

## ***Телекомунікації, радіолокація, радіонавігація та електроакустика***

---

УДК 628.440.22

### **ОЦІНКА ВПЛИВУ РЕТРАНСЛЯТОРА НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ LTE СТІЛЬНИКА**

***Воропаєва В. Я., к.т.н., доц., Юшкевич Ю. О., магістрант  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк,  
Україна, [voropayeva@donntu.edu.ua](mailto:voropayeva@donntu.edu.ua)***

#### **ESTIMATION OF THE LTE RELAY INFLUENCE ON THE CELL**

***Voropayeva V. Ya., Yushkevich Y.  
Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine***

#### **Постановка проблеми**

Невпинний розвиток інформаційних технологій призводить до щорічного зростання обсягів трафіку і вимог до інфокомунікаційних мереж. Це стимулює розробку нових технологій, які в змозі задовольнити сучасні потреби абонентів. На сучасному етапі розвитку світових телекомунікаційних технологій в області мобільного зв'язку актуальними є розробка і впровадження стандартів четвертого покоління (4G), які забезпечують більш високу швидкість передачі даних, і, відповідно, підвищення якості послуг, при загальному зниженні видатків на експлуатацію телекомунікаційного обладнання. Однією з найбільш актуальних технологій є Long Term Evolution (LTE), яка є розвитком мереж UMTS третього покоління. Наразі існує стандарт 3GPP LTE-Advanced, який є покращенням стандарту LTE та офіційним бездротовим стандартом зв'язку 4-го покоління. Для більш ефективного планування мережі у стандарті LTE-Advanced з'явилися ретранслятори (Relay Node, RN) [1]. Коли у мережі LTE дані передаються у напрямку від мобільної станції (МС) до базової станції (БС), можуть виникнути проблеми, пов'язані з тим, що потужність передачі МС обмежена потужністю її акумулятора. Якщо абонент знаходиться, наприклад, на межі стільника, швидкість передачі даних у каналі Uplink (UL) може бути дуже низькою. Один із варіантів вирішення цієї проблеми — використання проміжної БС, яка підсилюватиме сигнал від МС і передаватиме його далі. Цей принцип і називається ретрансляцією, а проміжна БС — ретранслятором. Використання ретранслятора замість звичайної БС передбачає деякі переваги. Оскільки ретранслятор не розподіляє ресурси і не взаємодіє з опорною мережею, він є простішим і, відповідно, дешевшим пристроєм, ніж БС. До того ж, встановлювати ретранслятор легше, ніж БС, достатньо з'єднання з мережею електричного живлення. При встановленні ретранслятора виникає питання щодо його оптимального розташування. Отже, визначення оптимального місця встановлення ретранслятора в ме-

жах стільника LTE мережі та оцінка його впливу на роботу стільника є актуальною і важливою науково-прикладною задачею. Оптимізацію розташування ретранслятора доцільно проводити за параметром наданої абонентові пропускної здатності у висхідному напрямку, яка напряму залежить від кількості виділених ресурсних блоків (РБ). РБ – група з дванадцяти піднесучих частот тривалістю в один часовий слот.

### **Вибір оптимального місця розташування ретранслятора**

Існує кілька шляхів впровадження ретрансляції в мережі. Тут буде розглянуто один стільник LTE і один ретранслятор типу I (внутрішньосмуговий напівдуплексний) [2], для якого розраховується оптимальне місце встановлення. Для умов густонаселеного міста розраховане значення радіусу стільника складає 400 м (для часового дуплексу (Time Division Duplex, TDD), конфігурації кадру 2, ширини частотної смуги 10 МГц). Для розрахунку радіусу стільника використано модель розповсюдження радіохвиль для міської макромережі COST231 Hata з 3GPP TS 25.996 v9.0.0 [3]. Розраховане значення максимально допустимих втрат складає 124,05 дБ, коефіцієнт втрат при розповсюдженні сигналів  $\alpha = 3,53$  (для міських умов).

