

DOI: [10.18372/2225-5036.23.11548](https://doi.org/10.18372/2225-5036.23.11548)

## МЕТОД ОЦІНКИ КЛЮЧОВИХ ПОКАЗНИКІВ ЗАХИЩЕНОСТІ В СУЧАСНИХ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖАХ

Роман Одарченко, Ольга Скульська, Віктор Гнатюк, Дмитро Вергелес

Національний авіаційний університет, Україна



**ОДАРЧЕНКО Роман Сергійович**, к.т.н.

*Рік та місце народження:* 1988 рік, с. Култук Слюдянського р-ну Іркутської області, РФ  
*Освіта:* Національний авіаційний університет, 2010 рік.

*Посада:* доцент кафедри телекомунікаційних систем з 2012 року.

*Наукові інтереси:* стільникові мережі зв'язку нового покоління та їх системи безпеки.

*Публікації:* більше 90 наукових публікацій, серед яких наукові статті та патенти на винаходи.

*E-mail:* [odarchenko.r.s@mail.ru](mailto:odarchenko.r.s@mail.ru)



**СКУЛЬСЬКА Ольга Юріївна**

*Рік та місце народження:* 1995 рік, м. Житомир, Україна

*Освіта:* з 2013 року студентка Національного авіаційного університету

*Наукові інтереси:* стільникові мережі зв'язку нового покоління та їх системи безпеки, телекомунікаційні системи та мережі.

*E-mail:* [olgaskulska@mail.ru](mailto:olgaskulska@mail.ru)



**ГНАТЮК Віктор Олександрович**

*Рік та місце народження:* 1990 рік, м. Нетішин, Хмельницька область, Україна.

*Освіта:* Хмельницький національний університет, 2012 рік.

*Посада:* асистент кафедри телекомунікаційних систем з 2015 року.

*Наукові інтереси:* інформаційна безпека, управління кіберінцидентами, телекомунікаційні системи та мережі.

*Публікації:* більше 20 наукових публікацій, серед яких наукові статті, тези та матеріали доповідей на конференціях, авторські свідоцтва.

*E-mail:* [viktorgnatyuk@meta.ua](mailto:viktorgnatyuk@meta.ua)



**ВЕРГЕЛЕС Дмитро Дмитрович**

*Рік та місце народження:* 1960 рік, м. Львів, Україна.

*Освіта:* Орловське вище військово командне училище зв'язку, 1981 рік, Військова академія зв'язку, м. Ленінград, 1990 рік, Українська академія державного управління при Президентові України, м. Київ, 2003 рік.

*Посада:* здобувач кафедри телекомунікаційних систем з 2015 року.

*Наукові інтереси:* телекомунікаційні системи та мережі, безпека інформації, кіберзахист.

*Публікації:* більше 10 наукових публікацій, серед яких наукові статті, тези та матеріали доповідей на конференціях.

*E-mail:* [dndi\\_vdd@dsszzi.gov.ua](mailto:dndi_vdd@dsszzi.gov.ua)

**Анотація.** В цій статті розглянуто один із основних методів оцінки ключових показників захищеності в сучасних стільникових мережах. Для покращення захищеності стільникових мереж, необхідно перш за все провести аналіз існуючого нині рівня захищеності, та створити методіку для покращення захисту передачі даних. Існуючі нині засоби оцінки не розділяють ключові показники якості та ефективності для конкретних послуг, які надаються операторами мобільного зв'язку. Це обмежує можливості контролю безпеки наданих послуг та модернізацію стільникових мереж. На основі методіки ключових показників якості та ефективності, було розроблено та представлено узагальнюючу таблицю яка містить відповідні формули, для

розрахунку цих показників. Ця таблиця дає можливість більш гнучко оцінювати безпеку наданих послуг, а також виділяти основні проблеми, на основі статистичних даних конкретних користувачів. В цілому, розглянутий метод дозволяє здійснювати постійний контроль над інформаційною безпекою стільникової мережі, та попереджає порушення цілісності безпеки функціонування мережі.

