

УДК 621.446 (045)

DOI: 10.18372/2310-5461.37.12365

**Р. С. Одарченко**, канд. техн. наук, доц.  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0002-7130-1375  
e-mail: odarchenko.r.s@ukr.net

**Л. В. Мирутенко**, канд. техн. наук  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
orcid.org/0000-0001-8538-8996  
e-mail: lara\_1977@ukr.net

**С. Ю. Даков**,  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0001-9413-3709  
e-mail: dacov@ukr.net

**Л. О. Харлай**  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0002-1704-9316  
lkharlay@i.ua

## УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ПОБУДОВИ ОПОРНОГО СЕГМЕНТУ МЕРЕЖІ LTE

### Вступ

Основну мету розробки технології LTE можна сформулювати так: збільшити швидкості передачі даних, розширити і удосконалити надання послуг, знизити вартість передачі даних, можливість повномасштабно використовувати наявні мережеві ресурси. Основною відмінністю стандарту LTE від інших технологій мобільного зв'язку повна її побудова на базі IP-технологій.

За останніми підрахунками, мережу 4G розгорнута вже в 100 країнах світу, і доступ до неї надають 268 операторів. З 2012 р. відбулося збільшення мережі на 56 %. Останніми країнами, у яких з'явився доступ до LTE, стали Гана, Перу, Замбія і Камбоджа. У третьому кварталі 2013 р. налічувалося більше 157 млн активних користувачів високошвидкісного мобільного Інтернету. Враховуючі вищесказане, можна стверджувати, що питання впровадження мережі LTE в Україні є на сьогодні доволі актуально.

Оператор мобільного зв'язку *Vodafone* України повідомив, що почав встановлювати в ряді регіонів країни обладнання *Huawei* з підтримкою технології single RAN і підвищеною пропускну здатністю, яка може бути використана в мережах різних стандартів — 2G, 3G і 4G.

Фінальні роботи по оновленню мережі почалися з Харківської області, потім компанія встановить нове обладнання в Дніпропетровській і Чернігівській областях. Цього року *Huawei* оновить обладнання на 850 майданчиках оператора, а до кінця 2018 року новим обладнанням буде оснащена близько 3500 базових станцій, що працюють в діапазоні 1800 МГц.

При цьому оновлені майданчики запрацюють не тільки у великих містах, а й в невеликих населених пунктах [9].

Аналіз досліджень та публікацій

Учасники проекту 3GPP визначили плоску архітектуру мережі на базі IP-протоколу як частину програми розвитку архітектури системи — *System Architecture Evolution* (SAE) [3]. Призначенням архітектури LTE/SAE є ефективна підтримка будь-якої IP-послуги з погляду широкого комерційного використання [2].

Сучасні методи проектування побудови опорного сегменту мережі LTE [10, 11], не враховують можливості сучасних технологій (наприклад, гетерогенні та програмно-керовані мережі), які можливо впроваджувати в процесі побудови або проектування вже на рівні бізнес-плану [16]. У вітчизняній літературі не враховуються централізовані системи керування SDN/OpenFlow, технологія, яка дозволяє накласти централізоване керування на існуючу мобільну мережу LTE [6; 17; 18], показники якої на 50–100 % більше ніж показники класичної мережі [17].

### Постановка завдання дослідження

Тому метою даної роботи є удосконалення методу побудови опорного сегменту мережі LTE.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення таких завдань:

1. Дослідження загальних принципів побудови мережі бездротового зв'язку на основі LTE/SAE.

2. Оцінювання недоліків існуючих методів проектування.

3. Врахування технологічних, економічних, та формальних недоліків у результаті аналізу дослідження.

4. Проведення проектування опорного сегменту для обслуговування значної території на прикладі Київської області.

### **Виклад основного матеріалу дослідження. Підходи до побудови мережі LTE**

Розглядається можливість кількох способів проектування [6, 17, 18]:

1. При плануванні мережі «з нуля». Мережа розгортається в новому районі без будь-якої опори на діючі мережі (2G, 3G). Такі мережі іноді називають *stand alone* (розташовані окремо).

2. Мережа LTE будується поступово, з максимальним використанням уже наявних мереж 2G/3G (шляхом модернізації). У цьому випадку доцільно перші базові станції LTE ставити там, де мережа 3G/2G не справляється з обслуговуванням трафіку і вирішувати проблеми не покриття, а, перш за все, нарощування ємності (пропускну спроможність) мережі. Поступово таких хот-спотів стає більше, поки вони не замінять у великих містах і в ряді інших місць покриття 3G/2G. Для клієнта має виглядати так, що якщо він виходить із зони покриття LTE, його пристрій все ще має можливість залишатися он-лайн за рахунок мереж 3G/2G. Такий підхід демонструє, наприклад, *TeliaSonera* (Норвегія).

3. Мережа LTE будується з використанням інфраструктури наявної мережі 3G за рахунок заміни базових станцій 3G/HSPA (або програмного забезпечення в них) на LTE і відповідним посиленням транспортної інфраструктури (шляхом модернізації).

Це коштовне рішення, що потребує чималих одномоментних інвестицій.