Схема планування використовує алгоритм Fair Work Conserving (FWC) [4, 5]. Потужність МС 200 мВт (23 дБм). Ширина частотної смуги 10 МГц, що відповідає 50 ресурсним блокам [6]. Розмір файлу, який передає МС, 1 Мб. Абоненти підключаються до стільника зі швидкістю  $\lambda$ , яка може змінюватися.

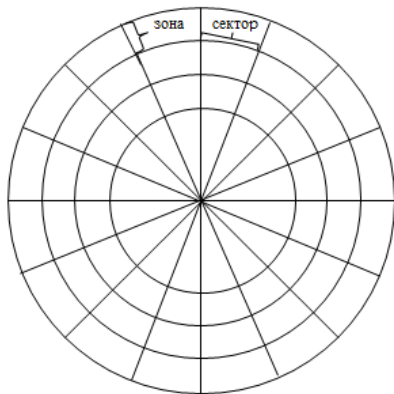


Рис. 1 — Модель стільника

Модель стільника показано на рисунку 1. Для спрощення розрахунків стільник поділено на частини — зони і сектори. Перетин зони і сектора – геометричний сектор.

МС розташовано в геометричних секторах. Щоб мати можливість використовувати рівномірний розподіл для розташування МС, всі геометричні сектори мають однакову площу.

Радіус зони  $x$  прийнято рівним  $r_x$ . Радіуси зон розраховують наступним чином:

$$\int_{r_x}^{r_{x+1}} 2\pi r dr = C, \quad (1)$$

де  $r_0 = 0$ , м;  $C$  — площа однієї зони,

$$\pi r^2 \Big|_{r_x}^{r_{x+1}} = C \quad (2)$$

$$\pi r_{x+1}^2 - \pi r_x^2 = C$$

З формули (2):

$$r_{x+1} = \sqrt{\frac{C}{\pi} + r_x^2} \quad (3)$$

Щоб отримати значення  $C$ , площі однієї зони, треба розділити площу стільника на загальну кількість зон ( $Z_{total}$ ):

$$C = \frac{\pi r_{cell}^2}{Z_{total}} \quad (4)$$

Розрахунок для стільника радіусу 400 м, поділеного на 10 зон наведено в таблиці 1

Для прийняття мобільною станцією рішення, до чого слід підключитися — до БС чи до ретранслятора, треба визначити, яка зі станцій забезпечує вищу швидкість передачі даних. Швидкість передачі є функцією, яка залежить від відстані між МС та БС або ретранслятором. Також треба враховувати, що трафік абонента, який обслуговується ретранслятором, спочатку передається на ретранслятор, а потім на БС. БС розташовано в центрі стільника, ретранслятор також має певні координати (зона та сектор) (див. рис. 2). Якщо відома відстань між МС та БС і між БС та ретранслятором, можна розрахувати швидкість передачі даних [7].

Відстань між БС і МС — це відстань від центру стільника до певної зони (табл. 1). Розрахунок відстані між МС та ретранслятором здійснюється за формулою (5) [8]:

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \varphi, \quad (5)$$

де  $d$  — відстань між МС та ретранслятором, м;  $r_1, r_2$  — відстані між БС і МС, БС і ретранслятором відповідно, м;  $\varphi$  — кут між МС і ретранслятором.

