

Лабораторна робота №5

Система стільникового зв'язку стандарту GSM-900

1. Мета роботи

Вивчити основні технічні характеристики, функціональну будову та інтерфейси, прийняті в цифровій стільниковій системі рухомого радіозв'язку стандарту GSM.

2. Завдання

1. Ознайомитись з характеристиками стандарту GSM та зі складом довготривалих та тимчасових даних, що зберігаються в реєстрах HLR і VLR.
2. Вивчити функціональну схему і склад устаткування.
3. Ознайомитись з процедурою перевірки мережею дійсності абонента.
4. Скласти звіт.

3. Теоретичні відомості

Стандарт GSM (Global System for Mobile communications) тісно пов'язаний з усіма сучасними стандартами цифрових мереж, в першу чергу з ISDN та IN. Основні функціональні елементи GSM входять у розроблювальний міжнародний стандарт глобальної системи рухомого зв'язку U MTS.

У 1990 р. були опубліковані специфікації першої фази GSM. До 1993 р. функціонувало вже 36 мереж GSM у 22 країнах, і ще 25 країн вибрали напрямок GSM чи поставили питання про його прийняття. Мережа GSM може надавати такі послуги: по перенесенню інформації; надання зв'язку; додаткові послуги. Система GSM є цифровою системою передачі даних, мова кодується і передається у вигляді цифрового потоку. Абоненти GSM можуть здійснювати обмін інформацією з абонентами ISDN, звичайних телефонних мереж, мереж з комутацією пакетів і мереж зв'язку з комутацією каналів, використовуючи різні методи і протоколи доступу. Унікальною можливістю GSM є двонаправлена передача коротких повідомлень SMS, що передаються у режимі з проміжним зберіганням даних.

Відповідно до рекомендації СЕРТ 1980 р., що стосується використання спектра частот рухомого зв'язку в діапазоні частот 862...960 МГц, стандарт GSM на цифрову загальноєвропейську стільникову систему наземного рухомого зв'язку передбачає роботу передавачів у двох діапазонах частот: 890...915 МГц (для передавачів МС), 935...960 МГц (для передавачів БС). У стандарті GSM використовується вузькосмуговий багатостанційний доступ з тимчасовим розділенням каналів (NB-TDMA). У структурі TDMA-кадру міститься 8 тимчасових позицій на кожній з 124 несучих. Для захисту від помилок в радіоканалах при передачі інформаційних повідомлень застосовується блокове і згортальне кодування з перемеженням.

Для боротьби з інтерференційними завмираннями приймаючих сигналів, викликаними багатопроменевим поширенням радіохвиль в умовах міста, в апаратурі зв'язку використовуються еквалайзери, що забезпечують вирівнювання імпульсних сигналів із середньоквадратичним відхиленням часу затримки до 16 мкс. У стандарті GSM обрана гаусівська маніпуляція з мінімальним зсувом; індекс маніпуляції – 0,3. Обробка мови здійснюється в рамках прийнятої системи переривчастої передачі мови (DTX), яка забезпечує включення передавача тільки при наявності мовного сигналу і відключення передавача в паузах і в кінці розмови. Як мовоперетворюючий пристрій обраний мовний кодек з регулярним імпульсним збудженням/довгостроковим передбаченням і лінійним предикативним кодуванням із передбаченням. Загальна швидкість перетворення мовного сигналу – 13 кбіт/с.

Функціональна побудова та інтерфейси, прийняті в стандарті GSM, ілюструються структурною схемою (рис. 3.1), на якій MSC (Mobile Switching Centre) – центр комутації рухомого зв'язку; BSS (Base Station System) – обладнання базової станції; OMC (Operations and Maintenance Centre) – центр управління і обслуговування; MS (Mobile Stations) – мобільні станції.

