

Ім'я користувача:
приховано налаштуваннями конфіденційності

ID перевірки:
1015521896

Дата перевірки:
09.06.2023 10:27:05 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Library

Дата звіту:
09.06.2023 11:15:44 EEST

ID користувача:
100011372

Назва документа: Дропа М.І. гр ТК-41

Кількість сторінок: 38 Кількість слів: 8398 Кількість символів: 59065 Розмір файлу: 379.08 KB ID файлу: 1015176013

22.8% Схожість

Найбільша схожість: 9.09% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1008380452)

Пошук збігів з Інтернетом не проводився

22.8% Джерела з Бібліотеки 47

Сторінка 40

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 195

1 СТАНДАРТ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ GSM

1.1 Історія розвитку стільникових систем зв'язку

Появі мереж стільникового зв'язку з рухомими (мобільними) об'єктами передував довгий період еволюційного розвитку радіотелефонної системи зв'язку, у плинні якого освоювалися різноманітні частотні діапазони й удосконалювалась техніка зв'язку. Ідея стільникового зв'язку була запропонована у відповідь на необхідність розвитку широкої мережі рухомого зв'язку в умовах обмежень на доступні смуги частот.

В середині 40-х років XX століття дослідницький центр Bell Labs американської компанії AT&T запропонував ідею розбиття території, що обслуговується, на невеликі ділянки, які стали називатися чарунками, а система зв'язку – стільниковою (cell – комірка, стільник). Кожна чарунка повинна була обслуговуватися передавачем з обмеженим радіусом дії та фіксованою частотою. Це дозволило б без взаємних завад використовувати ту ж саму частоту повторно в іншій чарунці. Але минуло близько 30 років, перш ніж такий принцип організації зв'язку був реалізований на апаратно- му рівні.

У 70-х роках почалися роботи по створенню єдиного стандарту стільникового зв'язку для п'яти північноєвропейських країн – Швеції, Фінляндії, Ісландії, Данії та Норвегії, який одержав назву NMT-450 (Nordic Mobile Telephone) та призначався для роботи у діапазоні 450 МГц. Експлуатація перших систем стільникового зв'язку цього стандарту почалась у 1981 р. Мережі на основі стандарту NMT-450 та його модифікованих версій стали широко використовуватися в Австрії, Голландії, Бельгії, Швейцарії, а також в країнах Південно-Східної Азії та Близького Сходу. На базі цього стандарту в 1985 р. був розроблений стандарт NMT-900 діапазону 900 МГц, який дозволив розширити функціональні можливості та значно збільшити абонентську ємність системи.

У 1983 р. в США стала експлуатуватися мережа стандарту AMPS (Advanced Mobile Phone Service). Цей стандарт був розроблений у дослідницькому центрі Bell Laboratories.

У 1985 р. у Великобританії був прийнятий як національний стандарт TACS (Total Access Communications System), розроблений на основі американського стандарту AMPS. У 1987 р. була розширена його робоча смуга частот. Нова версія цього стандарту отримала назву ETACS (Enhanced TACS). У Франції в 1985 р. був прийнятий стандарт Radiocom-2000.

Наприкінці 80-х років усі провідні виробники обладнання стільникового зв'язку почали створювати системи стільникового зв'язку, основані на цифрових методах обробки сигналів. З метою розробки єдиного європейського стандарту цифрового стільникового зв'язку у виділеному для цих цілей діапазоні 900 МГц у 1982 р. Європейська Конференція Адміністрацій Пошт та Електрозв'язку створила спеціальну групу Groupe Special Mobile. Аббревіатура GSM дала назву новому стандарту (пізніше GSM стали розшифровувати як Global System for Mobile Communications). Результатом роботи цієї групи були опубліковані у 1990р. вимоги до систем стільникового зв'язку стандарту GSM.

У США в 1990 р. американська Промислова Асоціація в галузі зв'язку ТІА (Telecommunications Industry Association) затвердила національний стандарт IS-54 цифрового стільникового зв'язку. Цей стандарт більш відомий під аббревіатурою D-AMPS або ADC. На відміну від Європи, у США не були виділені нові частотні діапазони, тому система повинна була працювати в смузі частот, спільній зі звичайним AMPS. У той самий час американська компанія Qualcomm почала розробку нового стандарту стільникового зв'язку, заснованого на технології шумоподібних сигналів та кодовому поділі каналів – CDMA (Code Division Multiple Access).

У 1991 р. в Європі з'явився стандарт DCS-1800 (Digital Cellular System 1800 МГц), створений на базі стандарту GSM.

В Японії був розроблений власний стандарт стільникового зв'язку JDC (Japanese Digital Cellular), близький за своїми показниками до стандарту D-

AMPS. Стандарт JDC був затверджений у 1991 р. Міністерством Пошт та Зв'язку Японії.

У 1993 р. у США Промислова Асоціація в галузі зв'язку ТІА прийняла стандарт CDMA як внутрішній стандарт цифрового стільникового зв'язку, що одержав назву IS-95. У вересні 1995 р. у Гонконгу була відкрита комерційна експлуатація першої мережі стандарту IS-95.

У 1993 р. у Великобританії вступила в експлуатацію перша мережа DCS-1800 One-2-One.

У вересні 1995 року у Гонконгу **Hutchison** створив першу у світі комерційну мережу CDMA, використовуючи базове обладнання компанії Motorola і мобільні телефони Qualcomm. Сьогодні ця мережа, що складається усього зі 113 чарунок і працює тільки на одному каналі зі смугою в 1,23 МГц, обслуговує понад 40 000 абонентів. Причому чарунки CDMA були накладені на існуючу мережу AMPS. Система зв'язку стандарту CDMA працює набагато надійніше, ніж її попередниця, незважаючи на значно більший трафік у мережі. Через гористий ландшафт, оточення водою, безліч тунелів і жорстку конкуренцію між сьома провайдерів, Гонконг розглядається як надзвичайно проблемний ринок. За словами Генрі Вонга, головного інженера компанії **Hutchison**, "CDMA вимагає кількість чарунок на тридцять, сорок відсотків менше, ніж **GSM**, щоб обслуговувати ту саму територію, включаючи усі низовини і височини Гонконгу, десять станцій метро, тунелі навколо міста і Коулунський півострів".

У Кореї працювати у стандарті CDMA почали дві компанії. Перша, **Korea Mobile Telecom (KMT)**, почала функціонувати наприкінці другого тисячоліття. Так само, як **Hutchison** у Гонконгу, KMT наклала CDMA (використовуючи базове обладнання Goldstar) на вже існуючу аналогову мережу. Розраховуючи на приплив клієнтів, що збільшується, KMT продовжує розширювати свою мережу, яка охоплює 95 відсотків абонентів мереж зв'язку з рухомими об'єктами Кореї.

У той самий час **Shinsengi Telecom** також почала створювати мережу на основі CDMA, використовуючи базове обладнання Samsung і телефони декількох

компаній, таких як Sony і **Qualcomm**, орієнтовану, в основному, на провінції країни.

Разом ці дві компанії обслуговують вже понад 200 000 клієнтів і щодня реєструють понад 2 000 нових.

CDMA зайняла у Північній Америці найбільшому ринку послуг мобільного зв'язку, майже 90 відсотків мереж.

В Україні за підсумками першого кварталу 2003 р. послугами мобільного зв'язку користувалось близько 3,9 млн. абонентів, що на 55% перевищило рівень аналогічного періоду попереднього року.

На початок 2004 року мобільним зв'язком в Україні користувалися більш ніж 5 млн. чоловік (10% населення країни). За словами генерального директора оператора мобільного зв'язку СП "Український мобільний зв'язок" (УМС) Еріка Франке, за 2003 рік приріст був такий же, як і в 2002 році, – близько 1,4 млн. абонентів. Протягом двох останніх років кількість користувачів мобільним зв'язком щорічно зростає приблизно на 1,4 млн. чоловік: у 2001 році спостерігалось зростання в 2,6 рази – до 2,25 млн. абонентів, у 2002-му – на 65% - до 3,63 млн.

Таке різке розширення мереж, зрозуміло, приносить операторам чи- мало технічних проблем. Черги в пунктах підключення, сигнали „зайнято” на лініях сервісу, скарги на якість зв'язку, а також „падіння” мережі стали для швидко зростаючих операторів нерідким явищем. В умовах обмеженої кількості каналів на частотах 900 МГц, два національних оператора мобільного зв'язку змушені були в останні роки освоювати нові частоти в діапазоні 1800 МГц та залучати додаткові інвестиції. Подібна ситуація буде спостерігатися і в майбутньому. Наприклад, „Київстар” у 2002 році освоїв \$120 – 180 млн., що складає більш ніж половину всіх інвестицій компанії за попередні роки.

У грудні 2002 року доходи операторів України від мобільного стільникового зв'язку збільшилися на 7,9% порівняно з листопадом і досягли 267,028 млн. грн. Про це говориться в повідомленні Державного комітету статистики.

Слід зазначити, що забезпечення стаціонарними телефонами в Україні на одну людину становить 21/100, на родину – 54/100 (у розвинених країнах відповідно 55 – 70/100 та 90 – 100/100), а середній час очікувань установки телефону – 5,1 року. Це, звичайно не найкращий стан справ. Проте саме цей факт багато в чому визначає успіх і бурхливий розвиток стільникового зв'язку. Так, у 2000 році було продано близько 500 тис. стільникових телефонів (за попередні три роки в цілому – всього близько 360 тис.) І сьогодні багато фахівців вважають, що попереду величезні можливості для зростання як кількості користувачів послугами зв'язку, так і підвищення якості останніх, оскільки загострюється конкурентна боротьба між операторами, що безпосередньо надають послуги зв'язку, а також між ділерами, які продають споживачам стільникові термінали (телефони).