4. Створюється єдиний на всю країну оператор LTE. Він може створюватися по 1 або 3 підходу, якщо є така можливість і фінансування. Всім іншим існуючим операторам забезпечується можливість продажу послуг цього «транспортного оператора». Тут є ряд мінусів: не готове законодавство, незадіяний механізм конкуренції, а значить, собівартість проекту і ціни на його послуги можуть виявитися занадто високими, немає стимулів до розвитку.

5. Спільне будівництво мереж LTE декількома операторами. Держава видає ліцензії і частоти

з умовою, що кожна така ліцензія або деякі з них призначені для спільного використання двома або більшою кількістю операторів. Такі приклади є за кордоном. Наприклад, видані «здвоєні» ліцензії в Польщі (спільне підприємство операторів PTK (Orange) і P4 (Play), у Швеції (спільне підприємство операторів Tele2 Sweden і Telenor) та ін. [4].

Проаналізувавши вище наведені способи побудови мережі LTE, дійшли висновку, що краще в Україні є мережа LTE, що будується з використанням інфраструктури наявної мережі 3G за рахунок заміни базових станцій 3G/HSPA (або програмного забезпечення в них) на LTE і відповідним посиленням транспортної інфраструктури (шляхом модернізації).

Оскільки оператори в Україні вже використовують технологію 3G/HSPA та планують робити модернізацію до 4G.

Основні недоліки існуючих методів не враховують існуюче обладнання мережі та вкладання в побудову інфраструктури яка вже вважається застарілою недоцільно.

Тому саме мережі 3G за рахунок заміни базових станцій 3G/HSPA (або програмного забезпечення в них) на LTE і відповідним посиленням транспортної інфраструктури (шляхом модернізації).

З технологічних недоліків це розподіл частотного простору, в Україні частоти розподілені між операторами, тому розподіл який запропонований іншими методами та опитом закордонних операторів, для наших операторів не є оптимальними.

Ряд мінусів на деякі методи, не готове законодавство, незадіяний механізм конкуренції, а значить, собівартість проекту і ціни на його послуги можуть виявитися занадто високими, немає стимулів до розвитку.

### **Опис архітектури**

Управління абонентськими сесіями і послугами в мережах LTE здійснюється за допомогою опорної пакетної мережі EPC (Evolved Packet Core).

Кожна базова станція eNB віддає трафік комутатору за допомогою оптоволоконної лінії передачі за стандартом «Gigabit Ethernet 1000 BASE-LX» (IEEE 802.3z). До комутатора підключаються базові станції. Від комутаторів мережевий трафік надходить до маршрутизатора.

До одного маршрутизатора підключаються комутатори. З'єднання між ними здійснюється за допомогою оптоволоконної лінії передачі за стандартом «10 Gigabit Ethernet 10 BASE-ER» (IEEE 802.3 ae).

Після чого мережевий трафік надходить до мережі EPC LTE. З'єднання між маршрутизатором також здійснюється з допомогою оптоволоконної лінії зв'язку за стандартом «10 Gigabit Ethernet 10 BASE-ER» (IEEE 802.3ae). Мережа EPC LTE виконує такі функції, як управління мережею, організація абонентської сесії, управ-

ління послугами, здійснення тарифікації і з'єднання через певні інтерфейси і шлюзи з зовнішніми мережами: 2G, 3G, яку не-3GPP, Internet, ISDN, IMT. Весь мережевий трафік віддається по IP-протоколу.

Вищевказаний опис архітектури транспортної мережі зображений на схемі (рис. 1).

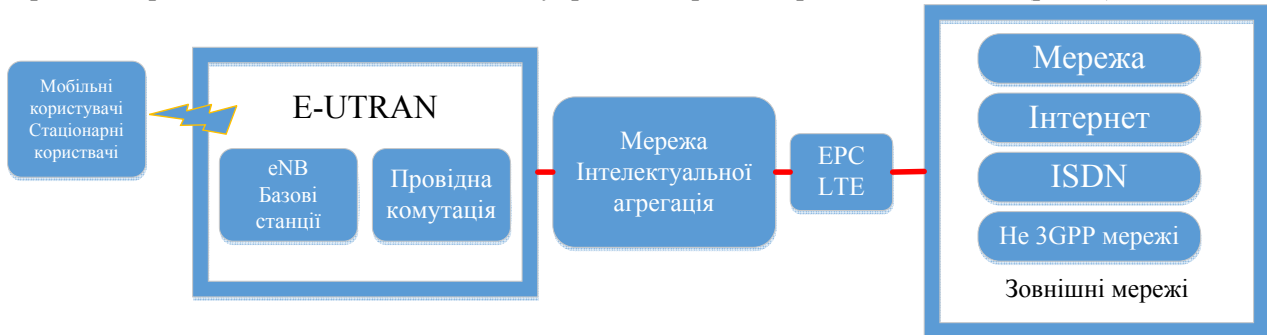


Рис. 1. Архітектура транспортної мережі

**Опис стандартів Ethernet**, що використовуються в організації зв'язку проєктованої мережі:

- 1000 BASE-LX — стандарт, який використовує одномодове оптичне волокно; дальність проходження сигналу без повторювача залежить від типу використовуваних прийомопередатчиків і становить від 5 до 60 км. Швидкість передачі даних до 1 Гбіт / с;

- 10 GBASE-ER — стандарт, який використовує одномодове оптичне волокно; дальність проходження сигналу до 50 км. Швидкість передачі даних до 10 Гбіт/с.