Основні характеристики стандарту GSM

| | |
|--|-----------------------|
| Частоти передачі мобільної станції та прийому базової станції, МГц | 890...915 |
| Частоти прийому мобільної станції та передачі базової станції, МГц | 935...960 |
| Дуплексний рознос частот прийому і передачі, МГц | 45 |
| Швидкість передачі повідомлень в радіоканалі, кбіт/с | 270, 833 |
| Швидкість перетворення мовного кодеку, кбіт/с | 13 |
| Ширина смуги каналу зв'язку, кГц | 200 |
| Максимальна кількість каналів зв'язку | 124 |
| Максимальна кількість каналів, організованих у БС | 16...20 |
| Вид модуляції | GMSK |
| Індекс модуляції ВТ | 0,3 |
| Ширина смуги передмодуляційного гаусівського фільтра, кГц | 81,2 |
| Кількість стрибків по частоті в секунду | 217 |
| Тимчасове рознесення в інтервалах TDMA кадру (передача/прийом) для мобільної станції | 2 |
| Вид мовного кодеку | RPE/LTP |
| Максимальний радіус стільника, км | до 35 |
| Схема організації каналів | комбінована TDMA/FDMA |

Функціональне з'єднання елементів системи здійснюється низкою інтерфейсів. Всі мережеві функціональні компоненти в стандарті GSM взаємодіють з системою сигналізації МККТТ N7 (CCIT SS N7). SS N7 стандартизована на міжнародному рівні і призначена для обміну сигнальною інформацією в цифрових мережах зв'язку з цифровими програмно-управляючими станціями. Система оптимізована для роботи по цифрових каналах з швидкістю 64

кбіт/с і дозволяє керувати процесом з'єднання, а також передавати інформацію техобслуговування і експлуатації. SS N7 використовує метод передачі сигнальної інформації по спеціальному каналу, загальному для одного або декількох пучків інформаційних каналів. Мережа SS N7 є обов'язковою умовою створення мережі стандарту GSM.

Центр комутації рухомого зв'язку (ЦКРЗ) обслуговує групу стільників і забезпечує всі види з'єднань, яких потребує у процесі роботи МС. MSC являє собою інтерфейс між фіксованими мережами та мережею рухомого зв'язку. Він забезпечує маршрутизацію викликів і функції управління викликами. Крім виконання функцій звичайної ISDN комутаційної станції, на MSC покладаються функції комутації радіоканалів. До них належать: естафетна передача, в процесі якої досягається безперервність зв'язку при переміщенні МС із стільника в стільник, та переключення робочих каналів в стільнику при появі завад чи несправностей. Кожен MSC забезпечує обслуговування рухомих абонентів, розташованих у межах певної географічної зони. Для телефонної мережі загального користування (PSTN) MSC забезпечує функції сигналізації по протоколу SS N7, передачі виклику і т. д. MSC формує дані, необхідні для виписки рахунків за надані мережею послуги зв'язку, накопичує дані по розмовах, що відбулися і передає їх в центр розрахунків.