1.2 Технічні параметри системи зв'язку стандарту GSM

Відповідно до рекомендації CEPT 1980 р., яка стосується використання спектра частот для потреб рухомого зв'язку в діапазоні частот 862 - 960 МГц, стандарт GSM передбачає роботу передавачів у двох діапазонах частот: 890-915 МГц (рухомих станцій), 935-960 МГц (базових станцій).

У стандарті GSM використовується вузькосмуговий багатостанційний доступ з часовим поділом каналів (NB TDMA). У структурі TDMA кадру міститься вісім часових позицій на кожній зі 124 носійних частот.

Для боротьби з інтерференційними завмираннями прийнятих сигналів, що викликано багатопроменевим поширенням радіохвиль в умовах міста, в апаратурі зв'язку використовуються еквалайзери, які забезпечують вирівнювання імпульсних сигналів з середньоквадратичним відхиленням часу затримки до 16 мкс.

Система синхронізації розрахована на компенсацію затримки сигналів до 233 мкс, що відповідає максимальній дальності зв'язку або максимальному радіусу чарунки 35 км.

Для захисту від помилок в радіоканалах при передаванні повідомлень застосовується блокове та згорткове кодування з перемеженням. Підвищення ефективності кодування та перемеження за малої швидкості переміщення рухомих станцій досягається повільним переключенням робочих частот (SFH) упродовж сеансу зв'язку зі швидкістю 217 стрибків за се-кунду.

Типову схему стільникової мережі рухомого зв'язку (СМРЗ) стандарту GSM-900 зображено на (рис. 1.1), на якій MSC (Mobile Switching Center) – центр комутації стільникової мережі (ЦКМ), BTS (Base Transceiver Center) – базові станції (БС), BSC (Base Station Controller) – контролери базових станцій (КБС), OMC (Operation and Maintenance Center) – центр управління та експлуатації, а також служби обміну мовними повідомленнями VMS (Voice Messaging Center) та коротких (циркулярних та індивідуальних) повідомлень SMS (Short Messaging Service). Функції MSC та OMC здійснюють цифрові системи комутації 5ESS та EWSD за умови їх апаратного та програмного дообладнання. Зокрема, кожен MSC, повинен мати реєстр візитних абонентів (VLR – Visitor Location Register), а також власний чи спільний для кількох MSC центр автентифікації рухомих абонентів (AUC – AUthentication Center) і реєстр власних абонентів (HLR – Home Location Register) та ідентифікації обладнання рухомих станцій (EIR – Equipment Identity Register). Вказані реєстри і центр автентифікації являють собою спеціалізовані комп'ютерні бази даних.

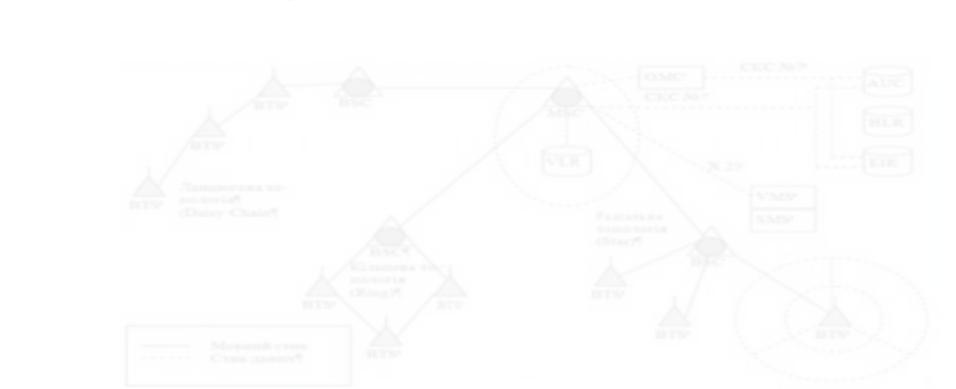


Рисунок 1.1 – Типова структура СМРЗ стандарту GSM-900

Регістр HLR містить дані для установлення вхідних з'єднань до "своїх" абонентів: статус кожного абонента (дозволені послуги тощо) і зону його поточного місцезнаходження (координати відповідного VLR). Регістр VLR зберігає інформацію про "своїх" та "чужих" рухомих абонентів, присутніх у зоні обслуговування даного MSC. Коли PC пересувається у зоні MSC, вона фіксується у VLR, який відповідно інформує HLR про цю PC, звідти PC отримує статус абонента та його автентифікаційні дані: міжнародний номер (IMSI – International Mobile Station Identity) та персональний код (PIN – Personal Identification Number). Останній генерує і надає HLR відповідний AUC. Регістр EIR зберігає детальну інформацію для ідентифікування кожної PC та перевірки відповідності її параметрів номіналам. Завдяки EIR дефектне або не ідентифіковане обладнання не допускається до обслуговування. Зазначимо, що центр комутації MSC є "шлюзом" між СМРЗ та іншими мережами, наприклад, ТфМСК, мережами передачі даних тощо.

Функціональне спраження елементів системи здійснюється низкою інтерфейсів. Усі мережні функціональні компоненти в стандарті GSM взаємодіють відповідно до системи сигналізації MCE-T (раніше МККТТ) SS N 7 (CCITT SS. N 7).

Особливістю мережі стандарту GSM є об'єднання BTS у систему базових станцій (BSS – Base Station System), де ці BTS з'єднуються з контролером BSC із використанням радіальної, кільцевої чи деревовидної топології. Окрема BTS обслуговує від 1 до 6 чарунок за рахунок секторних антен та накладання чарунок різного діаметра (на рис. 1.1 зона обслуговування виділена лише для однієї з базових станцій), та здійснює контроль за спрощеною комутаційною станцією, яка забезпечує взаємні з'єднання сусідніх PC та установлення інших з'єднань через MSC. Взаємодіють BSC, MSC та PC між собою за допомогою спільних каналів сигналізації SS №7. У напрямках до ТфМСК можливі практично всі прийняті останні методи та системи сигналізації.

Служба VMS надає PC послуги електронної мовної поштової скриньки. У ситуаціях, коли неможливо отримати зв'язок з потрібною PC, можна занести до її

"скриньки" мовне повідомлення, при цьому передбачена індикація на радіотелефоні наявності повідомлення та проста процедура його прослуховування.

Служба SMS дозволяє адміністрації та самим РС передавати окремим РС або одночасно всім РС у межах чарунки короткі літерно-цифрові повідомлення, що висвічуються на міні дисплеї РС та надають РС додаткову інформацію.

Більшість провідних фірм-розробників комутаційної техніки пристосували свої цифрові системи комутації до вимог стандарту GSM-900, що дозволяє утворювати мережу (рис. 1.1) на базі відповідних ЦСК (EWSD, 1000E10, 5ESS тощо).

Конкретні центри комутації (ЦК) стандарту GSM-900 (D-900 на базі **EWSD**, Alcatel-900 на базі 1000E10, INTELLOVERCE Wireless System на базі 5ESS) дуже подібні і цілком сумісні.

Розглянемо детальніше технічні характеристики цифрових стільникових систем мобільного зв'язку на прикладі стандарту GSM та близького до нього DCS-1800. На (рис.1.2) показана послідовність обробки мовного сигналу у РС. Перетворення мови здійснює мовний кодер вокодерного типу із регулярним імпульсним збудженням та довгостроковим завбаченням. Швидкість перетворення становить 13 кбіт/с, що відповідає розташуванню 260 бітів на часовому сегменті 20 мс. Канальний кодер підвищує завадостійкість внесенням надлишковості та збільшенням швидкості передавання. Перед кодуванням блок із 260 бітів поділяється на дві групи: 182 більш значущих бітів відносяться до першого класу й подаються на згортковий кодер з коефіцієнтом 1/2, а 78 бітів, що залишились (клас 2), передаються без кодового захисту. У цілому це дає 456 бітів на сегменті 20 мс, тобто сукупну швидкість 22,8 кбіт/с. Далі цифрову послідовність обробляє перемежувач, завдяки чому для приймача БС кожний пакет помилок перетворюється у відповідну кількість окремих помилок. Після перемежувача формується інформаційний кадр (так званий TDMA-кадр), імпульсна послідовність надходить на передмодуляційний гауссівський фільтр і потім на частотний модулятор передавача РС.

Передавачі РС випромінюють у діапазоні 890...915 МГц, а передавачі БС – 935...960 МГц. У кожній з цих двох смуг по 25 МГц виділено по 124 носійних частоти, що утворює 124 дуплексних канали зі смугою 200 кГц кожний та рознесенням частот у 45 МГц. Окремій чарунці мережі надається від 1 до 15 таких дуплексних частотних каналів. У структурі TDMA кадру на кожній носійній частоті утворюється 8 часових позицій (вікон). Певний фізичний канал використовує однойменне часове вікно у послідовності TDMA-кадрів. Таким чином, загальна кількість фізичних каналів становить $124 \times 8 = 992$. Передавані повідомлення та дані, перетворені у цифрову форму, ще до формування фізичних каналів групуються та об'єднуються у так звані логічні канали. У стандарті GSM існує 11 типів логічних каналів: два канали навантаження TCH (Traffic Channel) для кодованої мови та даних і дев'ять каналів керування CCH (Control Channel) для керування та сигналізації. У фізичному каналі може міститись декілька логічних.