### Планування мереж LTE

При плануванні мережі LTE доцільно дотримуватися загальноприйнятої часової і логічної послідовності дій:

1. Отримання вихідних даних.
2. Калібрування математичної моделі розповсюдження радіохвиль на основі вимірів напруженості поля в найбільш характерних точках зони покриття мережі.
3. Побудова мережі початкового наближення.
4. Прив'язання ділянок розгортання базових станцій, визначених планом побудови (мережі початкового наближення) до місцевості.
5. Ітеративна оптимізація мережі при широкому використанні засобів програмного забезпечення, що підтримують функції синтезу мережі та аналізу експлуатаційних характеристик.

Першим кроком є побудова першого наближення. Завдання побудови початкового наближення мережі LTE можна сформулювати таким чином:

при заданій смузі частот потрібно визначити просторові параметри мережі (кількість базових станцій та розміри їх зон обслуговування) за

умови, що пікові швидкості передачі даних по лінії «униз» і лінії «угору» максимальні, а кількість базових станцій у складі мережі не перевищує допустимого значення. Іншим варіантом може бути рішення задачі мінімізації кількості базових станцій у складі мережі за заданих значень пікових швидкостей передачі даних по лінії «униз» і лінії «угору». Складність завдань побудови початкового наближення мережі LTE не дозволяє знайти пряме рішення. При побудові початкового наближення стільникової мережі з ортогональним частотним поділом каналів будемо вважати, що:

1. Щільність абонентів на території обслуговування мережі постійна, а розподіл абонентів по території рівномірний.
2. Розміри всіх стільників мережі одні й ті ж.
3. Морфоструктура місцевості однотипна (відкрита місцевість, приміський район або міська забудова).

Для підвищення точності побудови початкового наближення мережі всю територію обслуговування необхідно умовно розбити на фрагменти, де сформульовані вище допущення можна вважати прийнятними. Таким чином, на етапі побудови початкового наближення вся мережа декомпонується на однорідні фрагменти, стосовно до яких перебуває розподіл базових станцій по зонах обслуговування, параметри базової мережі і розподіл частотного ресурсу.

Виходячи зі сформульованих вище обмежень, мережа має регулярну однорідну структуру, тобто вузли eNB видалені між собою на однакову відстань, технічні характеристики і кількість прийомопередавачів, а також висоти підвісу антен, азимуту і кути нахилу однакові для всіх eNB.

Для побудови мережі початкового наближення потрібно досить великий набір вихідних даних, достовірність яких може суттєво вплинути на адекватність прийнятого рішення. На цьому етапі проводиться оцінка бюджету втрат — показника, що характеризує допустимі втрати в радіолінії для заданого стандарту стільникового мобільного зв'язку.

Таким чином, послідовність кроків планування опорного сегменту мережі LTE має такий вигляд.

Побудова первинного наближення радіосегменту. *Максимально допустимі втрати при поширенні в каналі рівні* [19]:

$$L = P_{TX} + G_{TX} - P_{RX} - B_{BODY} + G_{RX} - B_{fid} - IM - L_{slow}, \quad (1)$$

де  $P_{TX}$  — потужність передавача;  $G_{TX}$  — коефіцієнт посилення передавальної антени;  $P_{RX}$  — чутливість приймача;  $B_{BODY}$  — втрати в тілі абонента;  $G_{RX}$  — коефіцієнт посилення приймальної антени;  $B_{fid}$  — втрати у фідері;  $IM$  — запас по інтерференції;  $L_{slow}$  — запас на повільні завмирання.

У ході побудови мережі початкового наближення також проводиться:

1. Визначення просторових параметрів мережі.
2. Оцінка параметрів базових станцій.
3. Оцінка пропускної здатності при заданому профілі трафіку.
4. Частотное планування.

Тому вважаємо, що побудова мережі LTE доцільно за аналогією з мережами GSM здійснювати на основі стільникових кластерів (англ. *Cell cluster*). У цьому випадку потрібно визначитися з типом частотного кластера і після його вибору мережу стільникового зв'язку будують, повторюючи одні й ті самі частотні кластери в межах зони покриття мережі. Критерієм при виборі частотного кластера є виконання вимог щодо допустимого відношення сигнал/перешкода (с/п). Як перешкоди в даному випадку розглядаються перешкоди абонентським станціям, які створюють базові станції сусідніх кластерів, що працюють на повторюваних частотах. Імовірність невиконання вимог по допустимому відношенню сигнал/перешкода в точці прийому  $p(C)$  оцінює стійкість зв'язку при переміщенні рухомого абонента в зоні обслуговування мережі. Зазвичай ймовірність  $p(C)$  приймають рівною 0,1...0,15. При побудові частотного кластера в мережах GSM використовується жорстке призначення груп частот в стільниках (секторах) базових станцій, що належать до складу частотного кластера.

При цьому, технологія LTE на відміну від технології GSM забезпечує кожній базовій станції мережі можливість вибірково виділяти смуги частот і потужність користувачам залежно від їх розташування в стільнику. При цьому можуть використовуватися різні моделі повторного використання смуг частот і, відповідно, з'являється можливість максимізувати пропускну здатність стільника при виконанні вимог до якості радіозв'язку в умовах обмежених ресурсів базової станції.