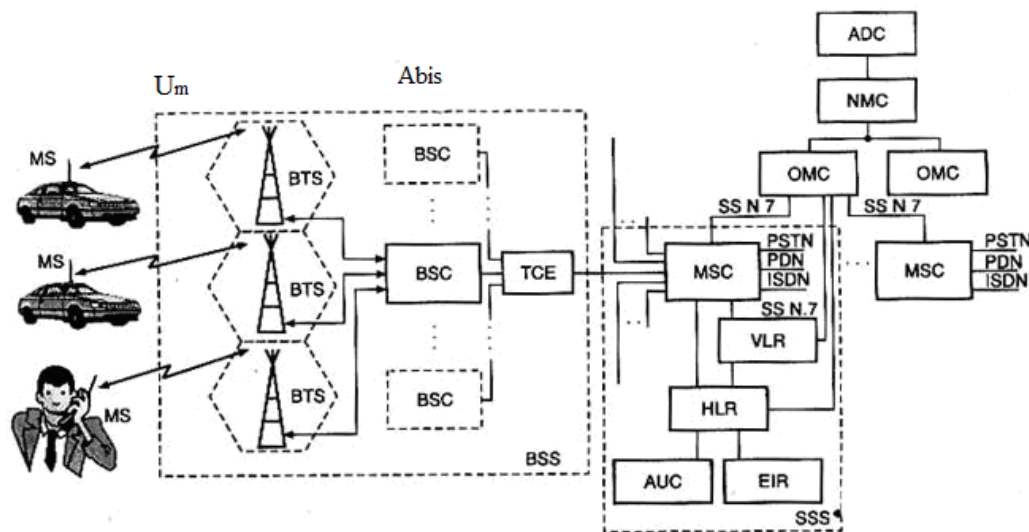


Рис. 3.1. Структурна схема стандарту GSM

MSC бере участь в управлінні викликами, та управляє процедурами реєстрації місцезнаходження і передачі управління. Процедура передачі виклику дозволяє зберігати з'єднання і забезпечувати ведення розмови, коли МС переміщається з однієї зони обслуговування в іншу. Передача викликів в стільниках, керованих одним контролером базових станцій (BSC), здійснюється цим BSC. Коли передача викликів здійснюється між двома мережами, керованими різними BSC, то первинне управління здійснюється в MSC. ЦК здійснює постійне стеження за МС, використовуючи реєстри положення (HLR) і переміщення (VLR). У HLR зберігається та частина інформації про місцезнаходження якої-небудь МС, яка дозволяє ЦК доставити виклик станції. Регістр

HLR містить міжнародний ідентифікаційний номер рухомого абонента (IMSI). Він використовується для розпізнавання МС в центрі аутентифікації (AUC) (рис. 3.2, 3.3).

HLR являє собою довідкову базу даних (БД) про постійно прописаних в мережі абонентів. У ній містяться розпізнавальні номери і адреси, параметри дійсності абонентів, спеціальна інформація про маршрутизацію. Ведеться реєстрація даних про роумінг абонента, включаючи дані про тимчасовий ідентифікаційний номер рухомого абонента (TMSI) і відповідного VLR. До даних, що містяться в HLR, мають дистанційний доступ всі MSC і VLR мережі і, якщо в мережі є кілька HLR, в БД міститься тільки один запис про абонента, тому кожен HLR є частиною загальної БД мережі про абонентів. Доступ до БД про абонентів здійснюється за номером IMSI або MSISDN.