**Ключові слова:** KPI, KQI, стільникова мережа, безпека, послуги, якість обслуговування, LTE, 3G.

## Вступ

Побудова інформаційного суспільства в Україні є одним з найактуальніших завдань сьогодення. Велике значення при цьому відіграє впровадження перспективних інформаційних технологій та методів автоматизації. Питання використання глобальної інформаційної мережі Інтернет є одним з пріоритетних напрямів державної політики у сфері інформатизації. В Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні до пріоритетів формування сучасної інформаційної інфраструктури країни віднесено створення високошвидкісних мереж широкосмугового мобільного доступу до Інтернет на всій території України [1]. Йдеться про широкосмуговий доступ на базі використання технологій мобільного зв'язку третього і четвертого покоління 3G і 4G (від англ. «generation» – покоління). На вирішення питань щодо впровадження 4G технологій на території України спрямовано реалізацію національного проекту «Відкритий світ» [2], яким передбачається створення інформаційно-комунікаційної освітньої мережі національного рівня на базі технологій радіозв'язку четвертого покоління.

Отже, виходячи з вищесказаного, можна сказати, що розвиток інфраструктури широкосмугового доступу до Інтернет на всій території України на базі створення високошвидкісних мереж четвертого покоління є задачею актуальною та перспективною. Для рядового користувача 4G основні переваги цілком очевидні: по-перше, висока швидкість передачі даних, по-друге, малий час відклику, а по-третє, телефон буде працювати навіть в зоні дії подавлювача стільникових телефонів. В цих умовах для користувачів важливо завжди отримувати високошвидкісний та якісний доступ до мережевих ресурсів, незалежно від місця знаходження. Натомість оператору важливо постійно відслідковувати ключові параметри якості обслуговування, що дозволить оперативного контролювати якість надаваних користувачам послуг та захищеність передаваних даних.

## Аналіз досліджень та публікацій

В той час, як в іноземній літературі велося порівняння мереж нового покоління [3], визначення їх переваг та недоліків [4, 5], розроблялися вимоги до мереж нового покоління, наприклад, 5G [6], у вітчизняній літературі широко досліджувалися лише теоретичні аспекти впровадження мереж 3G та 4G [7] та у часткових випадках проводилась оцінка параметрів якості обслуговування абонентів [8], вибір оптимальних рішень для побудови радіомереж та транспортних мереж операторів стільникового зв'язку [9, 10] тощо. В Україні також діє стандарт, який визначає показники, параметри якості та методи вимірювання якості телекомунікаційних послуг рухомого (мобільного) зв'язку [11]. Проте вищезгадані

наукові праці вітчизняних авторів присвячені мережам більш ранніх поколінь (здебільшого GSM). Що стосується мереж 4G, то оцінці якості обслуговування мереж LTE, наприклад, присвячено наступні праці [12, 13], в яких досліджується вплив показників якості обслуговування на швидкість передавання даних, зменшення імовірності бітової помилки тощо. Виокремити можна праці [13], які присвячені інформаційній безпеці в стільникових мережах 4G та 5G [14].

## Постановка мети та завдання дослідження

Однією з найбільш актуальних задач, під час організації мереж мобільного стільникового зв'язку, залишається задача планування, оптимізації та максимально ефективного використання ресурсів цієї мережі, при чому захист передаваних даних має бути ключовим моментом при плануванні таких мереж та їх подальшого використання.

Тому з метою оптимізації вже існуючих та побудови нових мереж 3G/4G необхідно розробити певні процедури вибору оптимальних критеріїв показників якості обслуговування (з точки зору захищеності) при впровадженні нових послуг, що надасть змогу операторам більш гнучко та точно контролювати дійсно ключові параметри.

При цьому слід констатувати, що в Україні відсутня будь-яка документація яка регламентує показники якості мобільного стільникового зв'язку 3G/4G. Контроль якості послуг проводиться в рамках внутрішнього аудиту підприємства зв'язку, тобто лише частково контролюється державними установами. Не існує певного конкретного алгоритму та методики контролю якості послуг. Таким чином, є доцільним розвиток та створення єдиної бази контрольованих показників якості, важливих як з точки зору користувачів, так і підприємств. Важливо ввести певні норми на ці показники та допустимі значення, методи їх вимірювання, які будуть єдиними для всіх операторів мобільного зв'язку, і зможуть використовуватись контролюючими державними органами метою підвищення якості надання послуг зв'язку. В умовах конкуренції на ринку телекомунікаційних послуг необхідна розробка відповідних регламентуючих документів.