Рисунок 1.2 – Послідовність обробки мовного сигналу

1.3 Основи побудови мережі стільникового зв'язку

Стільникові системи радіозв'язку мають структуру, засновану на стільниковій побудові і розподілі частот, відповідно до якої зона обслуговування поділяється на велику кількість невеликих осередків («чарунок») радіусом 1,5-5 км, кожен з яких обслуговується окремою базовою радіостанцією невеликої

потужності, що знаходиться в центрі чарунки. Це дозволяє реалізувати основну перевагу стільникової системи – забезпечення високоякісним зв'язком значної кількості абонентів в умовах обмеженої кількості частотних каналів. Сукупність чарунок утворює зону обслуговування. У центрі зони розміщена центральна станція, яка з'єднана провідними, оптоволоконними чи радіорелейними лініями з телефонною мережею загального користування і з усіма базовими станціями, що знаходяться в зоні обслуговування. Абоненти за допомогою своїх абонентських систем можуть здійснювати зв'язок між собою і через центральну станцію виходити на будь-якого абонента телефонної мережі загального користування.

Стільникові системи характеризуються високою ефективністю використання радіочастотного спектра, вони є основним засобом забезпечення телефонного зв'язку, передачі даних і документального обміну в районах нової забудови, забезпечення зв'язком абонентів у важкодоступних районах та зв'язку з рухомими абонентами.

На відміну від зонових і транкінгових, стільникові мережі (cellular networks) дозволяють багаторазово використовувати радіоканали на територіально віддалених одна від однієї ділянках мережі. Приклад побудови такої мережі подано на (рис.1.3.). Вся обслуговувана територія поділяється на малі робочі зони умовно шестикутної форми, що називаються чарунками мережі (cells). Радіус чарунки R визначається залежно від очікуваної в ній щільності рухомих абонентів. Звичайно він становить 10...20 км за міс- том і в передмістях, 2...3 км – на більшості території міста та 0,5...2 км – у його центрі. У кожній чарунці встановлюється індивідуальна або спільна для кількох чарунок базова приймально-передавальна радіостанція (base transceiver station), яку звичайно називають просто базовою станцією (БС). Вона може знаходитись у центрі чарунки і мати антену з круговою діаграмою випромінювання, або встановлюватись на стику кількох чарунок і мати секторні антени (120° , як на (рис.1.3), або, наприклад, 60°) для кожної з них. Зазначимо, що у останньому випадку інколи чарункою називають сукупність зон обслуговування однієї БС, а окрему її зону називають сектором. У певній чарунці РС за допомогою БС мають

повний доступ до призначених цій чарунці N радіоканалів. БС, що використовують однаковий набір частотних каналів, розділяються захисним інтервалом D .

Щоб перекрити довільну територію, в принципі достатньо $K=7$ багаторазово використовуваних наборів радіоканалів (як на рис. 1.3, де їх номери обведені прямокутними рамками), але деякі стільникові радіотелефонні системи передбачають $K = 4, 9, 12$ або 21 . Група із K суміжних чарунок, в яких набори каналів не повторюються, називається кластером (cluster). На рис. 1.3 його виділено товщою лінією. Величина K називається розміром кластера, а також частотним параметром системи, оскільки визначає максимально можливу кількість каналів N (без врахування їх повторного використання) та загальну ширину частотної смуги F_c . З точки зору ефективності використання частотного спектра доцільно вибирати малі радіуси чарунок та розміри кластерів з урахуванням того, що захисний інтервал D в разі БС із ненаправленими антенами дорівнює $\sqrt{3} \cdot K \cdot R$. З іншого боку, зменшення параметра K обмежене вимогами до захисного інтервалу, а зменшення радіуса R призводить до збільшення частоти перетинання чарунок рухомими абонентами під час розмови, що може, у свою чергу, спричинити лавиноподібне зростання завантаженості керуючої системи мережі даними щодо перетинання РС меж чарунок. Тому в межах однієї системи можуть використовуватись чарунки та кластери різних розмірів, їх вибирають з урахуванням реальної електромагнітної обстановки та рельєфу місцевості. Часто застосовують накладені чарунки у такому разі мікро і навіть пікочарунки з радіусом $10...70$ м обслуговують закриті приміщення (аеропорти, вокзали, гаражі, магазини тощо), а також РС, що рухаються повільно, а чарунки великих радіусів, які охоплюють цю ж територію, приймають навантаження від РС, що рухаються швидко. Такі структури стільникової мережі інколи називають зонтовими. В перспективі так буде побудована і глобальна система рухомого зв'язку.

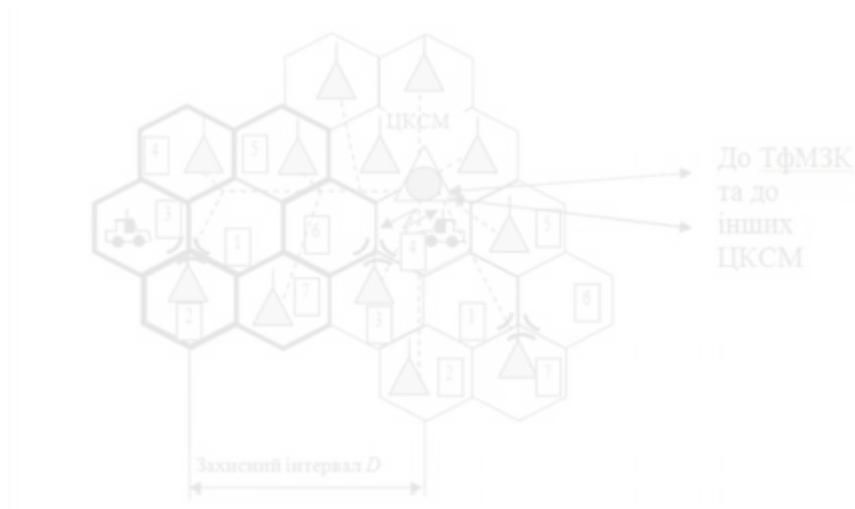


Рисунок 1.3 – Приклад побудови стільникової мережі рухомого зв'язку

У стільникових мережах часто має місце фіксований розподіл радіоканалів між БС, коли для кожної чарунки виділяється однакове їх число N_c . У такому разі важливо так розподілити канали, щоб по можливості зменшити міжканальну інтерференцію. Звичайно застосовують наступний принцип розподілу: j -й чарунці кластера призначають канали з номерами $j, j + K, j + 2K, \dots, j + N_c K$. Фіксоване закріплення каналів має недоліки, викликані нестационарністю поділу активних РС на території мережі, а саме ймовірність втрат викликів зростає у чарунках, де з різних причин РС стає більше. Тому інколи для кожної чарунки крім N_c фіксованих виділяють ще деяку кількість каналів, які динамічно розподіляються між БС залежно від виниклої потреби. Такий, так званий, динамічний розподіл радіоканалів між БС суттєво знижує ймовірність відмови у наданні радіоканалу РС, але вимагає наявності на БС додаткових, не весь час використовуваних прийомопередавачів.

Всі БС з'єднуються радіорелейними або кабельними лініями зв'язку з центром комутації стільникової мережі (ЦКСМ), який керує установленням і підтриманням сполучень РС між собою та з абонентами телефонної мережі

загального користування (ТфМЗК), зокрема забезпечує перемикання з'єднання на іншу БС під час руху РС. Комутація і керування мережею можуть бути:

– централізованими, тобто зосередженими на ЦКСМ, як це показано на (рис. 1.3);

– децентралізованими (ієрархічними) із установленням, наприклад, у кожному кластері спрощеної комутаційної станції, так званого контролера базових станцій (Base Station Controller), який обслуговує взаємні з'єднання РС у межах кластера та забезпечує вихід на ЦКСМ для всіх інших зв'язків;

– розподіленими, коли комутаційне і керівне обладнання установлюється безпосередньо на кожній БС.

Територію, що обслуговується одним ЦКСМ, як, наприклад, на (рис.1.3), називають зоною обслуговування ЦКСМ, а сукупність чарунок мережі, що мають спільну БС – зоною БС.

При проектуванні цифрових стільникових систем рухомого зв'язку стандарту GSM розглядаються інтерфейси трьох видів:

- 1) для з'єднання з зовнішніми мережами,
- 2) між різним обладнанням мереж GSM,
- 3) між мережею GSM і зовнішнім обладнанням.

Всі існуючі внутрішні інтерфейси мереж GSM цілком відповідають вимогам. Рекомендацій [ETSI/GSM 03.02](#).

1) Інтерфейси з зовнішніми мережами. З'єднання з ТфМЗК. З'єднання з телефонною мережею загального користування здійснюється MSC по лінії зв'язку зі швидкістю потоку 2 Мбіт/с відповідно до системи сигналізації SS № 7. Електричні характеристики 2 Мбіт/с інтерфейсу відповідають Рекомендаціям MCE-T G.732. З'єднання з [ISDN](#). Для з'єднання зі створюваними мережами [ISDN](#) передбачаються чотири лінії зв'язку зі швидкістю потоку 2 Мбіт/с, які підтримуються системою сигналізації SS № 7 і відповідають Рекомендаціям Блакитної книги MCE-T Q.701- Q.710, Q.711-Q.714, Q.716, Q.781, Q.782, Q.791, Q.795, Q.761-Q.764, Q.766.

З'єднання з існуючою мережею NMT-450. Центр комутації рухомого зв'язку з'єднується з мережею NMT-450 через чотири стандартні лінії зв'язку зі швидкістю потоку 2 Мбіт/с і системою сигналізації SS № 7. При цьому повинні забезпечуватися вимоги Рекомендацій MCE-T за підсистемою користувачів телефонною мережею (TUP – Telephone User Part) і підсистемою передачі повідомлень (MTP – Message Transfer Part) Жовтої книги. Електричні характеристики лінії зі швидкістю потоку 2 Мбіт/с відповідають Рекомендаціям MCE-T G.732.