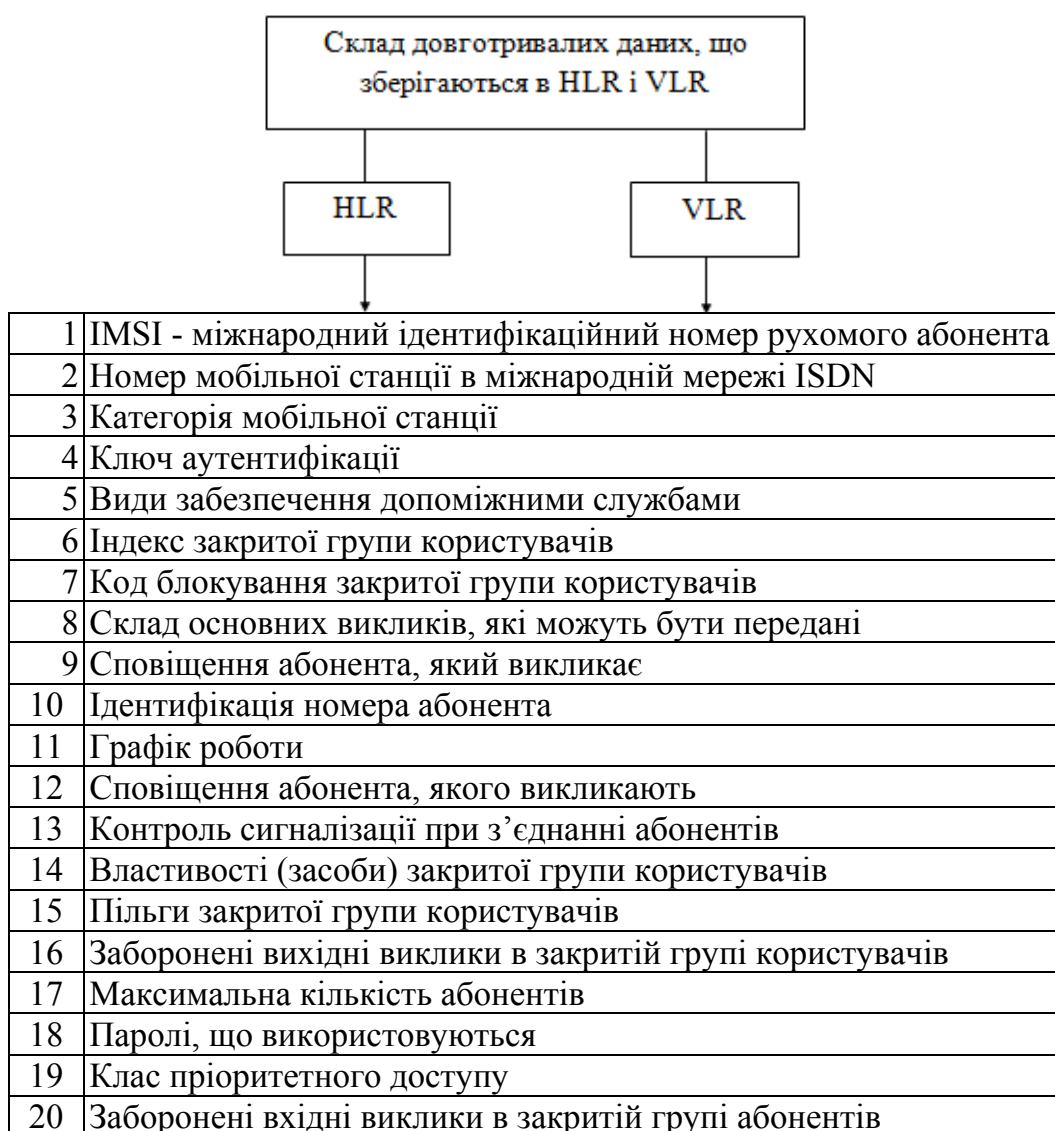


Рис. 3.2. Склад довготривалих даних, що зберігаються в HLR і VLR

Другий основний пристрій, що забезпечує контроль за пересуванням МС із зони в зону реєстр переміщення VLR. За його допомогою досягається функціонування МС за межами зони, що контролюється HLR. Коли в процесі

переміщення МС переходить із зони дії одного контролера базової станції BSC, який об'єднує групу БС, в зону дії іншого BSC, вона реєструється новим BSC, і в VLR заноситься інформація про номер галузі зв'язку, яка забезпечить доставку викликів мобільної станції. VLR містить такі самі дані, як і HLR, однак ці дані містяться в VLR доти, доки абонент знаходиться в зоні, що контролюється VLR. У мережі рухомого зв'язку GSM стільники групуються в географічні зони (LA), яким присвоюється свій ідентифікаційний номер (LAC).