Ця задача не являється тривіальною, тому буде розбита на декілька підзадач. Тому, метою даної роботи буде розробка методу вибору та оцінки ключових показників захищеності в сучасних стільникових мережах.

## Виклад основного матеріалу дослідження

Для розробки даного методу скористуємося положеннями, які засновані на використанні ключових показників ефективності та якості. Отже, насамперед необхідно визначити різницю між KQI та KPI.

Як ілюструє рис.1, KPI (Key Performance Indicator) – ключовий показник ефективності функціонування, безпосередньо відноситься до якості функціонування самої мережі. Створення та використання цих показників направлено безпосередньо на мережу. KQI (Key Quality Indicator) – ключовий показник якості функціонування мережі, функціонує на рівні сервісу. CEI (Customer Experience Management) відповідає за управління цими показниками.

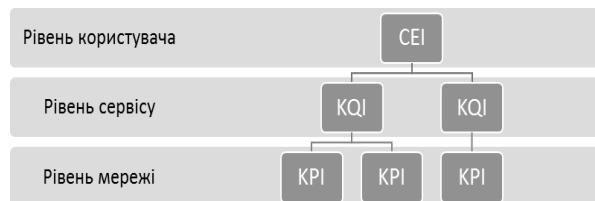


Рис. 1. Рівні оцінки якості функціонування стільникової мережі зв'язку

Відмінності між показниками KQI та KPI

Таблиця 1

ГРУПА ПОКАЗНИКІВ	МІСЦЕ ОЦІНКИ	МЕТОД ОТРИМАННЯ ЗНАЧЕНЬ	ДЕ ВРАХОВУЮТЬСЯ	ОСОБЛИВОСТІ
KPI	Внутрішній індикатор якості	Отримуються за допомогою мережевих лічильників	При технічному обслуговуванні, створення бізнес-моделі та аудиту стільникової мережі	Безпосередньо впливають на продуктивність мережі, та її функціонування
KQI	Зовнішній індикатор якості	Додаткові тестування та опитування абонента	При порівнянні якості наданих послуг різними операторами стільниково-го зв'язку та оцінка якості обслуговування з боку сприйняття користувачем	Не можуть вимірюватись внутрішнім обладнанням мережі. Можуть використовуватись як додаткові показники ,при оцінці якості функціонування мережі

Тобто, як видно із рис. 1 та табл. 1, KQI формуються на основі KPI. Показники якості KQI, не завжди є об'єктивними, оскільки базуються на особистих враженнях користувача мережі. Доцільніше визначити взаємозалежність цих суб'єктивних показників із об'єктивними, для чого було розроблено представлений нижче метод.

Запропонований метод реалізується у чотири етапи: **Етап 1 – Визначення послуги.** Для реалізації цього етапу введемо множину послуг аналіз яких потрібно провести  $S: \{\bigcup_{i=1}^n S_i\} = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ , (1)

де  $S_i \subseteq S$ , ( $i = \overline{1, n}$ ),  $n$  – кількість послуг, а

$$S_i = \{\bigcup_{j=1}^{m_i} S_{ij}\} = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{im_i}\}, \quad (2)$$

при цьому  $S_{ij}$  ( $j = \overline{1, m_i}$ ) – підмножини елементів системи безпеки. Зважаючи на (2) запишемо вираз (1) наступним чином:

$$\{\bigcup_{i=1}^n S_i\} = \{\bigcup_{i=1}^n \{\bigcup_{j=1}^{m_i} S_{ij}\}\} = \{\{S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1m_1}\}, \{S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2m_2}\}, \dots\} \quad (3)$$

$$\{\bigcup_{i=1}^5 S_i\} = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\} = \{S_{VC}, S_{IA}, S_{MMS/SMS}, S_{VS}, S_{TAR/OAC}\} = \{VC, IA, MMS / SMS, VS, TAR / OAC\},$$

