

УДК 621.29(045)

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-89-96

Роман Одарченко, Людмила Харлай

**МЕТОД РЕЗЕРВУВАННЯ РЕСУРСІВ ТА БАЛАНСУВАННЯ
НАВАНТАЖЕННЯ В ТРАНСПОРТНІЙ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ
ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЕЖІ**

Актуальність теми дослідження. Фактична якість обслуговування абонентів стільникових мереж в Україні перебуває на досить низькому рівні, що свідчить про низьку ефективність наявних методів планування та експлуатації як радіопідмереж, так і транспортних сегментів. Тому підвищення ефективності мережі є актуальним завданням.

Постановка проблеми. З метою усунення проблем, пов'язаних із неефективним використанням доступного ресурсу транспортних мереж, було вперше розроблено метод резервування ресурсів та балансування навантаження в транспортній мережі, що дозволяє більш ефективно використати пропускну здатність каналів транспортної мережі стільникового оператора (їх утилізації), а як результат – підвищити ефективність транспортних мереж.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У теорії управління мережами зв'язку наукою накопичено значний теоретичний матеріал та практичний досвід, причому вагомий внесок у розвиток моделей та методів управління мережними ресурсами зробили вітчизняні та закордонні вчені.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Вирішення наведених проблем відкривають можливість виявити і запропонувати нові практичні шляхи підвищення ефективності стільникових мереж LTE під час їх впровадження в Україні на основі використання нових методів оптимізації транспортних сегментів, резервування обладнання та каналів зв'язку.

Виклад основного матеріалу. Для ефективного дослідження та вирішення поставленої задачі розподілення навантаження важливо адекватно математично описати роботу маршрутизатора. Така математична модель повинна відображати функціональну сторону роботи маршрутизатора, а для прийняття рішень з управління повинна бути підкріплена інформацією про структуру і функціонування мережі.

Висновки відповідно до статті. Результати чисельного моделювання показали, що запропонований метод дозволяє більш ефективно використати пропускну здатність каналів транспортної мережі стільникового оператора (їх утилізації), тобто в результаті підвищити ефективність транспортних мереж.

Ключові слова: балансування навантаження; резервування; транспортна мережа; пропускну здатність; утилізація каналів.

Рис.: 2. Бібл.: 11.

Актуальність теми дослідження. Щоб впоратися зі зростаючим об'ємом трафіку, залишаючись при цьому прибутковими, стільниковим операторам необхідно впроваджувати більш швидкісні й економічні радіотехнології, підвищувати просторову ефективність шляхом розгортання малих мереж і забезпечувати збалансований розвиток транспортних мереж. Фактична якість обслуговування абонентів стільникових мереж в Україні перебуває на досить низькому рівні, що свідчить про низьку ефективність наявних методів планування та експлуатації як радіопідмереж, так і транспортних сегментів. Тому підвищення ефективності мережі є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Основною метою змін телекомунікаційних технологій є збільшення якості та збільшення спектра інформаційно-телекомунікаційних послуг. Серед головних змін слід зазначити використання технології all-over-IP («все по IP») з конвергенцією різноманітного трафіку в межах єдиної IP-мережі, підвищення вимог до швидкості передачі на всіх ділянках мережі, а також виникнення потреб користувачів у декількох видах послуг (передача даних та інтерактивного відео) із заданим рівнем якості обслуговування.

У нинішніх умовах є потреба в ефективних методах керування потоками трафіку, що враховували б різноманітність трафіку. Водночас в оператора повинні бути засоби управління потоками, що дозволяли б гарантувати певний рівень якості послуг для кожного окремого абонента, який отримує індивідуальний інформаційний потік. Розподілення навантаження підвищує інтенсивність використання мережевих сегментів, а значить і ефективну пропускну здатність мережі загалом. Основною складністю у вирішенні поставленої задачі є те, що за умови різної вартості маршрутів складно досягнути виконання вимог стосовно якості обслуговування.