### Побудова опорного сегменту мережі LTE

Опорний сегмент мережі LTE доцільно будувати за такою послідовністю дій:

1. Розрахувати пропускну здатність каналів радіомережі.

$$C_{1аб} = \Delta F \beta, \quad (2)$$

де  $\Delta F$  — ширина каналу;  $\beta$  — спектральна ефективність каналу;

2. Розрахувати початкове наближення пропускної спроможності мережі LTE для кожного eNB, при цьому, виходячи з таких умов:

$$\begin{cases} C_{тр.мер} \geq \sum_{i=1}^{N_{аб}} C_{1аб} = N_{аб} C_{аб}; \\ C_{ком} \geq \sum_{i=1}^{N_{кан}} C_{тр.мер} = N_{кан} C_{тр.мер}; \\ C_{агр} \geq \sum_{i=1}^{N_{ком}} C_{ком} = N_{ком} C_{ком}, \end{cases} \quad (3)$$

де  $C_{тр.мер}$  — пропускна здатність транспортної мережі;  $C_{1аб}$  — виділений канал на 1 абонента;  $C_{ком}$  — пропускна здатність комутаторів;  $C_{агр}$  — пропускна здатність інтелектуальної агрегації;  $N_{аб}$  — кількість абонентів;  $N_{кан}$  — кількість каналів;  $N_{ком}$  — кількість комутаторів

3. Обрання обладнання. Обираючи обладнання транспортної мережі, потрібно керуватися особливостями технології LTE. Отже, щоб обладнання задовольняло критерію «ціна–якість», відповідало вимогам надійності, було достатньо ефективним, гнучким, компактним, багатофункціональним.

4. А найголовніше – надійність, тобто стабільна та постійна передача даних користувачів згідно з розрахованою пропускною здатністю мережі LTE (табл. 1).

Таблиця 1

## Пропускна здатність комплексів бездротової мережі

Елементи мережі	Пропускна здатність	Кількість елементів	Пропускна здатність
Абонентські прилади	$C_{1ab}$	$N_{ab}$	$C_{1ab} = \Delta F \beta$ ,
eNB	$\geq \sum C$	$N_{eNB}$	$C_{eNB} \geq \sum C$
Комутація	$\geq C_{eNB}$	$N_{ком}$	$C_{ком} \geq \sum_{i=1}^{N_{ком}} N_{кан} C_{тр.мер}$ ,
Рівень агрегації	$\geq C_{agr}$	$N_{agr}$	$C_{agr} \geq N_{ком} C_{ком}$ .

Реалізувати транспортну мережу проекрованої мережі LTE можна використовуючи оптоволоконні лінії передачі за технологією Ethernet. У технології Ethernet (стандарт IEEE 802.3) [7] визначено такі швидкості: Ethernet на швидкості 10 Мбіт/с, FastEthernet на швидкості 100 Мбіт/с, GigabitEthernet на швидкості 1 Гбіт/с і 10 GigabitEthernet на швидкості 10 Гбіт/с. Швидкості в 1 і 10 Гбіт/с задовольняють проектовану транспортну мережу. До найбільших систем Ethernet можна віднести широку масштабованість і максимальну наближеність до стека протоколів IP.

Вартість обладнання

## Вартість обладнання

Для організації передавання даних за технологією LTE потрібно вибрати два типи транспортного обладнання:

1. Транспортне обладнання мережі радіодоступу.
2. Транспортне обладнання інтелектуальної агрегації.

Приклад вибору такого обладнання показано в табл. 2.

Таблиця 2

## Вартість обладнання транспортної мережі LTE

Мережевий елемент	Нел	Модель	Загальна вартість
eNB	$N_{eNB}$	Наз.1., наприклад:	$PrNeNBPr1$
Комутація	$N_{ком}$	Наз.2., наприклад:	$PrN Ком Pr2$
Рівень агрегації	$N_{agr}$	Наз.3., наприклад:	$PrN agr Pr3$
Загальна вартість обладнання			Pr total

## Побудова транспортного сегменту мережі LTE Київської області

Вихідними даними для моделі є:

Частотно-територіальне планування та розміщення базових станцій eNB на території Київської області;

Територія Київської області складає 28 131 км<sup>2</sup>, потужність кожного передавача – 40 Вт;

1. Висота підвісу антени — 30 метра;

2. Кількість прийомопередавачів TRX — 3 (по одному на кожний сектор);

3. Системна полоса для одного сектора — 20 МГц (10 МГц для лінії «угору» та 10 МГц для лінії «униз»);

4. Лінія «униз» підтримує технологію MIMO 2×2;

5. Пропускна здібність: лінія «униз» — 87,9 Мбит/с, лінія «угору» — 37,6 Мбіт/с.

Згідно розрахованої ємності мережі, визначення зон радіопокриття, для організації широкопосмугового доступу за технологією LTE в Київській області потрібно

## Аналіз радіопокриття

Аналіз радіопокриття починають з обчислення максимально допустимих втрат на лінії (МДВ).