Тепер, щоб визначити, коли слід підключатися до ретранслятора, треба розрахувати, за яких умов ретранслятор ближче до МС, ніж БС:

$$r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \varphi < r_1^2 \quad (6)$$

Таблиця 1  
Розрахунок відстані від центру стільника до зон

Зона	Відстань, м
1	126
2	178
3	219
4	253
5	283
6	310
7	335
8	358
9	379

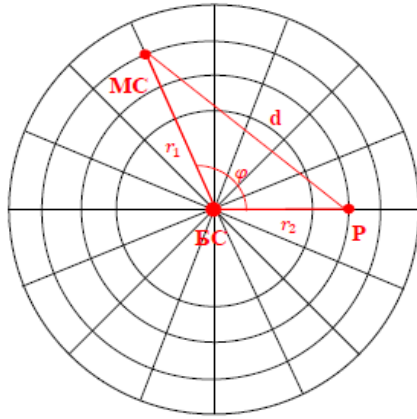


Рис. 2 — Приклад розташування БС, МС і ретранслятора

$$r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \varphi < 0$$

$$\begin{cases} r_1 > \frac{r_2}{2 \cos \varphi}, \\ \cos \varphi > 0 \end{cases} \quad (7)$$

Для розрахунку ефективної пропускної здатності у висхідному напрямку (Uplink, UL), користуються теоремою Шеннона-Хартлі, згідно з якою, пропускна здатність  $R$  каналу, яка є теоретичною верхньою межею швидкості передачі даних, що можуть бути передані з

заданою середньою потужністю сигналу, дорівнює:

$$R = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right), \quad (8)$$

де  $R$  — пропускна здатність каналу, біт/с;  $B$  — смуга пропускання, кГц;  $S$  — потужність корисного сигналу, Вт;  $N$  — потужність шумового сигналу, Вт;  $\frac{S}{N}$  — співвідношення сигнал/шум [9]. З формули (8) видно, що збільшення відстані між передавачем і приймачем сигналу веде до зниження відношення сигнал/шум, саме через це падає швидкість прийому і передачі інформації. Тому оптимізація місця розташування ретранслятора має бути проведена саме з точки зору забезпечення максимальної швидкості передачі даних.

Потужність прийнятого сигналу  $P_{rx}$  є функцією, яка залежить від відстані  $d$  між МС та ретранслятором і потужності переданого сигналу  $P_{tx}$ . Модель COST231 Nata встановлює зв'язок між відстанню і втратами:

$$L(d) = L_{MAPL} + 10\alpha \log_{10}(d), \quad (9)$$

де  $L_{MAPL}$  — максимально допустимі втрати, дБ.

Виходячи з (9) потужність прийнятого сигналу  $P_{rx}$  в дБ розраховують за (10):

$$P_{rx} = P_{tx} - L(d) \quad (10)$$

або в лінійному масштабі:

$$L(d) = 10 \frac{L_{MAPL}}{10} \cdot d^\alpha = \frac{1}{\epsilon} \cdot d^\alpha \quad (11)$$

$$P_{rx} = \frac{P_{tx}}{L(d)} \quad (12)$$

При використанні технології LTE максимальна пропускна здатність не досягається, але, згідно з 3GPP Release 11, швидкість передачі даних у каналі UL пропорційна максимальній пропускній здатності з коефіцієнтом пропорційності  $\sigma = 0,4$  [10, с. 43]. З урахуванням втрат при розповсюдженні сигналу отримують:

$$R = 0,4 \cdot N_{RB} \cdot 180 \cdot \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right), \quad (13)$$

де  $N_{RB}$  — кількість виділених абонентові РБ.

Приймаючи до уваги те, що ретранслятор зменшує ефективну пропускну здатність вдвічі, нерівність (7) можна представити як (14):

$$\frac{1}{2}(0,4 \cdot N_{RB} \cdot 180) \log_2\left(1 + \frac{S}{L(r_2) \cdot N \cdot N_{RB}}\right) > (0,4 \cdot N_{RB} \cdot 180) \log_2\left(1 + \frac{S}{L(r_2) \cdot N \cdot N_{RB}}\right) \quad (14)$$