З'єднання з міжнародними мережами GSM. Ці з'єднання здійснюються на основі протоколів системи сигналізації SCCP і міжмережної комутації рухомого зв'язку GMSC.

2) Внутрішні GSM – інтерфейси. Інтерфейс між MSC і BSS – А інтерфейс, забезпечує передачу повідомлень для керування BSS, передачі виклику, керування пересуванням. А-інтерфейс поєднує канали зв'язку і лінії сигналізації. Останні використовують протокол SS № 7 MCE-T. Повна специфікація А-інтерфейсу відповідає вимогам серії 08 Рекомендацій ETSI/GSM.

Інтерфейс між MSC і HLR з'єднаним з VLR – В інтерфейс. Коли MSC необхідно з'ясувати місце розташування рухомої станції, він звертається до VLR. Якщо рухома станція ініціює процедуру визначення місця з MSC, він інформує свій VLR, який заносить всю інформацію, що змінюється, у свої реєстри. Ця процедура відбувається завжди, коли MS переходить з однієї чарунки в іншу. У випадку, якщо абонент запитує спеціальні чи додаткові послуги або змінює деякі свої дані, MSC також інформує VLR, який реєструє зміни і за необхідності повідомляє про них HLR.

Інтерфейс між MSC і HLR – С-інтерфейс, використовується для забезпечення взаємодії між MSC і HLR. MSC може послати вказівку (повідомлення) HLR наприкінці сеансу зв'язку для того щоб абонент міг оплатити розмову. Коли мережа фіксованого телефонного зв'язку не здатна виконати процедуру устанавлення виклику рухомого абонента, MSC може запросити HLR про місце розташування абонента для того, щоб послати виклик PC.

Інтерфейс між HLR і VLR – D-інтерфейс, використовується для розширення обміну даними про положення рухомої станції, керування процесом зв'язку. Основні послуги, що надаються рухомому абоненту, полягають у можливості передавати чи приймати повідомлення незалежно від місця розташування. Для цього HLR повинен поповнювати свої дані. VLR повідомляє HLR про положення РС, керуючи нею і перепривласнюючи їй номери в процесі блукання, посилає всі необхідні дані для забезпечення обслуговування рухомої станції.

Інтерфейс між MSC – E-інтерфейс, забезпечує взаємодію між різними MSC при здійсненні процедури HANDOVER - "передачі" абонента з зони в зону при його русі в процесі сеансу зв'язку без його переривання.

Інтерфейс між BSC і BTS – A-bis інтерфейс, служить для зв'язку BSC з BTS і визначений Рекомендаціями ETSI/GSM для процесів установаження з'єднань і керування обладнанням. Передача здійснюється цифровими потоками зі швидкістю 2,048 Мбіт/с. Можливе використання фізичного інтерфейсу 64 кбіт/с.

Інтерфейс між BSC і OMC – O-інтерфейс, призначений для зв'язку BSC з OMC, використовується в мережах з пакетною комутацією.

Внутрішній BSC-інтерфейс контролера базової станції забезпечує зв'язок між різним обладнанням BSC і обладнанням транскодування (TC); він використовує стандарт ІКМ-передачі 2,048 Мбіт/с і дозволяє організувати з чотирьох каналів зі швидкістю 16 кбіт/с один канал на швидкості 64 кбіт/с.

Інтерфейс між MS і BTS – Um-радіоінтерфейс визначений у серіях 04 і 05 Рекомендацій ETSI/GSM.

Мережний інтерфейс між OMC і мережею – так званий керуючий інтерфейс між OMC і елементами мережі, визначений ETSI/GSM Рекомендаціями 12.01.

З'єднання мережі з OMC можуть забезпечуватися системою сигналізації MCE-T SS № 7 чи мережним протоколом X.25.

GSM-протокол керування мережею й обслуговуванням також повинний задовольняти вимогам Q.3-інтерфейсу, що визначений в ETSI/GSM Рекомендаціях 12.01.

3) Інтерфейси між мережею GSM і зовнішнім устаткування. Інтерфейс між MSC і сервіс-центром (SC) необхідний для реалізації служби коротких повідомлень. Він визначений у ETSI/GSM Рекомендаціях 03.40.

Інтерфейс до інших ОМС. Кожен центр керування й обслуговування мережі повинен мати можливість з'єднуватися з іншими ОМС, що керують мережами в інших регіонах чи іншими мережами. Ці з'єднання забезпечуються X – інтерфейсами відповідно до Рекомендацій МСЕ-Т М.30. Для взаємодії ОМС з мережами вищих рівнів використовується Q.3–інтерфейс/

1.4 Структура обладнання мереж стільникового зв'язку

Функціональна побудова та інтерфейси, прийняті у стандарті GSM, ілюструються структурною схемою на (рис.1.4.).

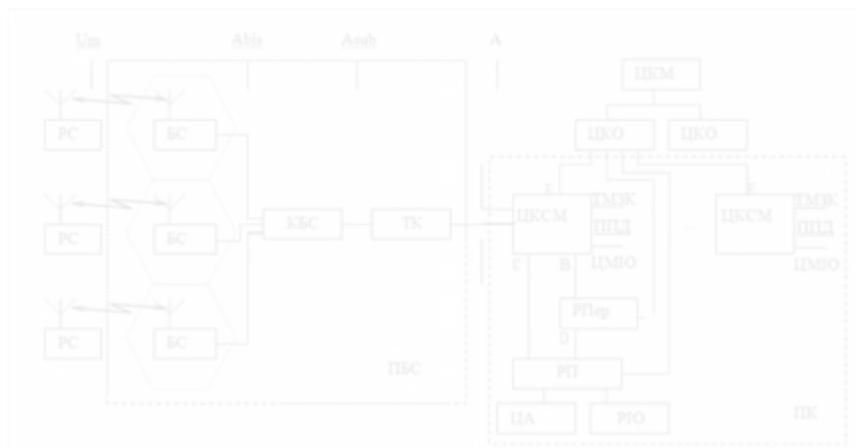


Рисунок 1.4 – Функціональна побудова мережі стандарту GSM900/1800

На (рис.1.4) прийняті такі позначення:

– БС – базова станція (BS); КБС – контролер БС (BSC); ЦКСМ – центр комутації стільникової мережі (MSC); ЦКО – центр керування та обслуговування (OMC); ЦКМ – центр керування мережею (NMC);

– ТМЗК – телефонна мережа загального користування (PSTN); ППД – мережа пакетної передачі даних (PDN);

– ЦМІО – цифрова мережа з інтеграцією обслуговування (ISDN); РПер – регістр переміщення (VLR); РП – регістр положення (HLR); ЦА – центр автентифікації (AUC);

– ТК – транскодер (TC); РС – рухома станція (MS); РІО – регістр ідентифікації обладнання (EIR); ПБС – підсистема БС (BSS);

– ПК – підсистема комутації (SSS).

Центр комутації стільникової мережі обслуговує групу чарунків і забезпечує усі види з'єднань, в яких має потребу в процесі роботи рухома станція. MSC аналогічний комутаційній станції ISDN і являє собою інтерфейс між фіксованими мережами (PSTN, PDN, ISDN і т.д.) і мережею рухомого зв'язку. Він забезпечує маршрутизацію викликів і функції керування викликами. Крім виконання функцій звичайної комутаційної станції ISDN, на MSC покладаються функції комутації радіоканалів. До них відносяться "естафетна передача", у процесі якої досягається безперервність зв'язку при переміщенні рухомої станції з чарунки у чарунку, і переключення робочих каналів у чарунці з появою перешкод або за несправностей. Кожен MSC забезпечує обслуговування рухомих станцій, які знаходяться у межах визначеної географічної зони (наприклад, центр комутації, розташований у м. Львів, обслуговує мережі Львівської, Тернопільської та Івано-Франківської областей). MSC керує процедурами установа виклику і маршрутизації. Для телефонної мережі загального користування (PSTN) MSC забезпечує функції сигналізації за протоколом SS № 7, передачі виклику чи інші види інтерфейсів відповідно до вимог конкретного проекту. MSC формує дані, необхідні для виписки рахунків за надані мережею послуги зв'язку, накопичує дані про розмови, що відбулися, і передає їх у центр розрахунків (білінг-центр). MSC складає статистичні дані, необхідні для контролю роботи й оптимізації

мережі. MSC підтримує також процедури безпеки, застосовувані для керування доступами до радіоканалів.

MSC не тільки бере участь у керуванні викликами, але також керує процедурами реєстрації місця знаходження і передачі керування, крім передачі керування в підсистемі базових станцій (BSS). Реєстрація місця знаходження рухомих станцій необхідна для забезпечення доставки виклику рухомих абонентам від абонентів телефонної мережі загального користування чи інших рухомих абонентів. Процедура передачі виклику дозволяє зберігати з'єднання і забезпечувати ведення розмови, коли рухома станція переміщується з однієї зони обслуговування в іншу. Передача викликів у чарунках, що керуються одним контролером базових станцій (BSC), здійснюється цим BSC. Коли передача викликів здійснюється між двома мережами, керованими різними BSC, то первинне керування здійснюється в MSC. У стандарті GSM також передбачені процедури передачі виклику між мережами (контролерами), що відносяться до різних MSC.

Ідеологія стандарту GSM побудована таким чином, що абонент та термінал (радіотелефон) незалежні один від одного. Кожний абонент отримує свій міжнародний ідентифікаційний номер (IMSI), який записаний в модуль дійсності абонента – SIM-карту та зберігається у реєстрі положення. З іншого боку, кожній мобільній станції також присвоюється свій міжнародний ідентифікаційний номер (IMEI). У реєстрі автентифікації обладнання зберігаються номери IMEI, володарі яких мають право доступу до мережі, а також номери, яким за різними причинами відмовлено в обслуговуванні. Це запобігає доступу до мережі таких терміналів, які були викрадені, або не мають необхідних повноважень. Усі ці механізми виключають несанкціонований доступ до ресурсів мережі.