Максимально допустимі втрати розраховують як різницю між еквівалентною ізотропною випромінюваною потужністю передавача (ЕІВП) і мінімально необхідною потужністю сигналу на вході приймача сполученого боку, при якій з урахуванням всіх втрат в каналі зв'язку забезпечується нормальна демодуляція сигналу в приймачі.

Принцип розрахунку МДВ показаний на рис. 2.

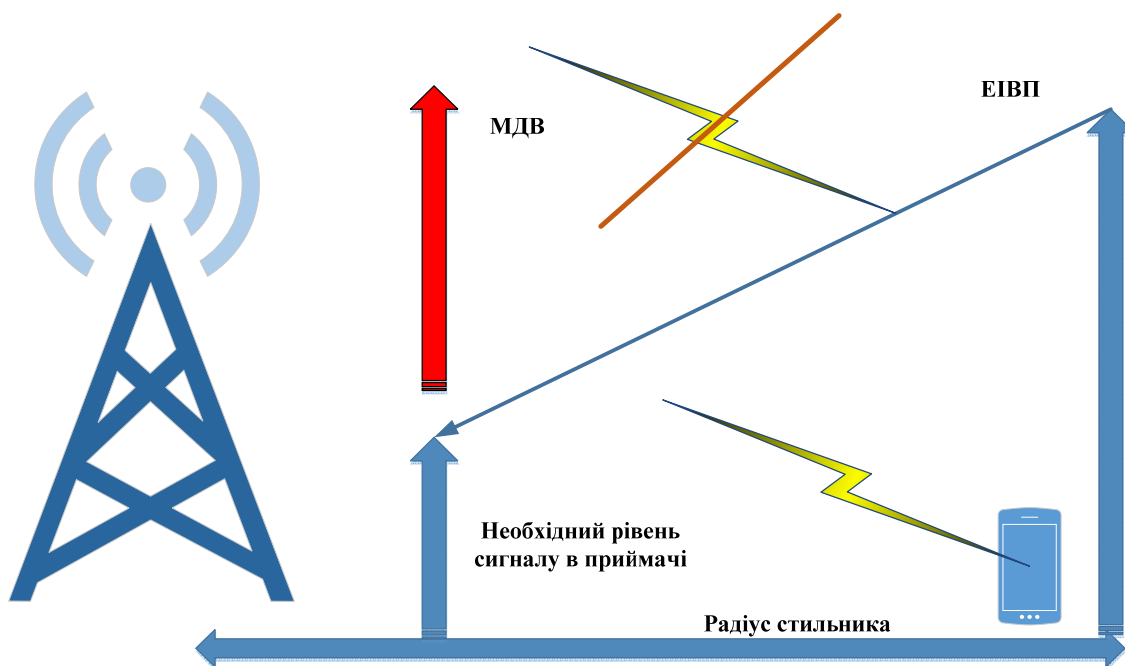


Рис. 2. Принцип розрахунку МДВ

Таблиця 3

Отримані результати записані у таблиці

Клас місцевості	Щільна забудова	Середня щільність	Рідка щільність	Всього
Місцевості	20	40	40	100
Площа, км <sup>2</sup>	5625	11252	11253	28130
Втрати на проникнення в будівлю, дБ	20	17	12	
МДП, дБ	126,3	127	127,4	
Радіус БС, км	0,77	5,63	7,8	
Кількість БС	4726	178	122	5026

Таблиця 4

Приклад розрахунку обладнання транспортної мережі LTE

Мережевий елемент	Нел	Модель	Загальна вартість (грн)
eNB	1.5026 2.5026 3.315	1. Базова станція NokiaSiemensNetwork 2. Антена секторна MIMO«Cisco ME 3.3600X 24CX	1.015·10 <sup>9</sup>
Комутація	21	CiscoASR 5000 PCS3	1.512·10 <sup>9</sup>
Рівень агрегації	21	«ASR 1013 Router	2.835·10 <sup>6</sup>
Загальна вартість обладнання			1,033·10 <sup>9</sup>

Для місцевості з високою щільністю перешкод радіус соти становить 630 м.

Для приміської місцевості радіус соти становить 1700 м.

Розраховую площу  $S_{eNB}$  покриття три секторного сайту за формулою:

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} d^2. \tag{4}$$

Для місцевості з високою щільністю перешкод:

$$S_{eNB} \approx 0,774 \text{ км}^2.$$

Для приміської місцевості:

$$S_{eNB} \approx 5,63 \text{ км}^2.$$

Для місцевості з малою кількістю перешкод:

$$S_{eNB} \approx 7,8 \text{ км}^2.$$

На рис. 3 показано схематичне зображення розміщення базових станцій eNB, де кожен сектор зображується окремим кольором.

Згідно зробленого вибору транспортного обладнання було складено схему організації зв'язку транспортної мережі.

Схема організації зв'язку транспортної мережі показана на рис. 3, 4.