де  $S_1 = S_{VC} = VC$ ,  $S_2 = S_{IA} = IA$ ,  $S_3 = S_{MMS/SMS} = MMS / SMS$ ,  $S_4 = S_{VS} = VS$ ,  $S_5 = S_{OAC} = TAR / OAC$  – пос-

$$\dots, \{S_{n1}, S_{n2}, \dots, S_{nm_n}\}, (j = \overline{1, m_i}).$$

Підмножини показників KQI/KPI  $S_{ij} \subseteq S_i$  визначимо як:

$$S_{ij} = \{\bigcup_{p=1}^{r_{ij}} S_{ijp}\} = \{S_{ij1}, S_{ij2}, \dots, S_{ijr_{ij}}\}, \quad (4)$$

де  $S_{ijp}$  ( $p = \overline{1, r_{ij}}$ ) – показники, що характеризують елемент системи безпеки  $S_{ij}$ ;  $r_{ij}$  – кількість таких показників.

Тоді вираз (3) з урахуванням (4) отримає наступний вигляд:

$$\{\bigcup_{i=1}^n S_i\} = \{\bigcup_{i=1}^n \{\bigcup_{j=1}^{m_i} S_{ij}\}\} = \{\bigcup_{i=1}^n \{\bigcup_{j=1}^{m_i} \{\bigcup_{p=1}^{r_{ij}} S_{ijp}\}\}\} = \{\{\{S_{111}, S_{112}, \dots, S_{11r_{11}}\}, \{S_{121}, S_{122}, \dots, S_{12r_{12}}\}, \dots, \{S_{1m_11}, S_{1m_12}, \dots, S_{1m_1r_{m_1}}\}\}, \{\{S_{211}, S_{212}, \dots, S_{21r_{21}}\}, \{S_{221}, S_{222}, \dots, S_{22r_{22}}\}, \dots, \{S_{2m_21}, S_{2m_22}, \dots, S_{2m_2r_{m_2}}\}\}, \dots, \{\{S_{n11}, S_{n12}, \dots, S_{n1r_{n1}}\}, \{S_{n21}, S_{n22}, \dots, S_{n2r_{n2}}\}, \dots, \{S_{nm_n1}, S_{nm_n2}, \dots, S_{nm_nr_{m_n}}\}\}\}.$$

Наприклад, використовуючи класифікацію послуг, відповідно до рекомендації Huawei [15], при  $n = 5$ , згідно виразу (1), отримаємо:

луги відповідно до рекомендації Huawei. Розглянемо детальніше перелік послуг (табл. 2).

Класифікація послуг

Таблиця 2

Назва послуги	Елемент системи безпеки (Код)	Показники
Голосовий зв'язок Voice Communication VC	Authorization (AUT)	Відсоток невдалих запитів авторизації $S\_AUT$ ; час відповіді на невдалу спробу авторизації $T\_AUT$ ; час відгуку на запит авторизація $TZ\_AUT$ ; max потік запиту авторизації $M\_AUT$ ; кількість скарг клієнтів на невдалу спробу авторизації $N\_AUT$