Також потрібно пам'ятати, що мережа являє собою складний розподілений об'єкт, передбачити поведінку якого в наступний момент часу не є можливим. У більшості ви-

падків гарантована якість обслуговування може бути забезпечена тільки при виділенні віртуального каналу, який передбачає наявність одного маршруту з показниками продуктивності, які вимагаються. У подібних умовах виникають ситуації, коли альтернативні маршрути будуть недовантажені, а забезпечити рівномірне завантаження мережі можливо буде лише пакетами, які не будуть чутливі до параметрів якості обслуговування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У теорії управління мережами зв'язку наукою накопичено значний теоретичний матеріал та практичний досвід, причому вагомий внесок у розвиток моделей та методів управління мережними ресурсами зробили вітчизняні та закордонні вчені, серед яких Kleinrok L., Gallager R., Ford L. R., Fulkeron D. R., Гольдштейн Б. С., Стеклов В. К., Вінницький В. П., Яновський Г. Г., Димарський Я. С., Романов О. І., Глоба Л. С., Уривський Л. О., Кравчук С. О. та ін. [1–5]. Проте слід зауважити, що в їхніх працях відсутнє врахування поточної завантаженості каналу зв'язку, резервування певних ресурсів для нових сервісів або VIP-клієнтів.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є розробка методу резервування ресурсів та одночасного балансування навантаження з урахуванням різних параметрів якості обслуговування абонентів у транспортній мережі, який дозволить підвищити інтенсивність використання мережевих сегментів, а значить і ефективну пропускну спроможність мережі загалом.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Метод резервування ресурсів транспортної мережі стільникового оператора, який полягає в послідовному резервуванні каналів зв'язку, резервуванні програмно-апаратних елементів обладнання, представлення структури середовища резервування та пошуку оптимального числа резервних мережних вузлів з урахуванням обмежуючих факторів, дозволив забезпечити необхідний рівень надійності та якості надання послуг абонентам мереж стільникового зв'язку, метод балансування навантаження в транспортній мережі, що полягає в послідовному визначення основних характеристик мережі, оцінці необхідного резерву каналів зв'язку, виборі оптимальних маршрутів для відправки пакетів з урахуванням можливостей балансування навантаження, дозволив більш ефективно використати пропускну здатність каналів транспортної мережі стільникового оператора.

Виклад основного матеріалу. Для ефективного дослідження та вирішення поставленої задачі розподілення навантаження важливо адекватно математично описати роботу маршрутизатора. Така математична модель повинна відображати функціональну сторону роботи маршрутизатора, а для прийняття рішень з управління повинна бути підкріплена інформацією про структуру і функціонування мережі. По суті, маршрутизатор являє собою накопичувач з набором входів, через які надходить трафік, і набором виходів, через які трафік пересилається до наступних мережевих пристроїв. Тому модель маршрутизатора будемо розглядати як динамічну.

Процес маршрутизації з урахуванням балансування навантаження за маршрутами з різною вартістю показаний на рис. 1 [1].

