft: The Cosmic Truth About Rockets, Satellites, and Probes (The Science of Engineering) by Alex Woolf, Ed Myer, et al. | Feb 1, 2019
33. Amsats and Hamsats: Amateur Radio and other Small Satellites by Andrew D Barron | Mar 4, 2018
34. The RAE table of earth satellites, 1957-1986 Jan 1, 1987
35. Satellites, rockets, and outer space by Willy Ley | Jan 1, 1958
36. Spacecraft: 100 Iconic Rockets, Shuttles, and Satellites That Put Us in Space by Michael H. Gorn and Giuseppe de Chiara | Sep 11, 2018
37. Innovations in Satellite Communications and Satellite Technology: The Industry Implications of DVB-S2X, High Throughput Satellites, Ultra HD, M2M, and IP by Daniel Minoli | Feb 27, 2015
38. Spectacular Earth: Amazing Pictures of Earth from USGS Satellites by Brian Joseph Wangenheim | Jan 19, 2020
39. How Do Satellites Work? (Tell Me How It Works) by Daniel R Faust | Aug 15, 2020
40. Principles of Communications Satellites by Gary D. Gordon and Walter L. Morgan | Aug 5, 1993
41. All About Satellites by S. K. Das | Feb 1, 2016
42. Earth View: Extraordinary Images of Our Planet from the Landsat NASA/USGS Satellites by Carlton Books | Jun 14, 2018
43. Satellites: Orbits and Missions by Michel Capderou and S. Lyle | Mar 17, 2005
44. Small Satellites: Past, Present, and Future by H. Helvajian and S. Janson | Aug 15, 2009

45. Commercial Space Technologies and Applications: Communication, Remote Sensing, GPS, and Meteorological Satellites, Second Edition by Mohammad Razani | Sep 3, 2018
46. WHAT IS A SATELLITE? How Satellites Work And What Are Satellites Used For: History of Satellite, The review of satellites system engineering& the major function, What orbit is for satellites movements? by Ehsan Azarang | Mar 15, 2017
47. A Brief History of Space Travel: From satellites to Mars by Patrick Poer | Mar 6, 2021
48. Design of Solar Array Systems for Satellites by Kareem Morsy | Aug 13, 2019
49. Newton's Telecom Dictionary: Telecommunications, Networking, Information Technologies, The Internet, Wired, Wireless, Satellites and Fiber by Harry Newton | Feb 1, 2013
50. Newton's Telecom Dictionary: covering Telecommunications, The Internet, The Cloud, Cellular, The Internet of Things, Security, Wireless, Satellites, ... Voice, Data, Images, Apps and Video by Harry Newton and Steven Schoen | Dec 7, 2014
51. Spacecraft Systems Engineering Part of: Aerospace (48 Books) | by Peter Fortescue, Graham Swinerd, et al. | Sep 19, 2011
52. Innovative Design, Manufacturing and Testing of Small Satellites (Springer Praxis Books) by Scott Madry, Peter Martinez, et al. | May 13, 2018
53. Artificial Satellites (Pogo: Space Explorers) by Jenny Fretland VanVoorst | Aug 1, 2016
54. Orbital Connect Satellite Services Provider: www.orbitalconnect.com; <https://store.orbitalconnect.com>
55. Commercial Observation Satellites: At the Leading Edge of Global Transparency by John Baker | Apr 23, 2001
56. The World Market for Spacecraft, Satellites, and Spacecraft Launch Vehicles: A 2022 Global Trade Perspective by Prof Philip M. Parker Ph.D. | May 31, 2021
57. Intellian Technologies: <https://www.intelliantech.com/home/>
58. Global Skyware: <https://globalinvacom.com/>
59. Norsat International: www.norsat.com
60. Terrasat: www.terrasat.com
61. Satellite Communications by Timothy Pratt and Jeremy E. Allnutt | Dec 16, 2019
62. An Introduction to Mission Design for Geostationary Satellites (Space Technology Library, 1) by J.J. Pocha | May 31, 1987
63. Satellite Communications Payload and System, Second Edition (Wiley - IEEE) by Teresa M. Braun | Sep 8, 2021
64. Artificial Satellites of the Earth; by V. Petrov | Jan 1, 1960