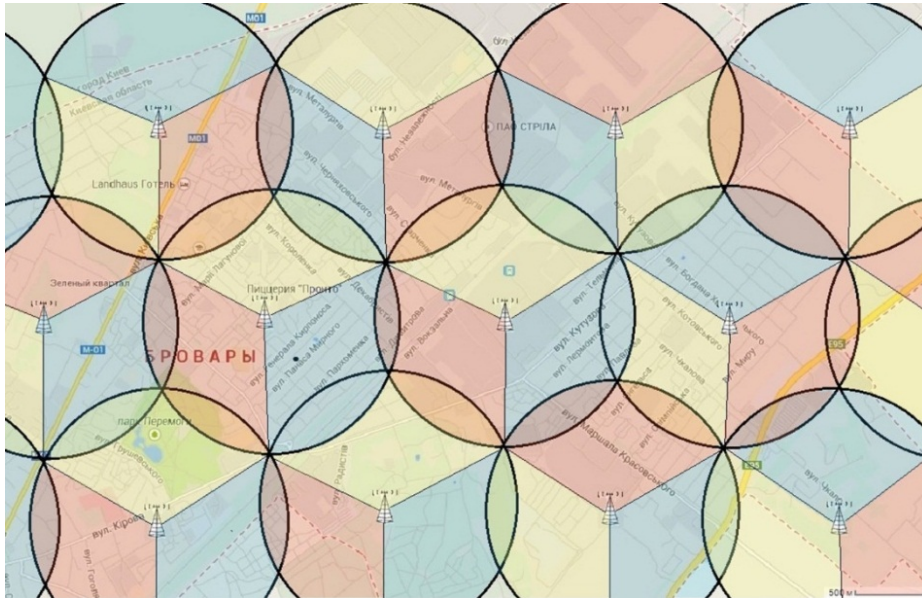


Рис. 3. Частотно-територіальне ділення та ситуаційне розміщення базових станцій eNB в місті Бровари

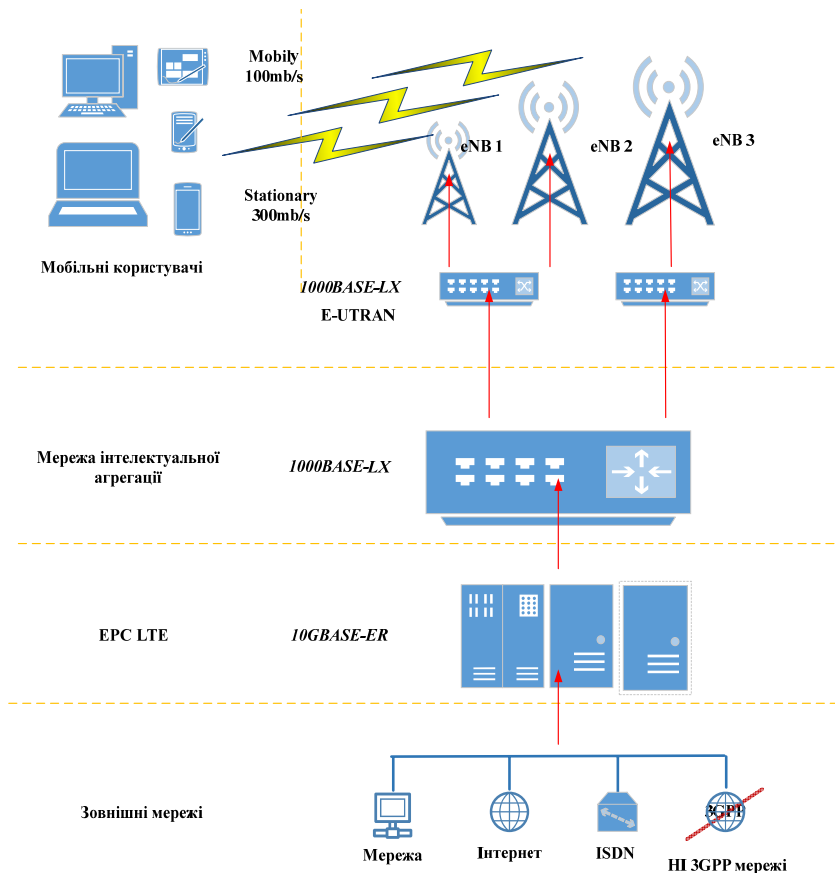


Рис. 4. Схема організації зв'язку транспортної мережі

Кожна базова станція eNB віддає трафік комутатору «Cisco ME 3600 X 24 CX» за допомогою оптоволоконної лінії передачі за стандартом «Gigabit Ethernet 1000 BASE-LX» (IEEE 802.3z). До комутатора «Cisco ME 3600 X 24 CX» підключаються 16 базових станцій. Комутатор «Cisco ME 3600 X 24 CX» розміщується безпосередньо в приміщенні для розміщення обладнання базової станції.

Від комутаторів «Cisco ME 3600 X 24 CX» мережевий трафік надходить до маршрутизатора «Cisco ASR 1013», який розміщується на одному з об'єктів зв'язку мобільної компанії. До одного маршрутизатора «Cisco ASR 1013» підключається 15 комутаторів «Cisco ME 3600 X 24 CX». З'єднання між «Cisco ME 3600 X 24 CX» і «Cisco ASR 1013» здійснюється за допомогою оптоволоконної лінії передачі за стандартом «10 Gigabit Ethernet 10 BASE-ER» (IEEE 802.3 ae).