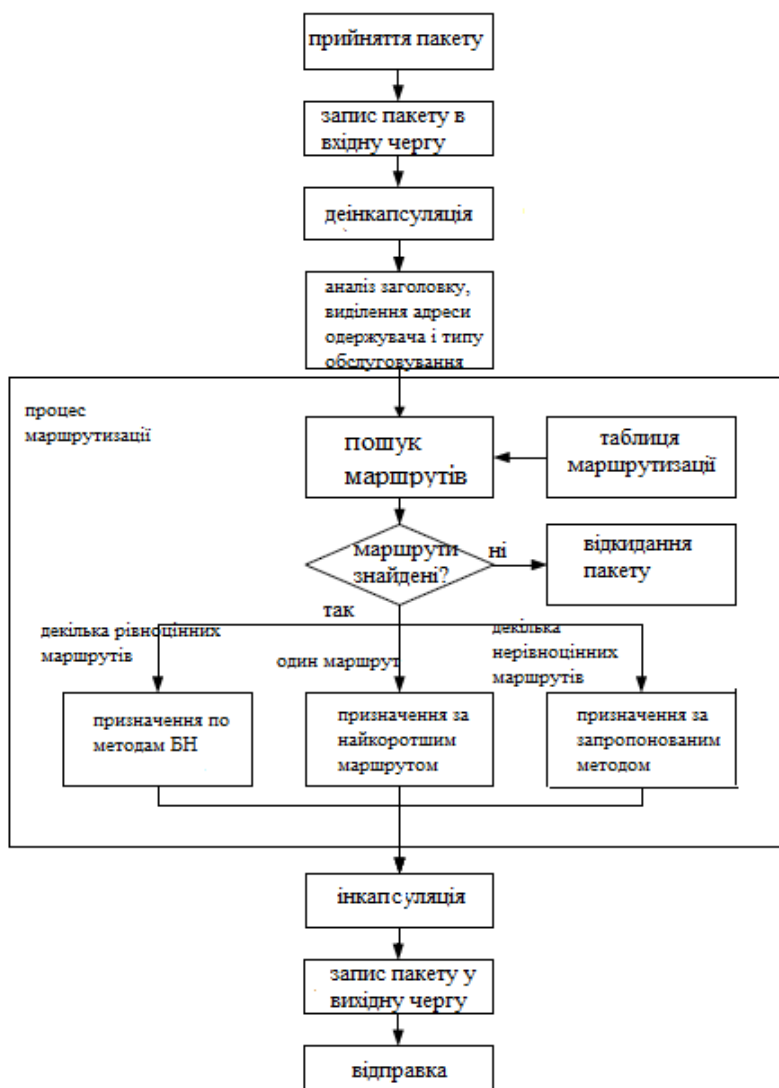


Рис. 1. Маршрутизація з балансуванням навантаження

Для забезпечення справедливої утилізації каналів транспортних мереж під час висщерозглянутої маршрутизації було розроблено метод резервування ресурсів та балансування навантаження.

Основними відмінностями цього методу від більшості існуючих є те, що він динамічний, а також дозволяє розподіляти навантаження залежно від стану каналів між альтернативними маршрутами з різною вартістю, при цьому відбувається врахування необхідного резерву в каналі зв'язку.

Процес маршрутизації з урахуванням балансування навантаження та резервування ресурсів за маршрутами з різною вартістю наступний.

Етап 1 – Визначення основних характеристик мережі. Проводиться визначення пропускної здатності $B(v,u)$, затримки в мережі $D(v,u)$, завантаженості каналів $L(v,u)$ за допомогою відомих службових або сигналізаційних протоколів стека TCP/IP [5].

Етап 2 – Визначення необхідного резерву в каналі зв'язку. Для цього скористаємось результатами проведеного опитування з метою визначення сервісів, якими користуються абоненти стільникових мереж залежно від часу доби та дня тижня.

Опитування було проведено серед 1500 респондентів. Всього було представлено 9 запитань, що стосуються конкретних послуг мобільного зв'язку: Голосові виклики, VoIP; Відеозв'язок (Skype, Viber тощо); Відеоконференція; WEB-серфінг; Google Maps,

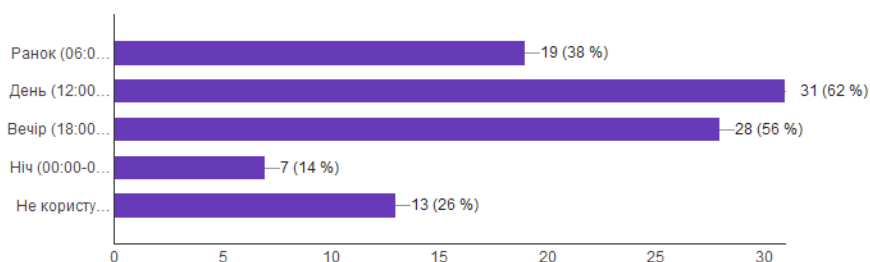
TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Яндекс Карти тощо; Перегляд відео (YouTube тощо); Відеострімінг (IPTV тощо); Ігри (Realtime); Соціальні мережі (Facebook, VK тощо).

У відповіді респондент мав обрати час доби, в який він користується даною послугою (у тому числі – цілодобово, або ж взагалі не користується). апропоновані варіанти відповідей: Ранок (06:00 – 12:00); День (12:00 – 18:00); Вечір (18:00 – 00:00); Ніч (00:00 – 06:00); Не користуюся послугою.

На рис. 2 частково представлені результати проведеного опитування.