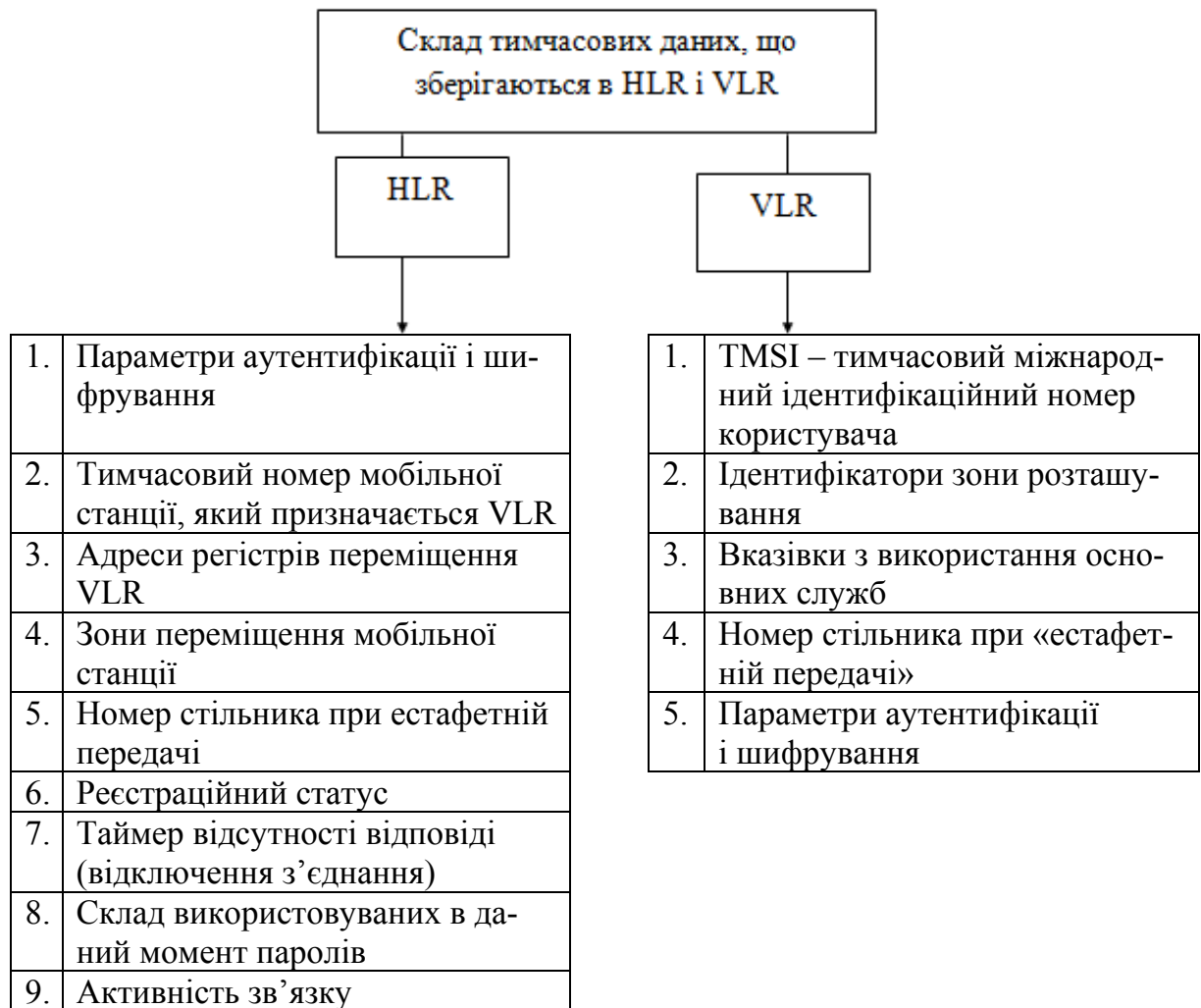


Рис. 3.3. Склад тимчасових даних, що зберігаються в HLR і VLR

Коли рухомий абонент переміщається з однієї LA в іншу, дані про його місцезнаходження оновлюються в VLR. VLR забезпечує привласнення номера «блукаючої» мобільної станції (MSRN). Коли МС приймає вхідний виклик, VLR вибирає його MSRN і передає його на MSC, який здійснює маршрутизацію цього виклику до БС, що знаходяться поруч з рухомих абонентом. VLR також розподіляє номери передачі управління при передачі з'єднань від одного MSC до іншого. Доступ до БД VLR забезпечується через IMSI, TMSI або MSRN. В цілому VLR являє собою локальну БД про рухомий абонент

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 аутентифікації – посвідчення дійсності абонента. AUC складається з кількох блоків і формує ключі й алгоритми аутентифікації. З його допомогою перевіряються повноваження абонента і здійснюється його доступ до мережі зв'язку. AUC приймає рішення про параметри процесу аутентифікації і визначає ключі шифрування AC на основі бази даних, зосередженої в реєстрі ідентифікації устаткування (EIR).