Після чого мережевий трафік надходить до мережі EPC LTE, яка реалізована за допомогою мультисервісної платформи «Cisco ASR 5000 PCS3» і розміщується на одному з об'єктів зв'язку мобільної компанії. З'єднання між маршрутизатором «Cisco 7603 OSR» і платформою «Cisco ASR 5000 PCS3» також здійснюється за допомогою оптоволоконної лінії зв'язку за стандартом «10 Gigabit Ethernet 10 BASE-ER» (IEEE 802.3ae). Мережа EPC LTE виконує такі функції, як управління мережею, організація абонентської сесії, управління послугами, здійснення тарифікації і з'єднує через певні інтерфейси і шлюзи з зовнішніми мережами: 2G, 3G, яку не-3GPP, Intranet, ISDN, IMT. Весь мережевий трафік віддається по IP-протоколу.

Побудова мережі LTE в Київській області потребує вкладення істотних грошових коштів, тому будівництво мережі буде розумніше реалізувати в два етапи. Перший етап реалізує одну частину мережі. Надалі, при отриманні доходів від надання послуг зв'язку можна буде розпочати другий етап, у процесі реалізації якого будуть побудовані об'єкти, що залишилися проектованої мережі.

Капітальні вкладення і введення в експлуатацію нового обладнання складаються з наступних складових:

- вартість обладнання;
- встановлення та монтаж обладнання;
- вартість будівельно-монтажних робіт (БМР);
- транспортні витрати.

Вартість установки і настройки обладнання розраховується у відсотках від підсумку вартості мережевого обладнання. Тара та упаковка складають 0,5 %, транспортні витрати — 4 %, заготівельно-складські витрати — 1 % від вартості

обладнання. Вартість неврахованого устаткування — 10% від загальної вартості обладнання.

Загальні капітальні вкладення на організацію мережі зв'язку становлять  $K = 1,127 \cdot 10^9$  грн [5]

### Висновок

Було проаналізовано методи побудови опорного сегменту такі як, планування мережі «з нуля», поступова модернізація вже наявних мереж 2G/3G, з використанням інфраструктури наявної мережі 3G за рахунок заміни базових станцій 3G на LTE, створення єдиного на всю країну оператора LTE та спільне будівництво мереж LTE декількома операторами. В даному проекті було прийнято рішення будувати мережу «з нуля». Було розглянуто алгоритм планування мереж LTE. Важливим аспектом мережі LTE є використання технології MIMO, яка дозволяє значно поліпшити спектральну ефективність системи, максимальну швидкість передачі даних і ємність мережі.

Проаналізовано методи планування мобільної мережі LTE. Визначено оптимальний метод побудови опорного сегменту мережі. Розроблено алгоритм впровадження. Врахована вартість обладнання розраховано впровадження опорного сегменту в об'єкт Київської області м. Бровари. Розраховано вартість мережевого обладнання. Аналіз технології, її особливостей, загальних принципів побудови на основі LTE/SAE мережі бездротового зв'язку, а саме проектування опорного сегменту для обслуговування великої території. Можливості як модернізації так і побудови мережі з нуля.

Проведено вибір обладнання для реалізації мережі. Як устаткування радіодоступу запропоновано використовувати базову станцію «FlexiMultiradio», яка встановлена і функціонує у більш ніж 200 операторів мобільного зв'язку в світі. Як транспортне обладнання мережі радіодоступу — комутатор «Cisco ME 3600 X 24CX». Дана модель оснащена апаратним прискоренням, високою продуктивністю, низькими затримками і підходить за всіма технічними параметрами. Як транспортне устаткування інтелектуальної агрегації вирішено використовувати Маршрутизатор Cisco ASR 1013, який має високу надійність, швидкість і можливість модульної компоновки. Найвища гнучкість і продуктивність вбудованого процесора Cisco ASR 1000 забезпечує безпеку мережі, оптимізацію мережевого трафіку, та інші додаткові функції без необхідності підключення додаткового обладнання. Рішення з реалізації мережі EPC LTE так само розроблені компанією «Cisco Systems». Маршрутизатор «ASR 5000 PCS3» спеціально розроблений для мобільних широкосмугових мереж.