Графік залежності оптимальної відстані від БС до місця встановлення ретранслятора залежно від кількості РБ, які можуть бути виділені абоненту, показано на рисунку 3 (результати моделювання наведено для стільника радіусом 400 м). З графіка видно, що використання більшої кількості РБ для надання послуг МС веде до збільшення зони обслуговування ретранслятора. Враховуючи те, що треба визначити, як місце встановлення ретранслятора впливає на швидкість передачі даних і, що  $S(r) = P_{rx}(r)$ , з (8) отримують:

$$\frac{dR}{dr} = \frac{-B}{\left(1 + \frac{\epsilon P_{tx}}{r^\alpha N}\right) \ln(2)} \cdot \frac{\epsilon P_{tx}}{r^{\alpha+1}} \quad (15)$$

Для потрібних значень  $r$  має місце наступне:

$$\frac{\epsilon P_{tx}}{r^\alpha N} \gg 1 \quad (16)$$

З цього видно, що змінення швидкості передачі даних практично не залежить від  $P_{tx}$ . Зона обслуговування ретранслятора більше, коли користувачам призначається багато РБ, тому що невелика кількість РБ забезпечує вищу швидкість передачі даних на один РБ, ніж велика.

### **Дослідження впливу ретранслятора на загальну пропускну здатність в каналі UL і ємність стільника**

Для оцінки впливу ретранслятора на роботу стільника спочатку генерується сам стільник, розраховується швидкість передачі даних для кожного геометричного сектора. Після цього запускається програмний цикл, в яко-

му кожна ітерація виконується для певного інтервалу часу. На кожному часовому інтервалі до стільника додаються нові МС, які підключаються зі швидкістю  $\lambda$  [надходжень/с]. Коли МС потрапляє до зони обслуговування стільника, їй призначаються координати і розмір файлу для передачі, який зберігається в змінній. Потім для кожної ітерації розраховують добуток швидкості передачі даних і часового інтервалу і віднімається від значення змінної.

Коли цикл закінчується, для розрахунку пропускної здатності загальний обсяг переданих даних ділиться на загальний час симуляції.

Результати моделювання пропускної здатності стільника для різних місць встановлення ретранслятора відносно БС залежно від швидкості надходження нових абонентів наведено на рис. 4.