Кожен рухомий абонент на час користування системою зв'язку одержує стандартний модуль дійсності абонента (SIM), який містить, міжнародний ідентифікаційний номер (IMSI), свій індивідуальний ключ аутентифікації (Ki), алгоритм аутентифікації (A3). За допомогою закладеної в SIM інформації в результаті взаємного обміну даними між MC і мережею здійснюється повний цикл аутентифікації і дозволяється доступ абонента до мережі.

Процедура перевірки мережею дійсності абонента реалізується в такий спосіб. З вузла аутентифікації на адресу MC передається випадковий номер (RAND) через вибрану БС. На MC за допомогою апріорно відомого ключа Ki і алгоритму аутентифікації (A3) по формулі визначається значення відгуку, що задовольняє умову впізнання за принципом «свій – чужий»:

$$SRES_{pz} = Ki \cdot [RAND]$$

Далі обчислене значення $SRES_{pz}$ через БС і ЦКРЗ надходить у вузол аутентифікації (ВА), де відбувається його порівняння зі значенням $SRES_{цкрз}$, що міститься у ВА. При збіганні цих значень з ВА в ЦКРЗ надходить сигнал дозволу доступу MC до мережі і закріплені за MC одного з логічних каналів зв'язку. Після надання MC каналу TCH, відповідного необхідному виду обслуговування, БС здійснює контроль встановленого з'єднання. У разі незбіжності значень, $SRES_{pz} \neq SRES_{цкрз}$, користувач дістає відмову в обслуговуванні. Для забезпечення таємності обчислення $SRES$ здійснюється в рамках SIM. Процедура аутентифікації зображена на схемі рис. 3.4.

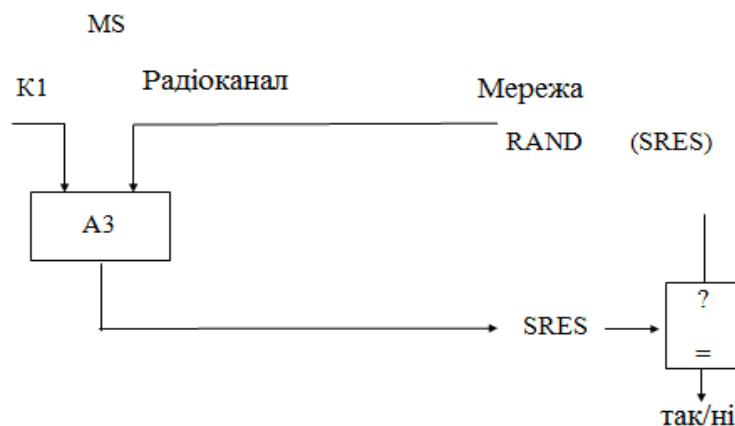


Рис. 3.4. Принцип аутентифікації

EIR – реєстр ідентифікації устаткування, містить централізовану базу даних для підтвердження достовірності міжнародного ідентифікаційного номера устаткування мобільної станції (IMEI). Ця база даних належить виключно до обладнання МС. База даних EIR складається зі списків номерів IMEI, організованих таким чином:

БІЛИЙ СПИСОК – містить номери IMEI, про які є відомості, що вони закріплені за санкціонованими мобільними станціями.

ЧОРНИЙ СПИСОК – містить номери IMEI мобільних станцій, які вкрадені або яким відмовлено в обслуговуванні з іншої причини.

СІРИЙ СПИСОК – містить номери IMEI мобільних станцій, у яких існують проблеми, виявлені за даними програмного забезпечення, що не є підставою для внесення до «чорного списку».