Центр комутації здійснює постійне спостереження за рухомими станціями, використовуючи реєстри положення (HLR) і переміщення (VLR).

У HLR зберігається та частина інформації про місце знаходження будь-якої рухомої станції, що дозволяє центру комутації доставити виклик станції. Регістр HLR містить міжнародний ідентифікаційний номер рухомого абонента (IMSI). Він

використовується для впізнання рухомої станції в центрі автентифікації (AUC). Практично HLR являє собою довідкову базу даних про постійно прописаних у мережі абонентів. У ній містяться пізнавальні номери й адреси, а також параметри дійсності абонентів, склад послуг зв'язку, спеціальна інформація про маршрутизацію. Ведеться реєстрація даних про роумінг (блукання) абонента, включаючи дані про тимчасовий ідентифікаційний номер рухомого абонента (TMSI) у відповідному VLR.

До даних, що містяться в HLR, мають дистанційний доступ усі MSC і VLR мережі і, якщо в мережі є декілька HLR, у базі даних міститься тільки один запис про абонента, тому кожен HLR являє собою певну частину загальної бази даних мережі про абонентів. Доступ до бази даних про абонентів здійснюється за номерами TMSI чи MSISDN (номера рухомого абонента в мережі ISDN). До бази даних можуть одержати доступ MSC чи VLR, що відносяться до інших мереж, у рамках забезпечення міжмережного роумінга абонентів.

Другий основний пристрій, що забезпечує контроль за пересуванням рухомої станції з зони в зону, – реєстр переміщення VLR. За його допомогою досягається функціонування рухомої станції за межами зони, контрольованої HLR. Коли в процесі переміщення рухома станція переходить із зони дії одного контролера базових станцій BSC, що поєднує групу базових станцій, у зону дії іншого BSC, вона реєструється новим BSC, і в VLR заноситься інформація про номер області зв'язку, яка забезпечить доставку викликів рухомій станції. Для збереження даних, що знаходяться в HLR і VLR, у випадку збоїв, передбачено захист пристроїв пам'яті цих реєстрів. VLR містить такі ж дані, як і HLR, однак ці дані містяться в VLR тільки доти, поки абонент знаходиться в зоні, контрольованій VLR.

У мережі рухомого зв'язку GSM чарунки групуються в географічні зони (LA), яким привласнюється свій ідентифікаційний номер (LAC). Кожен VLR містить дані про абонентів декількох LA. Коли рухомий абонент переміщується з однієї LA в іншу, дані про його місце розташування автоматично оновлюються в VLR. Якщо стара і нова LA знаходяться під керуванням різних VLR, то дані на

старому VLR стираються після їхнього копіювання в новий VLR. Поточна адреса VLR абонента, що міститься в HLR, також оновлюється.

VLR забезпечує також присвоєння номера "блукаючій" рухомій станції (MSRN). Коли рухома станція приймає вхідний виклик, VLR вибирає його MSRN і передає його на MSC, що здійснює маршрутизацію цього виклику до базової станції, яка обслуговує рухомого абонента. VLR також розподіляє номери передачі керування при переводі з'єднань від одного MSC до іншого. Крім того, VLR керує розподілом нових TMSI і передає їх у HLR. Він також керує процедурами установлення дійсності під час обробки виклику. За рішенням оператора, ідентифікаційний номер TMSI може періодично змінюватися для ускладнення процедури ідентифікації абонентів. Доступ до бази даних VLR може забезпечуватися через IMSI, TMSI чи MSRN. У цілому VLR являє собою локальну базу даних про рухомого абонента для тієї зони, де знаходиться абонент, що дозволяє виключити постійні запити в HLR і скоротити час на обслуговування ВИКЛИКІВ.

Для виключення несанкціонованого використання ресурсів системи зв'язку вводяться механізми автентифікації – перевірка дійсності абонента. Центр автентифікації (AUC) складається з декількох блоків і формує ключі й алгоритми автентифікації. За його допомогою перевіряються повноваження абонента і здійснюється доступ абонента до мережі зв'язку. AUC приймає рішення про параметри процесу автентифікації і визначає ключі шифрування абонентських станцій на основі бази даних, зосередженої в реєстрі ідентифікації обладнання (EI – Equipment Identification Register).

Кожен рухомий абонент на час користування системою зв'язку одержує стандартний модуль справжності абонента (SI), що містить: міжнародний ідентифікаційний номер (IMSI), свій індивідуальний ключ автентифікації (Ki) та алгоритм автентифікації (A3).

За допомогою записаної в SI інформації в результаті взаємного обміну даними між рухомою станцією і мережею здійснюється повний цикл автентифікації і дозволяється доступ абоненту до мережі.

Процедура перевірки мережею справжності абонента реалізується таким способом. Мережа передає випадковий номер (RAND) на рухома станцію.

Рухома станція посилає обчислене значення SRES у мережу, яка звіряє значення прийнятого SRES зі значенням SRES, обчисленим мережею. Якщо ці значення збігаються, рухома станція приступає до передачі повідомлень. В іншому випадку зв'язок переривається, а індикатор рухомої станції показує, що розпізнавання не відбулося. Для забезпечення таємності обчислення SRES відбувається в рамках **SI**. Несекретна інформація (наприклад, **Ki**) не піддається обробці в модулі **SI**.

EI - реєстр ідентифікації обладнання, містить централізовану базу даних для підтвердження дійсності міжнародного ідентифікаційного номера обладнання рухомої станції (IMEI). Ця база даних відноситься винятково до обладнання рухомої станції. База даних **EI** складається зі списків номерів IMEI, організованих таким чином:

– білий список – містить номери IMEI, про які є відомості, що вони закріплені за санкціонованими рухомими станціями;

– чорний список – містить номери IMEI рухомих станцій, що украдені або яким відмовлено в обслуговуванні з інших причин;

– сірий список – містить номери IMEI рухомих станцій, у яких існують проблеми, виявлені за даними програмного забезпечення, що не є підставою для внесення в "чорний список".

До бази даних **EI** одержують дистанційний доступ MSC даної мережі, а також MSC інших мереж.

Як і у випадку з HLR, мережа може мати більше одного **EI**, при цьому кожен **EI** керує певними групами IMEI. До складу MSC входить транслятор, що при одержанні номера IMEI повертає адресу **EI**, який керує відповідною частиною бази даних про обладнання.

IWF – міжмережний функціональний стик, є однієї з складових частин MSC. Він забезпечує абонентам доступ до засобів перетворення протоколу і швидкості передачі даних так, щоб можна було передавати їх між термінальним обладнанням

(DI) мережі GSM і термінальним обладнанням фіксованої мережі. Міжмережний функціональний стик також "виділяє" модем зі свого банку обладнання для сполучення з відповідним модемом фіксованої мережі. IWF також забезпечує інтерфейси типу прямого з'єднання для обладнання, що поставляється клієнтам, наприклад, для пакетної передачі даних PAD за протоколом X.25.

ЕС (Echo Cancellor) – лунопридушувач, використовується в MSC з боку PSTN для всіх телефонних каналів (незалежно від їхньої довжини) через фізичні затримки в трактах поширення, включаючи радіоканал мереж GSM. Типовий лунопридушувач може забезпечувати придушення в інтервалі 68 мс на ділянці між виходом ЕС і телефоном фіксованої телефонної мережі. Загальна затримка в каналі GSM при поширенні в прямому і зворотному напрямках, викликана обробкою сигналу, кодуванням/декодуванням мови, канальним кодуванням тощо, складає близько 180 мс. Ця затримка була б непомітна рухомому абоненту, якби в телефонний канал не була включена дифсистема з перетворенням тракту з двопровідного на чотирипровідний режим, установка якого необхідна в MSC, тому що стандартне з'єднання з PSTN є двопровідним. При з'єднанні двох абонентів фіксованої мережі луносигнали відсутні. Без включення ЕС затримка від поширення сигналів у тракці GSM буде викликати роздратування в абонентів, переривати мову і відволікати увагу.

2 РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ СТІЛЬНИКІВ В МЕРЕЖІ

2.1 Оптимальний вибір частотних каналів

Вибір частотних каналів буде проводитися для шести частот в стільнику для кластерів із секторизованими стільниками типу 3/9 та 4/12. Тип кластеру необхідно обрати оптимальним з урахуванням проведених розрахунків.