Розраховані загальні капітальні вкладення на організацію мережі зв'язку і становлять 2105192205 грн.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Особливості впровадження мереж LTE/ Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка // Н. В. Рвачова, Постанова № 1-05/4 від 14.10.2009; Бюлетень ВАК України, № 4, 1999 р. Наказ МОН України від 06.11.2014 № 1279.
2. PierreLescuyer, Thierry Lucidarme John Wiley & Sons, 2008. — 350 р.
3. SAE/[електронний ресурс] — електронні текстові дані. — Режим доступу: <http://www.3gpp.org/more/>
4. TELE2 / [електронний ресурс] — електронні текстові дані. — Режим доступу: <http://www.tele2.com/>
5. Calculation of cost SDN and classical IP network for operator class Odarchenko Roman, Dakov Serhii, Dakova Larisa.
6. Моделювання роботи overlay мереж SDN та дослідження їх основних характеристики / Р. С. Одарченко, С. Ю. Даков, В. В. Поліщук, А. М. Тирсенко // Наукоємні технології № 3 (31), НАУ. — 2016. — С. 284.
7. IEEE 802.3 [електронний ресурс] — електронні текстові дані. — Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.3](https://uk.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.3).
8. Cisco/[електронний ресурс] — електронні текстові дані. — Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Cisco>
9. Vodafone Украина начал готовить сеть к запуску 4G, до конца следующего года новое LTE-оборудование получат 3500 базовых станций оператора / [електронний ресурс] — електронні текстові дані. — Режим доступу : <https://itc.ua/news/vodafone-ukraina-nachal-gotovit-set-k-zapusku-4g-dokontsa-sleduyushhego-goda-novoe-oborudovanie-poluchat-3500-bazovyih-stantsiy-operatora>.
10. Побудова мережі мобільного зв'язку LTE у солом'янському районі м. Києва / А. С. Лисенко // Науково-практична конференція, «Захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах», НАУ. — 3–6 червня 2013 р.
11. Указ Президента України від 21.07.2015 № 445 «Про забезпечення умов для впровадження системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління» / Офіційний вісник Президента України від 05.08.2015–2015 р., № 17. — С. 14.
12. Стандарти 2G, технология GSM / [електронний ресурс]. — електронні текстові дані. — Режим доступу: <http://prointer.net.ua/blog/standarty-2g-tehnologiya-gsm/>
13. Скрипин В. Глава НКРСИ: 4G в Украине появится не раньше 2016 года [електронний ресурс]. — електронні текстові дані. — Режим доступу: <http://itc.ua/news/glava-nkrsi-4g-v-ukraine-poyavitsya-ne-ranshe-2016-goda/>
14. Mininet. An Instant Virtual Network on your Laptop (or other PC) [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <http://mininet.org/>.
15. Недоліки технології SDN та рекомендації по їх усуненню / Науково-технічна конференція «проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху sns/atm, // Р. С. Одарченко, С. Ю. Даков, НАУ, 23 листопада 2017 року. — С. 42.
16. Варіанти оптимізації підсистеми базових станцій / Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті // Р. С. Одарченко, О. О. Полігенько, 16–17 листопада, 2017.
17. Метод проектування SDN мережі операторського класу / Наукоємні технології // Р. С. Одарченко, С. Ю. Даков. № 4 (36), НАУ, 2016. — С. 289.
18. Теорія і практика управління використанням радіочастотного ресурсу: навч. посібник / за ред. д-ра техн. наук, проф. В. Г. Кривуци та Т. М. Наритника. — К. : ДУІКТ, 2012.

**Одарченко Р. С., Даков С. Ю., Мирутенко Л. В.**

### УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ПОБУДОВИ ОПОРНОГО СЕГМЕНТУ МЕРЕЖІ LTE

*Проведено аналіз технології LTE, її особливостей, загальних принципів побудови на основі LTE/SAE мережі бездротового зв'язку, а саме проектування опорного сегменту для обслуговування великої території. Були розглянуті можливості як модернізації так і побудови мережі з нуля. Для цього в роботі було проаналізовано методи планування мобільної мережі LTE. Визначено оптимальний метод побудови опорного сегменту мережі, в якому враховано вартість обладнання для розрахунку вартості розгортання опорного сегменту. Виконано моделювання побудови опорного сегменту для мережі LTE в Київській області. Розраховано вартість мережевого обладнання для цього варіанту планування.*

**Ключові слова:** LTE — Long Term Evolution; SAE — Society of Automotive Engineers; eNB — eNodeB; EPC — The Evolved Packet Core

**Roman Odarchenko, Serhii Dakov, Larisa Mirrtenko**

## **IMPROVED METHOD OF BUILDING LTE NETWORK SECURITY SEGMENT**

*The paper analyzes LTE technology, its features, general principles of construction on the basis of LTE / SAE wireless communication network, namely the design of a reference segment for maintenance of a large area. Were considered the possibilities of both modernization and network construction from scratch. For this purpose, LTE mobile network planning methods were analyzed. The optimal method of constructing a reference segment of the network is determined, which takes into account the cost of equipment for calculating the cost of deployment of the reference segment. The simulation of building a reference segment for the LTE network in the Kyiv region was performed. The cost of network equipment for this planning option is calculated.*

**Keywords:** LTE — Long Term Evolution; SAE — Society of Automotive Engineers; eNB — eNodeB; EPC — The Evolved Packet Core

**Одарченко Р. С., Даков С. Ю., Мирутенко Л. В.**

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОПОРНЫХ СЕГМЕНТОВ СЕТИ LTE**

*В работе был проведен анализ технологии LTE, ее особенностей, общих принципов построения на основе LTE / SAE сети беспроводной связи, а именно проектирование опорного сегмента для обслуживания обширной территории. Были рассмотрены возможности, как модернизации, так и построения сети с нуля. Для этого в работе были проанализированы методы планирования мобильной сети LTE. Определен оптимальный метод построения опорного сегмента сети, в котором учтена стоимость оборудования для расчета стоимости развертывания опорного сегмента. Выполнено моделирование построения опорного сегмента для сети LTE в Киевской области. Рассчитана стоимость сетевого оборудования для этого варианта планирования.*

**Ключевые слова:** LTE — Long Term Evolution; SAE — Society of Automotive Engineers; eNB — eNodeB; EPC — The Evolved Packet Core.

Стаття надійшла до редакції 15.02.2018 р.

Прийнято до друку 15.02.2018 р.

Рецензент — д-р техн. наук, проф. Мачалін І. О.