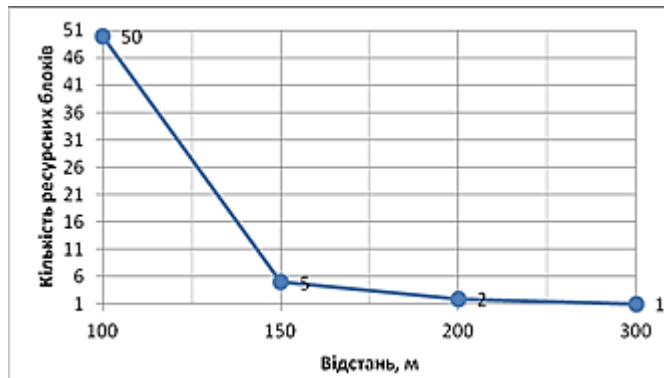


Рис. 3 — Графік залежності відстані між БС та ретранслятором від кількості РБ

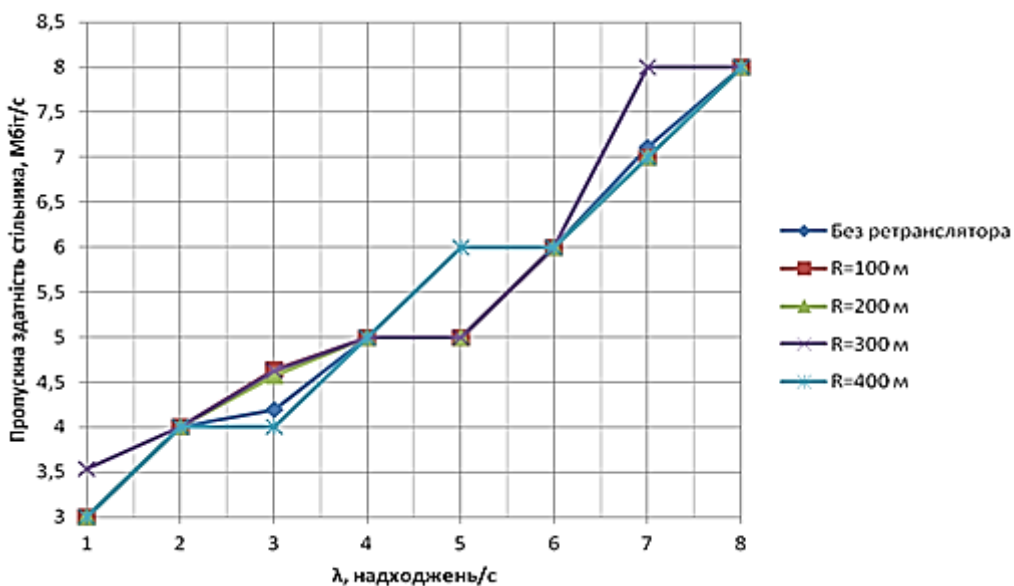


Рис. 4 — Графік залежності пропускної здатності стільника від швидкості надходження нових абонентів залежно від розташування ретранслятора

Як видно з графіка (рис. 4) використання ретранслятора дозволяє збільшити пропускну здатність стільника до 10%.

Доки загальна пропускна здатність стільника зростає, система може бути використана більш ефективно. FWC-система може бути більш ефективною, тільки коли одному абоненту призначається більше 1 РБ, це можливо,

коли кількість МС, які відправляють дані, менша від кількості вільних РБ, тобто система є стійкою. Таким чином, можна зробити висновок, що для FWC-планувальника швидкість надходжень МС, за якої досягається максимальна пропускна здатність, дорівнює максимальній швидкості надходжень, тобто, ємності стільника.

### **Висновки**

У даній роботі був проведений аналіз особливостей технології LTE стандарту 4G, яка містить в собі ретранслятори для більш ефективного планування. В якості алгоритму планування обрано алгоритм FWC, що працює за принципом розподілу ресурсів порівню між абонентами. На основі моделювання вперше отримано оптимальну відстань від ретранслятора до базової станції LTE для стільника з радіусом 400 м. З отриманих результатів випливає, що чим більше ресурсних блоків виділяє базова станція абонентові, тим ближче до неї треба встановлювати ретранслятор.

Отримані нові результати для оцінки впливу ретранслятора на загальну пропускну здатність стільника. Аналіз показав, що використання ретранслятора дозволяє збільшити пропускну здатність стільника у каналі UL до 10%.

Доведено, що встановлення ретранслятора на відстані 300 м (або 75%) від базової станції забезпечує найвищу пропускну здатність стільника, і, відповідно, його ємність.

### **Перелік посилань**

1. Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interfaces [Електронний ресурс] / Report ITU-R M.2134-0(2008). — Режим доступу: <http://www.itu.int/pub/R-REP-M.2134-2008>
2. 3GPP TR 36.814 V9.0.0(2010-03) [Електронний ресурс] / Technical Report of 3rd Generation Partnership Project ; Technical Specification Group Radio Access Network. — Режим доступу: <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/36814-900.pdf>
3. Hennepe D. H. Analysing uplink performance in relay-enabled LTE-networks. [Електронний ресурс] / D. H. Hennepe ; університет «Твенте». — Режим доступу: <http://www.utwente.nl/ewi/dacs/assignments/completed/bachelor/reports/2012-hennepe.pdf>
4. Dimitrova, D. C. Scheduling Strategies for LTE Uplink with Flow Behaviour Analysis [Електронний ресурс] / D. C. Dimitrova, H. Berg, R. Litjens, G. Heijenk // Fourth ERCIM Workshop on eMobility. — Режим доступу: <http://purl.utwente.nl/publications/72116>
5. Бойко А. А. Влияние свойств мультисервисного трафика на возможность прогнозирования и балансировки нагрузки в современных сетях мобильной связи [Електронний ресурс] / А. А. Бойко, И. В. Дегтяренко // Автоматизация технологических объектов та процесів. Пошук молодих : зб. наук. пр. XIII наук.-техн. конф. аспір. та студ. ; 14–17 травня 2013 р. — Донецьк, ДонНТУ. — 2013. — Режим доступу: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/20230>
6. Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие / А. Л. Гельгор, Е. А. Попов. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 204 с.
7. Бенавидес Э. Э. Разработка модели балансирования нагрузки на базовые станции в сетях LTE. [Електронний ресурс] / Э. Э. Бенавидес, И. В. Дегтяренко // Автоматизация



технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих : зб. наук. пр. XIII наук.-техн. конф. аспір. та студ.; 14-17 травня 2013 р. — Донецьк, ДонНТУ. — 2013. — Режим доступу: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/20226>

8. de Moraes T. M. Resource allocation in relay enhanced LTE-Advanced networks / T. M. de Moraes, M. D. Nisar, A. A. Gonzalez, E. Seidel // *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. — 2012. 2012:364. 12 p. — Режим доступу: <http://jwcn.eurasipjournals.com/content/2012/1/364>.

9. Приходько А. С. Особенности Downlink и Uplink в технологии LTE / А. С. Приходько // Автоматизация технологических объектов та процесів. Пошук молодих : зб. наук. пр. XIII наук.-техн. конф. аспір. та студ. ; 14-17 травня 2013 р. — Донецьк, ДонНТУ. — 2013. — Режим доступу: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/16077>

10. LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description); Stage 2 (3GPP TR 36.300 Release 11) / 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network. — Режим доступу: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136300\\_136399/136300/10.07.00\\_60/ts\\_136300v100700p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/10.07.00_60/ts_136300v100700p.pdf)

### **References**

1. ITU (2008) *Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interfaces*. Report ITU-R M.2134, 8 p.

2. 3rd Generation Partnership Project (2010) *3GPP TR 36.814 V9.0.0(2010-03)*. Available at: <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/36814-900.pdf>

3. Hennepe, D. H. (2012) *Analysing uplink performance in relay-enabled LTE-networks*. Available at: <http://www.utwente.nl/ewi/dacs/assignments/completed/bachelor/reports/2012-hennepe.pdf> (Accessed 10 March 2014).

4. Dimitrova D. C., et al. (2010) Scheduling strategies for LTE uplink with flow behaviour analysis. *Fourth ERCIM Workshop on eMobility*, pp. 15-26

5. Boiko A. A. and Degtyarenko I. V. (2013) Vliyanie svoystv mul'tiservisnogo trafika na vozmozhnost' prognozirovaniya i balansirovki nagruzki v sovremennykh setyakh mobil'noi svyazi [Influence of the properties of multiservice traffic on the ability to predict and load balancing in modern mobile networks]. *Avtomatizatsiya tehnologichnih ob'ektiv ta protsesiv. Poshuk molodih*

6. Gel'gor A. L., Popov E. A. (2011) *Tekhnologiya LTE mobil'noi peredachi dannykh Tehnologiya LTE mobil'noi peredachi dannykh* [LTE technology of mobile data transmission]. Sankt-Peterburg, Izdatelstvo politehnicheskogo universiteta, 204 p.

7. Benavides E. E. and Degtyarenko I. V. (2013) Razrabotka modeli balansirovaniya nagruzki na bazovye stantsii v setyakh LTE [Developing a model of balancing the load on the base station in LTE networks]. *Avtomatizatsiya tehnologichnih ob'ektiv ta protsesiv. Poshuk molodih*.

8. de Moraes et al. (2012) Resource allocation in relay enhanced LTE-Advanced networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2012:364.