Голосові виклики, VoIP (50 ответов)



Відеозв'язок (Skype, Viber тощо) (49 ответов)

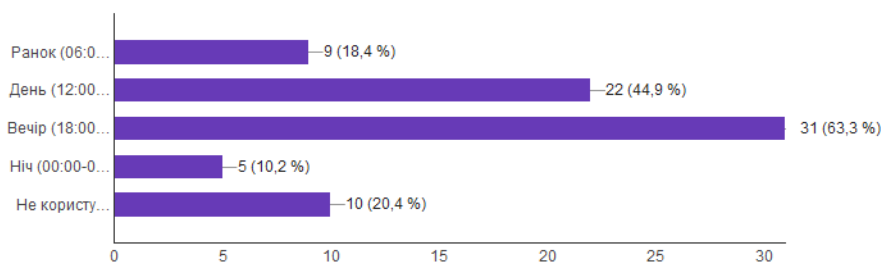


Рис. 2. Результати опитування абонентів стільникового зв'язку

Тоді для типової БС необхідно буде зарезервувати пропускну здатність каналу транспортної мережі $R(v, u) = \sum_{i=1}^n N_i \cdot C_i$, де N_i – кількість абонентів, що користуються i -м сервісом, необхідна пропускну здатність для якого становить C_i . На основі аналізу статистичних даних за тривалий проміжок часу можна розробити розклад резервування ресурсів транспортної мережі стільникового оператора. Сумарна необхідна зарезерована пропускну здатність каналу визначається таким алгоритмом.

За аналізом результатів опитування можна проводити оцінювання необхідної пропускну здатності радіоінтерфейсів базових станцій (БС):

$$C_{serv} = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_9 \end{pmatrix}, N_t = \begin{pmatrix} N_{1,1} & N_{1,2} & N_{1,3} & N_{1,4} \\ N_{2,1} & N_{2,2} & N_{2,3} & N_{2,4} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_{9,1} & N_{9,2} & N_{9,3} & N_{9,4} \end{pmatrix}.$$

$$C_{sum} = C_{serv} \cdot N_t$$

де $t = 1, 2, 3, 4$ (1 – ранок; 2 – день; 3 – вечір; 4 – ніч);

C_{serv} – необхідна пропускну здатність каналу для забезпечення якісного надання послуг;

N_t – кількість абонентів стільникового зв'язку, що користуються певними послугами в певні проміжки часу.

Слід зауважити, що розрахована сумарна пропускна здатність не повинна перевищувати пропускну здатність, що виділяється БС, тобто:

$$C_{sum} \leq C_{БС}.$$

Етап 3 – Вибір оптимального маршруту для відправки пакета. У ролі метрики маршруту запропоновано використовувати інтегрований критерій:

$$M(v, u) = k_1 \cdot B(v, u) + \frac{k_2 \cdot B(v, u)}{B(v, u) - L(v, u) - R(v, u)} + k_3 \cdot D(v, u),$$

де $B(u, v) = \min(b(i, j)), \forall e(i, j) \in P(v, u)$ - пропускна здатність каналу;

$$D(v, u) = \sum_{\forall e(i, j) \in P(v, u)} (t_i + t_{e(i, j)}); L(v, u) - \text{завантаженість каналу}; R(v, u) - \text{зарезервована}$$

на пропускна здатність по кожному маршруту; k_1 - ваговий коефіцієнт пропускну здатності; k_2 - ваговий коефіцієнт завантаження каналу; k_3 - ваговий коефіцієнт затримки. При цьому вибір вагових коефіцієнтів відбувається на основі класової моделі обслуговування в IP мережах та на основі принципів арифметичної прогресії.

Етап 4 – Балансування мережних ресурсів. Кожен вузол мережі характеризується такими показниками: $\sum_{i=1}^l \lambda_i^{in}$ - загальна інтенсивність інформаційного трафіку; $\sum_{i=1}^l \lambda_i^{out}$ -

загальна вихідна інтенсивність; $\sum_{i=1}^l c_i$ - загальна пропускна здатність (ПЗ) каналів зв'язку (КЗ) мережі; l - кількість суміжних вузлів та КЗ для зв'язку з ними.

Балансування мережних ресурсів у моделі здійснюється шляхом знаходження вектора розподілу потоку (ВРП) такого виду:

$$\vec{K} = (k_1, k_2, \dots, k_l), \quad \sum_i k_i = 1. \quad (1)$$

Кожен елемент цього вектора характеризує частку вихідного з вузла трафіку, що передається по відповідному КЗ у суміжний вузол. Через фізичне подання цього вектора та з метою запобігання перевантажень каналів і вузлів ТКС на елементи вектора (1) накладаються такі обмеження:

$$0 \leq k_i \leq 1, \quad i = \overline{1..l}; \quad (2)$$

$$\lambda_i^{out} k_i \leq c_i, \quad i = \overline{1..l}. \quad (3)$$

У межах описаної моделі функціонування транспортної мережі задача управління мережними ресурсами зводиться до розв'язання оптимізаційної задачі, яка пов'язана з мінімізацією функціонала, в умовах наявності обмежень (2); (3)

$$\varepsilon(\vec{K}) = \min(q_1 \Phi + q_2 \sigma_1(\vec{K}) + q_3 \sigma_2(\vec{K})), \quad (4)$$