Кластер із секторизованими стільниками типу 3/9 (рис.2.1):



Рисунок 2.1– Кластер типу 3/9

Частотні діапазони кластеру типу 3/9 для uplink (↑) та downlink (↓) зведені до таблиці 2.1:

Таблиця 2.1– Частотні діапазони кластеру

№ п/п	№ сектора	Uplink (↑) 890-915, МГц	Downlink (↓) 935-960, МГц
1.	1	890-890,2	935-935,2
2.	1	890,2-890,4	935,2-935,4
3.	2	890,4-890,6	935,4-935,6
4.	2	890,6-890,8	935,6-935,8
5.	3	890,8-891	935,8-936
6.	3	891-891,2	936-936,2
7.	4	891,2-891,4	936,2-936,4
8.	4	891,4-891,6	936,4-936,6
9.	5	891,6-891,8	936,6-936,8
10.	5	891,8-892	936,8-937

Продовження таблиці 2.1

11.	6	892-892,2	937-937,2
12.	6	892,2-892,4	937,2-937,4
13.	7	892,4-892,6	937,4-937,6
14.	7	892,6-892,8	937,6-937,8
15.	8	892,8-893	937,8-938
16.	8	893-893,2	938-938,2
17.	9	893,2-893,4	938,2-938,4
18.	9	893,4-893,6	938,4-938,6

Оскільки в одному стільнику для даного випадку використовується шість частотних канали (в одному секторі два частотних канали), то на основі таблиці 2.1. складемо розподіл частотних каналів у кожному стільнику кластера типу 3/9. Дані зведемо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Частотні канали у кластері

1 стільник		
	Uplink (↑), МГц	Downlink (↓), МГц
1 сектор	890-890,2	935-935,2
	890,2-890,4	935,2-935,4
4 сектор	891,2-891,4	936,2-936,4
	891,4-891,6	936,4-936,6
7 сектор	892,4-892,6	937,4-937,6
	892,6-892,8	937,6-937,8
2 стільник		
	Uplink (↑), МГц	Downlink (↓), МГц
2 сектор	890,4-890,6	935,4-935,6
	890,6-890,8	935,6-935,8
5 сектор	891,6-891,8	936,6-936,8
	891,8-892	936,8-937
8 сектор	892,8-893	937,8-938
	893-893,2	938-938,2
3 стільник		
	Uplink (↑), МГц	Downlink (↓), МГц

Продовження таблиці 2.2

3 сектор	890,8-891	935,8-936
	891-891,2	936-936,2
6 сектор	892-892,2	937-937,2

9 сектор	892,2-892,4	937,2-937,4
	893,2-893,4	938,2-938,4
	893,4-893,6	938,4-938,6

Виходячи з таблиці 2.2. маємо:

- число частотних каналів у стільнику – 6;
- число частотних каналів у кластері – 18.

За даними числа частотних каналів у стільнику (шість), згідно таблиці визначення числа каналів трафіку, маємо 44 каналів трафіку. За даними таблиці Ерланга при $\rho_{відм} = 0,02$ допустимий трафік у стільнику $A_{СТ} = 34,68$ Ерл.

Середній трафік одного абонента в годину найбільшого навантаження для середнього міста складає $A_1 = 0,02$ Ерл.

Визначаємо допустиме число абонентів у стільнику за формулою:

$$M_{аб} = \frac{A_{СТ}}{A} = \frac{34,68}{0,02} = 1734 \quad . \quad (2.1)$$

Визначаємо число стільників в місті:

$$q_{СТ} = \frac{M_{МЕР}}{M_{СТ}} = \frac{180000}{1734} = 103,8 \approx 104 \quad . \quad (2.2)$$

Площу стільника визначимо за формулою:

$$S_{СТ} = \frac{S_{МЕР}}{q_{СТ}} = \frac{70}{104} = 0,673 \quad . \quad (2.3)$$

Радіус стільника у вигляді правильного шестикутника:

$$R_{КМ} = \sqrt{\frac{S_{СТ}}{0,65}} = \sqrt{\frac{0,67}{0,65}} \approx 1,02 \quad . \quad (2.4)$$

Обраховані дані зводяться до таблиці 2.5.

Кластер із секторизованими стільниками типу 4/12 (рис.2.2):



Рисунок 2.2 – Кластер типу 4/12

Частотні діапазони кластеру типу 4/12 для uplink (↑) та downlink (↓) зведені до таблиці 2.3:

Таблиця 2.3 – Частотні діапазони кластеру типу 4/12

№ п/п	№ сектора	Uplink (↑) 890-915, МГц	Downlink (↓) 935-960, МГц
1.	1	890-890,2	935-935,2
2.	1	890,2-890,4	935,2-935,4
3.	2	890,4-890,6	935,4-935,6
4.	2	890,6-890,8	935,6-935,8
5.	3	890,8-891	935,8-936
6.	3	891-891,2	936-936,2
7.	4	891,2-891,4	936,2-936,4
8.	4	891,4-891,6	936,4-936,6
9.	5	891,6-891,8	936,6-936,8
10.	5	891,8-892	936,8-937
11.	6	892-892,2	937-937,2
12.	6	892,2-892,4	937,2-937,4
13.	7	892,4-892,6	937,4-937,6
14.	7	892,6-892,8	937,6-937,8
15.	8	892,8-893	937,8-938

Продовження таблиці 2.3

16.	8	893-893,2	938-938,2
17.	9	893,2-893,4	938,2-938,4
18.	9	893,4-893,6	938,4-938,6
19.	10	893,6-893,8	938,6-938,8

20.	10	893,8-894	938,8-939
21.	11	894-894,2	939-939,2
22.	11	894,2-894,4	939,2-939,4
23.	12	894,4-894,6	939,4-939,6
24.	12	894,6-894,8	939,6-939,8

Оскільки в одному стільнику для даного випадку використовується шість частотних канали, то на основі таблиці 2.3. складемо розподіл частотних каналів у кожному стільнику кластера типу 4/12.

Таблиця 2.4 – Розподіл частотних каналів кластера типу 4/12

1 стільник		
	Uplink (↑), МГц	Downlink (↓), МГц
1 сектор	890-890,2	935-935,2
	890,2-890,4	935,2-935,4
5 сектор	891,6-891,8	936,6-936,8
	891,8-892	936,8-937
9 сектор	893,2-893,4	938,2-938,4
	893,4-893,6	938,4-938,6
2 стільник		
	Uplink (↑), МГц	Downlink (↓), МГц
2 сектор	890,4-890,6	935,4-935,6
	890,6-890,8	935,6-935,8
6 сектор	892-892,2	937-937,2
	892,2-892,4	937,2-937,4
10 сектор	893,6-893,8	938,6-938,8
	893,8-894	938,8-939
3 стільник		
	Uplink (↑), МГц	Downlink (↓), МГц
3 сектор	890,8-891	935,8-936
Продовження таблиці 2.4		
7 сектор	891-891,2	936-936,2
	892,4-892,6	937,4-937,6
11 сектор	892,6-892,8	937,6-937,8
	894-894,2	939-939,2
4 стільник	894,2-894,4	939,2-939,4

	Uplink (↑), МГц	Downlink (↓), МГц
4 сектор	891,2-891,4	936,2-936,4
8 сектор	891,4-891,6	936,4-936,6
	892,8-893	937,8-938
12 сектор	893-893,2	938-938,2
	894,4-894,6	939,4-939,6
	894,6-894,8	939,6-939,8

Виходячи з таблиці 2.4. маємо:

- число частотних каналів у стільнику – 6;
- число частотних каналів у кластері – 24.

За даними числа частотних каналів у стільнику (шість), згідно таблиці визначення числа каналів трафіку, маємо 44 каналів трафіку. За даними таблиці Ерланга при $\rho_{\text{відм}} = 0,02$ допустимий трафік у стільнику $A_{\text{СТ}}=34,68$ Ерл.

Середній трафік одного абонента в годину найбільшого навантаження для середнього міста складає $A_f = 0,02$ Ерл.

Визначаємо допустиме число абонентів у стільнику за формулою:

$$M_{\text{СТ}} = \frac{A_{\text{СТ}}}{A_f} = \frac{34,68}{0,02} = 1734 \quad . \quad (2.5)$$

Визначаємо число стільників в місті:

$$q_{\text{СТ}} = \frac{M_{\text{MEP}}}{M_{\text{СТ}}} = \frac{180000}{1734} = 103,8 \approx 104 \quad . \quad (2.6)$$

Площу стільника визначимо за формулою:

$$S_{\text{КМ}} = \frac{S_{\text{MEP}}}{q_{\text{СТ}}} = \frac{70}{104} = 0,673 \quad . \quad (2.7)$$

Радіус стільника у вигляді правильного шестикутника:

$$R_{\text{КМ}} = \frac{S_{\text{СТ}}}{0,65} = \frac{0,67}{0,65} \approx 1,02 \quad . \quad (2.8)$$

Обраховані дані зводяться до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Обраховані дані

Число частот в стільнику	6
Число частот в мережі кластер 3/9	18
Число частот в мережі кластер 4/12	24
Число абонентів у стільнику $M_{ст}$	1734
Число стільників в мережі $q_{ст}$	104
Площа стільника $S_{ст}$, км ²	0,673
Радіус стільника R, км	1,02

На основі проведених обчислень обирається кластер із секторизованими стільниками типу 4/12, оскільки він краще підходить для даної місцевості (середнє місто). Даний вибір можна обґрунтувати тим, що даний тип містить більше число частот у кластері, як недолік – це здорожує мережу, оскільки за частотні канали потрібно платити. Але, як перевага даного типу кластеру, що й вплинуло на вибір це те, що він має більший захисний інтервал, а отже має більшу завадостійкість. Ну й чим більше число каналів, тим більш вільна буде мережа для абонентів.

Мережа буде мати 6 частотних каналів у стільнику, оскільки при цьому забезпечується радіус стільника 1,02 км, число абонентів, які стільник може обслуговувати одночасно дорівнює 1734.

3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТІЛЬНИКОВОЇ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ

3.1 Втрати на трасі

Втрати на трасі визначаємо за моделлю Окамури - Хата. Вони залежать від відстані R , робочої частоти F , висоти підвісу антен базової станції $H_{БС}$ і абонентської станції $H_{АС}$. Даний метод заснований на аналітичній апроксимації результатів практичних вимірювань. Набір емпіричних формул і поправочних коефіцієнтів, отриманий в результаті такої апроксимації, дозволяє розрахувати середні втрати для різних типів місцевості.

У діапазоні 900 МГц слід використовувати рекомендації [Rec. ITU –R P. 529-2]. Умови застосовності моделі $F = 150-1500$ МГц; $H_{БС} = 30-200$ м; $H_{АС} = 1-10$ м.