До бази даних EIR отримують дистанційний доступ MSC даної мережі, а також MSC інших рухомих мереж. Як і у випадку з HLR, мережа може мати більше одного EIR, при цьому кожен EIR управляє певними групами IMEI. До складу MSC входить транслятор, який при отриманні номера IMEI повертає адресу EIR, що управляє відповідною частиною БД про обладнання.

IWF – міжмережевий функціональний стик, є однією зі складових частин MSC. Він забезпечує абонентам доступ до засобів перетворення протоколу і швидкості передачі даних так, щоб можна було передавати їх між його термінальним устаткуванням (DIE) мережі GSM і звичайним термінальним устаткуванням фіксованої мережі. IWF також «виділяє» модем зі свого банку обладнання для з'єднання з відповідним модемом фіксованої мережі.

ЕС – ехопридушувач, використовується в MSC з боку PSTN для всіх телефонних каналів через фізичні затримки в трактах поширення, включаючи радіоканал, мереж GSM. Типовий ехопридушувач може забезпечувати придушення в інтервалі 68 мілісекунд 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, каналним кодуванням і становить близько 180 мс. Ця затримка була б непомітна рухомому абоненту, якби в телефонний канал не був включений гібридний трансформатор з перетворенням тракту з двопровідного на чотирипровідний режим, установка якого необхідна в MSC, оскільки стандартне з'єднання з PSTN є двопровідним. При з'єднанні двох абонентів фіксованої мережі ехо-сигнали відсутні.

ОМС – центр експлуатації і технічного обслуговування, є центральним елементом мережі GSM, який забезпечує контроль і управління іншими компонентами мережі та контроль якості її роботи. ОМС забезпечує функції обробки аварійних сигналів, призначених для сповіщення обслуговуючого персоналу, і реєструє відомості про аварійні ситуації в інших компонентах мережі. Залежно від характеру несправності ОМС дозволяє забезпечити її усунення автоматично або при активному втручанні персоналу. ОМС може забезпечити перевірку стану обладнання мережі та проходження виклику мобільної станції. Функція ефективного управління містить збір статистичних да-

них про навантаження від компонентів мережі GSM, запису їх в дискові файли та виведення на дисплей для візуального аналізу.

NMC – центр управління мережею, дозволяє забезпечувати раціональне ієрархічне управління мережею GSM. Він забезпечує експлуатацію і технічне обслуговування на рівні всієї мережі, підтримуваної центрами ОМС, які відповідають за управління регіональними мережами. *NMC* забезпечує управління графіком у всій мережі і забезпечує диспетчерське управління мережею при складних аварійних ситуаціях. *NMC* контролює стан пристроїв автоматичного керування, задіяних в устаткуванні мережі, і відображає на дисплеї стан мережі для операторів *NMC*. Це дозволяє операторам контролювати регіональні проблеми і, при необхідності, надавати допомогу ОМС, відповідальному за конкретний регіон. *NMC* концентрує увагу на маршрутах сигналізації і з'єднаннях між вузлами з тим, щоб не допускати умов для виникнення перевантаження в мережі. *NMC* забезпечує можливість управління графіком для мережевого обладнання підсистеми базових станцій (*BSS*). Оператори *NMC* в екстремальних ситуаціях можуть задіяти такі процедури управління, як «пріоритетний доступ», коли тільки абоненти з високим пріоритетом (екстрені служби) можуть отримати доступ до системи. *NMC* може брати на себе відповідальність в якомусь регіоні, коли місцевий ОМС є необслуговуючим, при цьому ОМС діє як транзитний пункт між *NMC* і устаткуванням мережі.

BSS – обладнання базової станції, складається з контролера БС (*BSC*) і приймально-передавальних базових станцій (*BTS*). Контролер БС може керувати декількома приймально-передавальними блоками. *BSS* управляє розподілом радіоканалів, контролює з'єднання, регулює їх черговість, забезпечує режим роботи зі стрибаючою частотою, модуляцію і демодуляцію сигналів, кодування і декодування повідомлень, кодування мови, адаптацію швидкості передачі для мови, даних і виклику, визначає черговість передачі повідомлень персонального виклику. *BSS* спільно з *MSC*, *HLR*, *VLR* виконує певні функції. *BSS* і *MSC* спільно здійснюють пріоритетну передачу інформації для деяких категорій мобільних станцій.