де q_1, q_2, q_3 - вагові коефіцієнти, які характеризують умовну вартість балансування по метриці, завантаженості каналів та вузлів мережі; $\sigma_1(\vec{K})$ - середньоквадратичне відхилення (СКВ) завантаженості каналів $x_i, i = \overline{1..l}$;

$$\sigma_1(\vec{K}) = \sqrt{\frac{1}{l-1} \sum_{i=1}^l (x_i - \bar{x})^2};$$

$\sigma_2(\vec{K})$ - СКВ завантаженості локального та суміжних вузлів $Z_i, i = \overline{1..l}$;

$$\sigma_2(\bar{K}) = \sqrt{\frac{1}{1-1} \sum_{i=1}^1 (z_i - \bar{Z})^2};$$

Φ – метрика протоколу маршрутизації або вартість каналів зв'язку.

Проведений аналіз показав, що найбільш ефективними засобами мінімізації цільового функціоналу управління мережними ресурсами (4) є засіб пропорційного розподілення (ЗПР) та градієнтний метод мінімізації з послідовним наближенням, причому ЗПР є більш простим і швидким засобом, а градієнтний метод – більш адекватним, оскільки дозволяє врахувати мінімізацію усіх трьох складових (4).

Висновки відповідно до статті. За аналізом якості обслуговування абонентів стільникових мереж 3G в Україні встановлено, що фактична якість обслуговування абонентів перебуває на досить низькому рівні, що свідчить про низьку ефективність наявних методів планування транспортних підсистем та методів керування ними. Тому з метою усунення цих недоліків було вперше розроблено метод резервування ресурсів та балансування навантаження в транспортній мережі, що полягає у послідовному визначення основних характеристик мережі, оцінці необхідного резерву каналів зв'язку, виборі оптимальних маршрутів для відправки пакетів з урахуванням можливостей балансування навантаження. Результати чисельного моделювання показали, що запропонований метод дозволяє більш ефективно використати пропускну здатність каналів транспортної мережі стільникового оператора (їх утилізації), тобто в результаті підвищити ефективність транспортних мереж.

Список використаних джерел

1. Одарченко Р. С. Метод балансування навантаження в опорній мережі стільникового оператора / Р. С. Одарченко, А. О. Абакумова // Наукоємні технології. – 2016. – № 4. – С. 369–375.
2. Погорілий С. Д. Особливості застосування генетичного алгоритму балансування навантаження в мережі / С. Д. Погорілий, Р. В. Білоус // Проблеми програмування. – 2012. – № 2-3. – С. 85–92.
3. Бак Р. І. Метод балансування абонентського навантаження мережі коміркового зв'язку / Р. І. Бак, І. Б. Чайковський, Р. А. Бурачок // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2013. – № 766. – С. 110–115.
4. Тихвинский В. О. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. – М. : Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
5. 3GPP TS 36.300, V8.6.0, “UTRAN and EUTRAN overall description, stage 2”, September 2008.
6. Website of J'son & Partners Consulting – Backhaul networks for broadband mobile communication [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.json.ru/en/poleznye_materialy/free_market_watches/analytics/transportnye_seti_backhaul_dlya_setej_shirokopolosnoj_mobilnoj_svyazi_tendencii_i_perspektivy_razvitiya_v_rossii_i_v_mire.
7. Daniel E. Eisenbud, Cheng Yi, Carlo Contavalli, Cody Smith, Roman Kononov, Eric Mann-Hielscher, Ardas Cilingiroglu, Bin Cheyney, Wentao Shang, Jinnah Dylan Hosein. Maglev: A Fast and Reliable Software Network Load Balancer [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://research.google.com/pubs/pub44824.html>.
8. Wenhao Lin, Richard S. Wolff, Brendan Mumey: A Markov-Based Reservation Algorithm for Wavelength Assignment in All-Optical Networks. Journal of lightwave technology, vol. 25, no. 7, July 2007, 1676–1683.
9. A. Kalia, D. Zhou, M. Kaminsky, and D. G. Andersen. Raising the bar for using gpus in software packet processing. In Proceedings of NSDI, 2015.
10. V.K. Garg: Wireless Communications and Networking, Elsevier Morgan Kaufmann, San Francisco, California, USA, 2007.
11. Shakil Akhtar 2G-5G Networks: Evolution of Technologies, Standards, and Deployment. – 2010.