Для мого варіанту місцевості міська забудова (середнє місто) буде:

$$L_r = 69,55 + 26,16 \lg F - 13,82 \lg H_{БС} + aH_{АС} + (44,9 - 6,55 \lg H_{БС}) \lg R, \quad (3.1)$$

де $aH_{АС} = (1,1 \lg F - 0,7)H_{АС} - (1,56 \lg F - 0,8)$;

$H_{БС}$ – ефективна висота підйому антени базової станції, м;

$H_{АС}$ – висота антени рухомого станції над землею, м;

R – відстань між передавачем і приймачем, км;

F – частота сигналу, МГц.

Для розрахунку втрат на трасі в напрямку *Uplink* (↑) маємо такі дані $F=892,4$ МГц (середня частота діапазону 890-894,8 МГц), $H_{БС}=30$ м, $H_{АС}=1,5$ м, $R = 1,02$ км. Обрахуємо середні (медіанні) втрати на трасі L_r :

$$L_r = 69,55 + 26,16 \lg F - 13,82 \lg H_{БС} + (1,1 \lg F - 0,7)H_{АС} - (1,56 \lg F - 0,8) + (44,9 - 6,55 \lg H_{БС}) \lg R = 69,55 + 26,16 \lg 892,4 - 13,82 \lg 30 + (1,1 \lg 892,4 - 0,7)1,5 - (1,56 \lg 892,4 - 0,8) + (44,9 - 6,55 \lg 30) \lg 1,02 = 126,6 \text{ дБ.}$$

Необхідний запас потужності сигналу для його впевненого прийому на 90 % площі з імовірністю 75 %, $\Delta P_{\delta} = 0,68 \cdot \delta$ $\Delta P_{\delta} = 0,68 \cdot 8 = 5,44$ дБм, де $\delta = 8$ дБ – середньоквадратичне відхилення сигналу через флуктуації в точці прийому. Крім того, врахуємо додаткові втрати в будівлі $L_{\text{буд}} = 12$ дБ. Отже, сумарні втрати на трасі:

$$L_p = 126,6 + 5,44 + 12 = 144,04 \text{ дБ.}$$

Для розрахунку втрат на трасі в напрямку Downlink (↓) маємо такі дані $F = 937,4$ МГц (середня частота діапазону 935-939,8 МГц), $H_{\text{БС}} = 30$ м, $H_{\text{АС}} = 1,5$ м,

$R = 1,02$ км. Обрахуємо середні (медіанні) втрати на трасі $L_{\text{т}}$:

$$L_{\text{т}} = 69,55 + 26,16 \lg F - 13,82 \lg H_{\text{БС}} + (1,1 \lg F - 0,7) H_{\text{АС}} - (1,56 \lg F - 0,8) + (44,9 - 6,55 \lg H_{\text{БС}}) \lg R = 69,55 + 26,16 \lg 937,4 - 13,82 \lg 30 + (1,1 \lg 937,4 - 0,7) 1,5 - (1,56 \lg 937,4 - 0,8) + (44,9 - 6,55 \lg 30) \lg 1,02 = 127,2 \text{ дБ.}$$

Необхідний запас потужності сигналу для його впевненого прийому на 90 % площі з імовірністю 75 %, $\Delta P_{\delta} = 0,68 \cdot \delta$ $\Delta P_{\delta} = 0,68 \cdot 8 = 5,44$ дБм, де $\delta = 8$ дБ – середньоквадратичне відхилення сигналу через флуктуації в точці прийому. Крім того, врахуємо додаткові втрати в будівлі $L_{\text{буд}} = 12$ дБ. Отже, сумарні втрати на трасі:

$$L_p = 127,2 + 5,44 + 12 = 144,64 \text{ дБ.}$$

Отже, втрати на трасі для напрямку Uplink (↑) становлять $L_p = 144,04$ дБ, для напрямку Downlink (↓) – $L_p = 144,64$ дБ.

3.2 Потужність передавачів базової станції

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача БС для напрямку Uplink (↑), якщо потужність передавача АС становить $P_{\text{out АС}} = 2$ Вт (33 дБм), $L_{\text{f АС}} = 0$, $G_{\text{a АС}} = 0$, $L_p = 144,04$ дБ, $G_{\text{a БС}} = 16$ дБ, $G_{\text{d БС}} = 3$ дБ, $L_{\text{f БС}} = 2$ дБ:

$$P_{\text{in БС}} = P_{\text{out АС}} - L_{\text{f АС}} + G_{\text{a АС}} - L_p + G_{\text{a БС}} + G_{\text{d БС}} - L_{\text{f БС}} = 33 - 0 + 0 - 144,04 + 16 + 3 - 2 = -94,04 \text{ дБм.} > -111 \text{ дБм.}$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача АС для напрямку, Downlink (↓) якщо потужність передавача БС (оскільки даний варіант 33 з умови на завдання від № варіанта потрібно відняти десять) становить $P_{outBC} = 23$ Вт (43,6 дБм,), $L_{fBC} = 2$ дБ, $G_{aBC} = 16$, $L_c = 3$ дБ (оскільки використовується 6 частот в стільнику), $L_p = 144,64$ дБ, $G_{aAC} = 0$ дБ, $L_{fAC} = 0$ дБ:

$$P_{inAC} = P_{outBC} - L_{fBC} + G_{aBC} - L_c - L_p + G_{aAC} - L_{fAC} = 43,6 - 2 + 16 - 3 - 144,64 + 0 - 0 = -90,04 \text{ дБм} > -104 \text{ дБм.}$$

Таблиця 3.1 – Розраховані дані

Траса вниз БС => АС													
F, МГц	N_{BC} м	N_{AC} м	R, км	L_{f*} дБ	ΔP_{σ} дБ	$L_{под}$ дБ	P_{outBC} дБм	L_{fBC} дБ	G_{aBC} дБ	L_c дБ	L_p дБ	G_{aAC} дБ	L_{fAC} дБ
892,4	30	1,5	1,02	127,2	5,44	12	43,6	2	16	3	144,64	0	0
Траса вверх АС => БС													
F, МГц	N_{BC} м	N_{AC} м	R, км	L_{f*} дБ	ΔP_{σ} дБ	$L_{под}$ дБ	P_{inAC} дБм	L_{fAC} дБ	G_{aAC} дБ	L_p дБ	G_{aBC} дБ	L_{fBC} дБ	
892,4	30	1,5	1,02	126,6	5,44	12	33	0	0	144,04	16	3	2

Знайдені величини P_{inAC} і P_{inBC} повинні перевищувати чутливість приймачів мобільної станції -104 дБм і базової станції -111 дБм. В даному випадку $P_{inAC} = -90,04$ та $P_{inBC} = -94,04$ перевищують чутливість приймачів мобільної станції -104 дБм і базової станції -111 дБм.

3.3 Електроживлення базової станції

У мережах стільникового зв'язку найбільшого поширення набули джерела безперебійного живлення (ДБЖ) змінного струму. Організація безперебійного живлення об'єкта передбачає можливість його перемикання при неполадках в

електромережі на альтернативне джерело енергії. В ДБЖ будь-якого типу функції такого джерела виконують акумуляторні батареї.

Акумулятори є вторинними елементами живлення або, як їх ще називають, хімічними джерелами струму другого типу.

Акумуляторні батареї функціонують у двох основних режимах: розряду і заряду. Встановлені в ДБЖ змінного струму батареї знаходяться в одному з трьох станів – черговому, аварійному і поставарійному. Оскільки аварії в мережі відбуваються не часто, більшу частину строку експлуатації батарея функціонує в черговому, або буферному, режимі постійного підзаряду. Аварійні режими (живлення навантаження від батареї) в телекомунікаціях займають порівняно невеликий час. Поставарійний – це автоматичний режим заряду розрядженої батареї. Будь-яка акумуляторна батарея характеризується взаємопов'язаною системою параметрів, базовими з яких є ємність і номінальна напруга. Вибір ємності акумуляторна батарея обумовлений типом навантаження, яке вона буде підтримувати протягом заданого часу при певних режимах розряду. Для будь-якого телекомунікаційного об'єкта визначальними є вимоги з енергопостачання: час роботи, струм розряду, потужність. Вимоги по ємності визначаються на підставі цих характеристик.

Для даного варіанту використовуються свинцево-кислотні акумуляторні батареї. Вони мають такі характеристики:

- номінальна напруга $U_n = 2$ В;
- номінальна ємність $C_n = 1000$ Ач.

Основні області застосування свинцево-кислотних акумуляторних батарей:

- безперервне електроживлення;
- телекомунікації;
- пожежне освітлення;
- пожежна тривога та системи забезпечення безпеки.

Відмінні особливості свинцево-кислотних акумуляторних батарей:

- дешевизна і простота виробництва;
- за вартістю 1 кВт·год енергії ці батареї є найдешевшими;

- малий саморозряд – найнижчий порівняно з акумуляторними батареями інших типів;
- низькі вимоги до обслуговування – відсутній «ефект пам'яті», не потрібно доливання електроліту;
- припустимі високі струми розряду;
- не допускається зберігання в розрядженому стані;
- низька енергетична щільність – велику вагу акумуляторних батарей обмежує їх застосування в стаціонарних та рухомих об'єктах;
- допустимо лише обмежена кількість циклів повного розряду (200-300);
- кислотний електроліт і свинець мають шкідливий вплив на навколишнє середовище;
- при неправильному заряді можливий перегрів.

Свинцево-кислотні батареї мають настільки низьку енергетичну щільність в порівнянні з іншими типами батарей, що це робить недоцільним використання їх в якості джерел живлення переносних пристроїв. Хоча приклади їх застосування у портативній електронній техніці є. Крім того, при низьких температурах їх ємність суттєво знижується.