TCE – транскодер, забезпечує перетворення вихідних сигналів каналу передачі мови і даних *MSC* (64 кбіт/с ІКМ) до виду, відповідному рекомендаціям GSM по радіоінтерфейсу. Швидкість передачі мови, поданої в цифровій формі, складає 13 кбіт/с. Цей канал передачі цифрових мовних сигналів називається «повношвидкісним». Стандартом передбачається, в перспективі використання напівшвидкісного мовного каналу (швидкість передачі 6,5 кбіт/с). Зниження швидкості передачі забезпечується застосуванням спеціального мовоперетворюючого пристрою, що використовує лінійне предикативне кодування (*LPC*), довготривале передбачення (*LTP*), остаточне імпульсне збудження (*RPE* – іноді називається *RELTP*). *TCE* зазвичай розташовується разом з *MSC*, тоді передача цифрових повідомлень у напрямку до *BSC* ведеться з доданням до потоку зі швидкістю передачі 13 кбіт/с, додаткових бітів до швидкості передачі даних 16 кбіт/с. Потім здійснюється ущільнення з кратністю 4 у стандартний канал 64 кбіт/с. Так формується визначена Рекомендаціями GSM 30-канальна ІКМ лінія, яка забезпечує передачу 120 мовних кана-

лів. Шістнадцятий канал (64 кбіт/с), «тимчасове вікно», виділяється окремо для передачі інформації сигналізації і часто містить графік SS N7 чи LAPD. В іншому каналі (64 кбіт/с) можуть передаватися пакети даних, що узгоджувалися з протоколом X.25 МККТТ. Таким чином, результуюча швидкість передачі за вказаним інтерфейсом становить: $30 \times 64 \text{ кбіт/с} + 64 \text{ кбіт/с} + 64 \text{ кбіт/с} = 2048 \text{ кбіт/с}$.

MS – мобільна (рухома) станція, складається з устаткування, яке служить для організації доступу абонентів мереж GSM до існуючих фіксованих мереж електрозв'язку. У рамках стандарту GSM прийнято п'ять класів МС від моделі 1-го класу з вихідною потужністю 20 Вт, що встановлюється на транспортному засобі, до портативної моделі 5-го класу, максимальною потужністю 0,8 Вт. При передачі повідомлень передбачається адаптивне регулювання потужності передавача, що забезпечує необхідну якість зв'язку. Рухомий абонент і станція незалежні один від одного. Кожен абонент має свій IMSI, записаний на його інтелектуальну картку. Такий підхід дозволяє встановлювати радіотелефони, наприклад, в автомобілях, що здаються на прокат. Кожній МС також привласнюється свій міжнародний ідентифікаційний номер (IMEI). Цей номер використовується для запобігання доступу до мереж GSM викраденої станції чи станції без повноважень.

5. Контрольні запитання

1. Основні технічні характеристики стандарту GSM.
2. Структурна схема стандарту GSM.
3. Призначення і функції, що виконуються центром комутації рухомого зв'язку MSC.
4. Як саме реалізується процедура перевірки мережею дійсності абонента?
5. Призначення міжмережевого функціонального стику та ехопридушувача.
6. Які функції виконує центр експлуатації та технічного обслуговування?
7. Пояснити термін «пріоритетний доступ».
8. Склад обладнання базової станції BSS. Її призначення.
9. Характеристика транскодера TCE та мобільної станції МС.

6. Зміст звіту

1. Призначення та мета роботи.
2. Структурна схема цифрової стільникової системи рухомого радіозв'язку стандарту GSM.
3. Контрольні запитання та відповіді на них.
4. Висновок.