References

1. Odarchenko, R. S. & Abakumova, A. O. (2016). Metod balansuvannia navantazhennia v opornii merezhi stilnykovoho operatora [Load balancing method in the core network of mobile operators]. *Naukoiemni tekhnolohi – Science-Based Technologies*, 4, 369–375 [in Ukrainian].
2. Pohorilyi, S. D. & Bilous, R. V. (2012). Osoblyvosti zastosuvannia henetychnoho alhorytmu balansuvannia navantazhennia v merezhi [Features of application of genetic algorithm of balancing of load in a network]. *Problemy prohramuvannia – Problems of programming*, 2-3, 85–92 [in Ukrainian].
3. Bak, R. I., Chaikovskiy, I. B. & Burachok, R. A. (2013). Metod balansuvannia abonentskoho navantazhennia merezhi komirkovoho zviazku [Method of subscriber network load balancing in cellular network]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Radioelektronika ta telekomunikatsii – Herald of Lviv Polytechnic National University, Series of Radio Electronics and Telecommunication*, 766, 110–115 [in Ukrainian].
4. Tikhvinskii, V. O., Terentev, S. V. & Iurchuk, A. B. (2010). *Seti mobilnoi svyazi LTE. Tekhnologii i arkhitektura [LTE mobile networks. Technology and architecture]*. Moscow: Eko-Trendz [in Russian].
5. ETSI TS 136 300 V8.6.0 (2008-10). 3GPP TS 36.300, V8.6.0, “UTRAN and EUTRAN overall description, stage 2”. (n.d.). www.etsi.org. Retrieved from https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/08.02.00_60/ts_136300v080200p.pdf [in English].
6. Site of J'son & Partners Consulting. (2016) . www.json.ru. Backhaul networks for broadband mobile communication. Retrieved from http://www.json.ru/en/poleznye_materialy/free_market_watches/analytics/transportnye_seti_backhaul_dlya_setej_shirokopolosnoj_mobilnoj_svyazi_tendencii_i_perspektivy_razvitiya_v_rossii_i_v_mire [in English].
7. Eisenbud, D. E., Cheng, Yi, Contavalli, C., Smith, C., Kononov, R. Mann-Hielscher, E. (2016). A Fast and Reliable Software Network Load Balancer. *research.google.com*. Retrieved from <https://research.google.com/pubs/pub44824.html> [in English].
8. Lin, W., Wolff, R. S. & Mumey, B. (2007). A Markov-Based Reservation Algorithm for Wavelength Assignment in All-Optical Networks. *Journal of lightwave technology*, 7(25), 1676-1683. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/jlt/abstract.cfm?uri=jlt-25-7-1676> [in English].
9. Kalia, A., Zhou, D., Kaminsky, M. & Andersen, D. G. (2015). Proceeding of NSDI'15 “Raising the bar for using gpus in software packet processing”. Networked Systems Design and Implementation (409-423). Retrieved from <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2789799> [in English].
10. Garg, V. K. (2007). *Wireless Communications and Networkin*. San Fransisco: Morgan Kaufmann Publishers [in English].
11. Shakil, A. (2010). *2G-5G Networks: Evolution of Technologies, Standards, and Deployment*. [in English].

UDC 621.29(045)

Roman Odarchenko, Liudmyla Kharlay

THE METHOD OF RESOURCES RESERVATION AND BALANCING OF LOADING IN THE TRANSPORT NETWORK WITH BASIC CHARACTERISTICS OF NETWORK

Urgency of the research. Actual quality of maintenance of subscribers of cellular networks in Ukraine is at low enough level which testifies to low efficiency of existent methods of planning and exploitation as radio of subnet so transport segments. Therefore an increase of network efficiency is an actual task.