9. Prihodko A. S. (2012) Osobennosti DOWNLINK i UPLINK v tekhnologii LTE [DOWNLINK and UPLINK features in LTE technology]. *Avtomatizatsiya tehnologichnih ob'ektiv ta protsesiv. Poshuk molodih*.

10. 3rd Generation Partnership Project (2012) LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description); Stage 2 (3GPP TR 36.300 Release 11). Available at: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136300\\_136399/136300/10.07.00\\_60/ts\\_136300v100700p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/10.07.00_60/ts_136300v100700p.pdf)



Воропаєва В. Я., Юшкевич Ю. О. **Оцінка впливу ретранслятора на показники роботи LTE стільника.** Проведено аналіз особливостей технології LTE-Advanced, яка для більш ефективного планування містить в собі ретранслятори. На основі моделювання для стільника обрано оптимальне значення відстані між ретранслятором та базовою станцією LTE залежно від кількості ресурсних блоків. Проведено дослідження щодо впливу ретранслятора на загальну пропускну здатність стільника у Uplink напрямку.

**Ключові слова:** 4G, LTE-ADVANCED, стільник, ретранслятор, радіоінтерфейс, радіус, пропускну здатність, Uplink.

Воропаева В. Я., Юшкевич Ю. А. **Оценка влияния ретранслятора на показатели работы соты LTE.** Проанализированы особенности технологии LTE-Advanced, которая для более эффективного планирования ресурсов включает ретрансляторы. На основе моделирования для соты выбрано оптимальное значение расстояния между ретранслятором и базовой станцией LTE в зависимости от количества ресурсных блоков. Проведены исследования относительно влияния ретранслятора на общую пропускную способность соты в канале Uplink.

**Ключевые слова:** 4G, LTE-ADVANCED, сота, ретранслятор, радиоинтерфейс, радиус, пропускная способность, Uplink.

Voropaeva V. Ya., Yushkevich Y. **Estimation of the LTE relay influence on the cell.**

**Problem definition.** Information technologies are constantly evolving. This process leads to an annual traffic increasing. Also requirements to infocommunication networks are increasing too. It stimulates the development of new technologies that will be able to satisfy the growing needs of users. At the present stage of evolution of world telecommunication technologies in mobile communications development and implementation of the fourth generation standard (4G) networks are relevant. This type of networks provides a higher data rate and high quality of service with an overall decrease in operating costs of telecommunications equipment. One of the most relevant technologies is Long Term Evolution (LTE), which is the development of the third generation UMTS networks. Now there is a standard of 3GPP-LTE-Advanced, which is an improvement of LTE and the official wireless communications standard of the 4th generation. Relay Nodes has appeared in LTE-Advanced networks for more effective scheduling. Relay catches the signal from a Mobile Station, amplifies it and transmit it further to a Base Station.

**Selecting the optimal location of relay.** In this paper we consider one LTE cell and one repeater type I (in-band, half-duplex). For this type of relay we calculate the best position of installation. The calculated value of the cell radius is 400 m for densely populated city. The type of division duplex is TDD, the frame configuration is 2, the width of the frequency band is 10 MHz. To calculate the cell radius COST231 Hata s 3GPP TS 25.996 v9.0.0 model for urban macro network is used. Scheduling scheme uses an algorithm Fair Work Conserving (FWC). FWC relates to such type of algorithms that operate on a resource allocation equally between the users. Users connect to the network at the speed of  $\lambda$ , which may be various.

**Estimation of the LTE relay influence on the cell.** From these simulation results, we can conclude that the larger amount of resource blocks allocated to the subscriber leads to a smaller distance between the Base Station and Relay Node. Also the influence of the Relay Node on the overall throughput of the cell is investigated. Using Relay Node can increase Uplink cell capacity to 10%. The obtained results can be used for LTE network planning.

**Keywords:** 4G, LTE-ADVANCED, cell, Relay Node, radio interface, radius, throughput, Uplink.