65. Communications Satellites: Global Change Agents (LEA Telecommunications Series) Part of: LEA Telecommunications Series (18 Books) | by Joseph N. Pelton, Robert J. Oslund, et al. | Sep 22, 2004
66. Measurement and statistical modeling of BRDF of various samples – Zhang Hanlu, ugh Zhen Sen-Wu, Cao Yunhua, Zhang Geng.
67. Pattern synthesis for multi-feed reflector antenna using IWO algorithms.
68. An S-Band-Receiving Phased-Array Antenna with a Phase-Deviation-Minimized Calibration Method for LEO Satellite Ground Station Applications – Dong Hyo Lee, Jung-Won Seo, Myeong-Shin Lee, Daewon Chung, Dongkook Lee, Jae-Hoon Bang, Bagas Satriyomoto, Seongmin Pyo
69. Direct Root-Mean-Square Error for Surface Accuracy Evaluation of large deployable antennas - Sichen Yuan, Bingen Yang, Houfei Fang
70. Effects of Surface Errors of Antennas on Detection Performance of Space VLBI – Yangguang Zhang, Huijie Liu, Xingfu Liu.
71. Vogel E., Radio and Electronics, Crystal, Lehr und Lernmittel Informationen Beratung, Berlin, Germany
72. Tsanev Ts., Gr. Grozev, Ch. Alexandrov, GMDSS Guidelines with questions and answers, Level GOC, Largo City, Varna
73. Transas MIP Ltd., GMDSS Tutor TGS 5000, General Description 2013
74. Tetley L., D. Calcutt, Understanding GMDSS, Edward Arnold, 1994
75. Smith P.C., J. Seaton, GMDSS for Navigators, Routledge 1994
76. Radio Regulations, ITU – R Recommendations, Ed. 2016
77. Prikop Kodruta, GMDSS, Constanta Maritime University, 2013
78. Nautis GMDSS Simluator Trainee Station Quick Guide, Rev.3, May 2015, VSTEP B.W, 2015
79. Nautis GMDSS Instructor Station Installation and User's manual, VSTEP B.W., 2015
80. Lees G. D., W. G. Williamson, Handbook for Marine Radio Communications
81. Michael O. Kolawole, Satellite communication engineering, Marcel Dekker, 2002
82. Madhu Sudan, Sanjeev Khanna, Delays and the Capacity of Continuous-Time Channels, Proceedings of the 52nd Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, Palm Springs, California, October 23-25, 2011
83. Mohamed Khedr, Lecture: Satellite Communication Systems
84. Nyquist H. Certain Topic on Telegraph Transmission Theory. Trans. AIEE, vol.47
85. Pickholtz R. L., Schilling D.L., Milstein L. B., Theory of Spread Spectrum Communications: A. Tutorial. IEEE Transaction on Communications, vol. com-32, No.2, February 1984

86. Rappaport T. S., Wireless Communications, Chapter 3 and 4, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996
87. Robertson P., Worz T., Coded Modulation Scheme Employing Turbo Codes. Electronics letters, vol.31, pp. 1546-1547, August 1995
88. Robertson P., Worz T., Bandwidth Efficient Turbo Trellis-Coded Modulation Using Punctured Component Codes, IEEE Sel Areas in comm, vol.16, n. 2, pp 206-218, February 1998
89. Silver J. P., Satellite Communications Tutorial.
90. Viterbi A.J., Convolutional codes and their performance in communication systems, IEEE Trans, Commun., vol 10, pp. 751-772, 1971
91. Viterbi A. J., A Pragmatic Approach to Trellis-Coded Modulation, IEEE Communication magazine, vol. 27, n. 7, July 1998
92. Viterbi A.J., Principles of Coherent Communications, McGraw Hill Book Company, New York 1996
93. Van Trees, H. L., Detection of Estimation and Modulation Theory, Part 1, John Wiley and Sons, New York, 1968
94. Zhili Sun, Satellite networking principles and protocols, John Wiley and Sons, 2005
95. Underboeck G., Channel Coding with Multilevel/Phase Signals, IEEE Trans, Inform. Theory, vol. IT-28 January 1982
96. Lindsey W. C., Simon M. K., Telecommunications Systems Engineering, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New York 1973
97. Korn I., Digital Communications. Van Nostrand Reinhold Company, New York 1985
98. Lathi B. P., Modern digital and analog communications systems, Third Edition, Oxford University Press, 1998
99. Koo, I., et. Al, Sensitivity Analysis for Capacity Increase on the DS-CDMA System, Proc. Of JCCI, 1997
100. Kiseon Kim, Insoo Koo, CDMA Systems Capacity Engineering. Artech House INC., 2005.