Target setting. With the purpose of removal of problems, related to the ineffective use of accessible resource of transport networks the method of backuping of resources and balancing of loading was first developed in a transport network, that allows more effectively using the carrying capacity of ductings of a transport network of cellular operator (their utilizations), but as to promote a result efficiency of transport networks.

Actual scientific researches and issues analysis. In the theory of management of connection networks science is accumulate considerable theoretical material and practical experience, thus a ponderable contribution to development of models and methods of management network resources was done by domestic and foreign scientists.

Uninvestigated parts of general matters defining. The decisions of the resulted problems open possibility to discover and offer the new practical ways of increase of efficiency of cellular networks of LTE during their introduction in Ukraine on the basis of the use of new methods of optimization of transport segments, backuping of equipment and ductings of connection.

The statement of basic materials. For effective research and solution of the task of load distribution, it is important to adequately mathematically describe the operation of the router. Such a mathematical model should reflect the functional side of the router's work, and for making management decisions should be supported by information about the structure and functioning of the network.

Conclusions. The results of numeral design rotined that the offered method allowed more effectively to use the carrying capacity of ductings of a transport network of cellular operator (their utilizations), that as a result to promote efficiency of transport networks.

Keywords: balancing of loading; backuping; transport network; carrying capacity; utilization of ductings.

Fig.: 2. References: 11.

УДК 621.29(045)

Роман Одарченко, Людмила Харлай

МЕТОД РЕЗЕРВИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ И БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТИ

Актуальность темы исследования. Фактическое качество обслуживания абонентов сотовых сетей в Украине находится на достаточно низком уровне, что свидетельствует о низкой эффективности существующих методов планирования и эксплуатации как радиоподсетей, так и транспортных сегментов. Поэтому повышение эффективности сети является актуальной задачей.

Постановка проблемы. С целью устранения проблем, связанных с неэффективным использованием доступного ресурса транспортных сетей, впервые разработан метод резервирования ресурсов и балансировки нагрузки в транспортной сети, что позволяет более эффективно использовать пропускную способность каналов транспортной сети сотового оператора (утилизации), а как результат – повысить эффективность транспортных сетей.

Анализ последних исследований и публикаций. В теории управления сетями связи наукой накоплен значительный теоретический материал и практический опыт, причем весомый вклад в развитие моделей и методов управления сетевыми ресурсами сделали отечественные и зарубежные ученые.

Выделение неисследованных частей общей проблемы. Решение указанных проблем открывают возможность выявить и предложить новые практические пути повышения эффективности сотовых сетей LTE во время их внедрения в Украине на основе использования новых методов оптимизации транспортных сегментов, резервирования оборудования и каналов связи.

Изложение основного материала. Для эффективного исследования и решения поставленной задачи распределения нагрузки важно адекватно математически описать работу маршрутизатора. Такая математическая модель должна отражать функциональную сторону работы маршрутизатора, а для принятия решений по управлению должна быть подкреплена информацией о структуре и функционировании сети.

Выводы в соответствии со статьей. Результаты численного моделирования показали, что предложенный метод позволяет более эффективно использовать пропускную способность каналов транспортной сети сотового оператора (утилизации), то есть в результате повысить эффективность транспортных сетей.

Ключевые слова: балансировка нагрузки; резервирования; транспортная сеть; пропускная способность; утилизация каналов.

Рис.: 2. Библ. 11.

Одарченко Роман Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з науково-методичної роботи, Інститут аеронавігації Національного авіаційного університету (просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 02000, Україна).

Одарченко Роман Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научно-методической работе, Институт аэронавигации Национального авиационного университета (просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 02000, Украина).

Odarchenko Roman – PhD in Technical Sciences, Vice-director of Educational and Scientific Institute of Air Navigation Vice-Head of NAU Young Scientists Association (1 Cosmonaut Komarov blvd. 02000 Kyiv, Ukraine).

E-mail: odarchenko.r.s@ukr.net

ResearcherID: E-9845-2017

Харлай Людмила Олексіївна – здобувач, викладач-методист вищої категорії, голова комісії інформаційних мереж зв'язку, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

Харлай Людмила Алексеевна – соискатель, преподаватель-методист высшей категории, председатель комиссии информационных сетей связи, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

Kharlay Liudmyla – applicant, the teacher-methodologist of the highest category, the head of the Information Communication Networks Department, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str, 01030 Kyiv, Ukraine).

E-mail: Lharlay@i.ua