Виробники ДБЖ завжди вказують повну потужність, виражену в вольт-амперах, отже, необхідно перевести активну потужність обладнання в повну. Активна потужність обчислюється за формулою:

$$P_{\text{ДБЖ}} > P_{\text{max}} / PF \quad (3.2)$$

де $P_{\text{ДБЖ}}$ – необхідна потужність джерела безперебійного живлення базової станції; PF (Power Factor) – коефіцієнт потужності, який у цій роботі приймається рівним 0,7; P_{max} – максимальна споживана потужність.

Максимальна споживана потужність для базових станцій мереж GSM 60 Вт.

$$P_{\text{ДБЖ}} = 60 / 0,7 = 85,7 \text{ Вт.}$$

Необхідно також врахувати максимальну споживану потужність охоронно-пожежної сигналізації – 900 Вт і системи управління мікрокліматом – 3000 Вт.

Тому, потужність джерела безперебійного живлення базової станції буде:

$$P_{\text{ДБЖ}} = 85,7 + 900 + 3000 = 3985,7 \text{ Вт.}$$

Для роботи в автономному режимі ДБЖ базової станції комплектується чотирма батареями.

Розрахуємо максимальний час автономної роботи при заданому навантаженні за формулою:

$$t = \frac{60 \cdot C_n \cdot U}{P} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 2}{3985,7} = 30,1 \text{ .} \quad (3.3)$$

Оскільки базової станції комплектується чотирма батареями, то загальний час їх роботи в автономному режимі становитиме:

$$t_{\text{в}} = 30,1 \cdot 4 = 120,4 \text{ .}$$

3.4 Надійність мережі стільникового зв'язку

Однією з найважливіших завдань при проектуванні мереж стільникового зв'язку є розробка пристроїв і вузлів, які забезпечують виконання всіх покладених на них функцій протягом тривалого терміну служби обладнання.

Вирішення цієї проблеми можливе тільки при комплексному вирішенні питань надійності на всіх стадіях проектування і експлуатації.

В теорії надійності вводяться кількісні характеристики і встановлюється зв'язок між ними, розробляються методи, що дозволяють аналізувати фізичні причини відмов і прогнозувати надійність.

Йдеться про вибір методів і засобів забезпечення роботи систем з максимальною ефективністю. Час напрацювання на відмову T_n і середній час відновлення після збою T_v є основними параметрами, які слід враховувати при вирішенні завдання забезпечення надійного і стабільного сервісу.

Значення часу напрацювання на відмову і середнього часу відновлення такі:

– середній час напрацювання на відмову $T_{\text{сер}}$:

а) для БС $T_{сер}=37000$ год.;

б) для контролера $T_{сер}=53000$ год.;

в) для мультиплексора $T_{сер}=45000$ год.

– середній час відновлення, $T_v = 8$ год.

Необхідно визначити надійність системи. Параметри безвідмовності:

– інтенсивність відмов системи;

– напрацювання на відмову системи;

– ймовірність безвідмовної роботи.

Обрахуємо інтенсивність відмов кожного елемента:

– для БС при $T_{сер}=37000$ год.:

$$\lambda_{БС} = \frac{1}{T_{сер}} = \frac{1}{37000} = 27 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \quad (3.4)$$

– для контролера при $T_{сер}=53000$ год.:

$$\lambda_{контр} = \frac{1}{T_{сер}} = \frac{1}{53000} = 19 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \quad (3.5)$$

– для мультиплексора при $T_{сер}=45000$ год.:

$$\lambda_{мух} = \frac{1}{T_{сер}} = \frac{1}{45000} = 22 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \quad (3.6)$$

Обрахуємо інтенсивність відмов системи в цілому:

$$\lambda_c = \lambda_{БС} + \lambda_{контр} + \lambda_{мух} = 68 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \quad (3.7)$$

Визначаємо напрацювання на відмову системи:

$$T_{сер c} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{68 \cdot 10^{-6}} = 14706 \text{ год} \quad (3.8)$$

Ймовірність безвідмовної роботи визначається:

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} \quad (3.9)$$

де t – час випробування, год;

λ_c – інтенсивність відмов системи.

Час випробування може приймати такі значення: 24, 720, 2172, 8760 години.

Для $t=24$ год.:

$$P_c(t) = e^{-68 \cdot 10^{-6} \cdot 24} = 0,998$$

Подальші ймовірності безвідмовної роботи для часу випробування 720, 2172, 8760 годин зведені до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Зведені дані

t, год	$P_c(t)$
24	0,998
720	0,952
2172	0,863
8760	0,551

За даними таблиці 3.2 будемо криву безвідмовності $P(t)$ (рис.3.1):



Рисунок 3.1 – Крива безвідмовності $P(t)$

Знайдемо параметри ремонтпридатності. До них відносяться:

- середній час відновлення – $T_v = 8$ год.;
- коефіцієнт готовності;
- коефіцієнт простою.

Коефіцієнт готовності (ймовірність того, що система буде в працездатному стані в будь-який момент часу в проміжках між виконанням профілактичного обслуговування або ремонту) визначається:

$$K_r = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_v} = \frac{14706}{14706 + 8} = 0,9994 \quad (3.10)$$

де $T_{сер} = 14706 \text{ год} = 612,75 \text{ діб} \approx 613 \text{ діб}$ – напрацювання на відмову системи;

$T_v = 8 \text{ год}$ – час відновлення системи.

Коефіцієнт простою (враховує всі простої апаратури, викликані технічним обслуговуванням, але без обліку простоїв з організаційних причин) визначається:

$$K_p = 1 - K_r = 1 - 0,9994 = 0,0006$$

Таблиця 3.3 – Розрахункові параметри

Інтенсивність відмов системи $\lambda_{св}$	Напрацювання на відмову системи $T_{сер}$	Імовірність безвідмовної роботи системи				$T_{в*}$ ГОД	K_r	K_p
		$P(t)$ $t = 24$	$t = 720$	$t = 2172$	$t = 8760$			
1/год. $68 \cdot 10^{-6}$	ГОД. 14706	0,998	0,952	0,863	0,551	8	0,9994	0,0006

Розрахункові параметри порівнюємо з нормативними показниками і робимо висновок про стан надійності системи.

Нормативні показники системи:

– напрацювання на відмову системи $T_{сер}$ повинно бути не менше 350 діб, обраховане значення 613 діб. Значення напрацювання на відмову системи відповідає нормативним показникам.

– коефіцієнт готовності системи K_r повинен бути не менше 0,99; обраховане значення 0,9994. Значення коефіцієнт готовності системи відповідає нормативним показникам. Можна зробити висновок, що система надійна.

Схожість

Джерела з Бібліотеки

47

1	Студентська робота	ID файлу: 1008380452	Навчальний заклад: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk U...	5 Джерело	9.09%
2	Студентська робота	ID файлу: 1001161956	Навчальний заклад: National Aviation University		3.13%
3	Студентська робота	ID файлу: 1013099967	Навчальний заклад: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic"	5 Джерело	3.04%
4	Студентська робота	ID файлу: 1008275712	Навчальний заклад: National Aviation University	2 Джерело	3%
5	Студентська робота	ID файлу: 1004022589	Навчальний заклад: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic"		2.74%
6	Студентська робота	ID файлу: 1009725564	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University		2.67%
7	Студентська робота	ID файлу: 1005675726	Навчальний заклад: Lutsk National Technical University		2.57%
8	Студентська робота	ID файлу: 1005735977	Навчальний заклад: National Aviation University	2 Джерело	2.23%
9	Студентська робота	ID файлу: 1005721674	Навчальний заклад: Lutsk National Technical University		2.07%
10	Студентська робота	ID файлу: 6050777	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University		1.71%
11	Студентська робота	ID файлу: 1008370089	Навчальний заклад: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk U...		1.05%
12	Студентська робота	ID файлу: 1007993504	Навчальний заклад: National Aviation University		0.87%
13	Студентська робота	ID файлу: 1005736571	Навчальний заклад: National Aviation University	5 Джерело	0.64%
14	Студентська робота	ID файлу: 1013016422	Навчальний заклад: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic"		0.62%
15	Студентська робота	ID файлу: 3605203	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University	2 Джерело	0.58%
16	Студентська робота	ID файлу: 1584545	Навчальний заклад: Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University		0.57%
17	Студентська робота	ID файлу: 1005731400	Навчальний заклад: National Aviation University	2 Джерело	0.56%
18	Студентська робота	ID файлу: 1004113975	Навчальний заклад: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk U...		0.52%
19	Студентська робота	ID файлу: 1011569007	Навчальний заклад: Vasyl Stus Donetsk National University		0.5%
20	Студентська робота	ID файлу: 1003655787	Навчальний заклад: Cherkasy State Technological University		0.49%

21	Студентська робота	ID файлу: 1915188	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University	2 Джерело	0.48%
22	Студентська робота	ID файлу: 1005736562	Навчальний заклад: National Aviation University		0.45%
23	Студентська робота	ID файлу: 5985323	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University		0.32%
24	Студентська робота	ID файлу: 47043	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University		0.24%
25	Студентська робота	ID файлу: 1009723207	Навчальний заклад: Cherkasy State Technological University		0.17%
26	Студентська робота	ID файлу: 1005736561	Навчальний заклад: National Aviation University	3 Джерело	0.12%
27	Студентська робота	ID файлу: 1008355854	Навчальний заклад: National Aviation University		0.1%
28	Студентська робота	ID файлу: 1013103825	Навчальний заклад: Zhytomyr National Agroecological University		0.1%