Продовження таблиці 2

	Authentication (AUTE)	Відсоток невдалих запитів автентифікації S_AUTE ; час відповіді на невдалу спробу автентифікації T_AUTE; час відгуку на запит автентифікації TZ_AUTE; max потік запиту автентифікації M_AUTE; кількість скарг клієнтів на невдалу спробу автентифікації N_AUTE
	Identification (IDE)	Відсоток невдалих запитів ідентифікації S_IDE; час відповіді на невдалу спробу ідентифікації T_IDE; час відгуку на запит ідентифікації TZ_IDE; max потік запиту ідентифікації M_IDE; кількість скарг клієнтів на невдалу спробу ідентифікації N_IDE
	Encryption (ENC)	Швидкість шифрування V_ENC; час відгуку на запит шифрування TZ_ENC
Доступ до мережі Інтернет Internet Access IA	Authorization (AUT)	Відсоток невдалих запитів авторизації S_AUT; час відповіді на невдалу спробу авторизації T_AUT; час відгуку на запит авторизація TZ_AUT; max потік запиту авторизації M_AUT
	Authentication (AUTE)	Відсоток невдалих запитів автентифікації S_AUTE; час відповіді на невдалу спробу автентифікації T_AUTE; час відгуку на запит автентифікації TZ_AUTE; max потік запиту автентифікації M_AUTE
	Identification (IDE)	Відсоток невдалих запитів ідентифікації S_IDE; час відповіді на невдалу спробу ідентифікації T_IDE; час відгуку на запит ідентифікації TZ_IDE; max потік запиту ідентифікації M_IDE
	Encryption (ENC)	Швидкість шифрування V_ENC; час відгуку на запит шифрування TZ_ENC
MMS/SMS	Authorization (AUT)	Відсоток невдалих запитів авторизації S_AUT; час відповіді на невдалу спробу авторизації T_AUT; час відгуку на запит авторизація TZ_AUT; max потік запиту авторизації M_AUT
	Authentication (AUTE)	Відсоток невдалих запитів автентифікації S_AUTE ; час відповіді на невдалу спробу автентифікації T_AUTE; час відгуку на запит автентифікації TZ_AUTE; max потік запиту автентифікації M_AUTE
	Identification (IDE)	Відсоток невдалих запитів ідентифікації S_IDE ; час відповіді на невдалу спробу ідентифікації T_IDE; час відгуку на запит ідентифікації TZ_IDE; max потік запиту ідентифікації M_IDE
	Encryption (ENC)	Швидкість шифрування V_ENC; час відгуку на запит шифрування TZ_ENC
Video Streaming VS	Authorization (AUT)	Відсоток невдалих запитів авторизації S_AUT; час відповіді на невдалу спробу авторизації T_AUT; час відгуку на запит авторизація TZ_AUT; max потік запиту авторизації M_AUT
	Authentication (AUTE)	Відсоток невдалих запитів автентифікації S_AUTE ; час відповіді на невдалу спробу автентифікації T_AUTE; час відгуку на запит автентифікації TZ_AUTE; max потік запиту автентифікації M_AUTE
	Identification (IDE)	Відсоток невдалих запитів ідентифікації S_IDE ; час відповіді на невдалу спробу ідентифікації T_IDE; час відгуку на запит ідентифікації TZ_IDE; max потік запиту ідентифікації M_IDE
	Encryption (ENC)	Швидкість шифрування V_ENC; час відгуку на запит шифрування TZ_ENC
Tarification/OAC	Tarification (TAR)	Правильність тарифікації T_TAR

$$S_2 = \left\{ \bigcup_{j=1}^4 S_{ij} \right\} = \{S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{24}\} = \{S_{IA1}, S_{IA2}, S_{IA3}, S_{IA4}\} = \{IA_{AUT}, IA_{AUTE}, IA_{IDE}, IA_{ENC}\} = \{AUT, AUTE, IDE, ENC\},$$

$$S_3 = \left\{ \bigcup_{j=1}^4 S_{ij} \right\} = \{S_{31}, S_{32}, S_{33}, S_{34}\} = \{S_{MMS/SMS1}, S_{MMS/SMS2}, S_{MMS/SMS3}, S_{MMS/SMS4}\} = \{MMS / SMS_{AUT}, MMS / SMS_{AUTE}, MMS / SMS_{IDE}, MMS / SMS_{ENC}\} = \{AUT, AUTE, IDE, ENC\},$$

де  $S_{31} = S_{MMS/SMS1} = MMS / SMS_{AUT} = AUT$ ,  $S_{32} = S_{MMS/SMS2} = MMS / SMS_{AUTE} = AUTE$ ,  $S_{33} = S_{MMS/SMS3} = MMS / SMS_{IDE} = IDE$ ,  $S_{34} = S_{MMS/SMS4} = MMS / SMS_{ENC} = ENC$  - елементи системи безпеки послуги MMS/SMS, відповідно до рекомендацій Huawei (табл. 2).

$$S_4 = \left\{ \bigcup_{j=1}^4 S_{ij} \right\} = \{S_{41}, S_{42}, S_{43}, S_{44}\} = \{S_{VS1}, S_{VS2}, S_{VS3}, S_{VS4}\} = \{VS_{AUT}, VS_{AUTE}, VS_{IDE}, VS_{ENC}\} = \{AUT, AUTE, IDE, ENC\},$$

де  $S_{41} = S_{VS1} = VS_{AUT} = AUT$ ,  $S_{42} = S_{VS2} = VS_{AUTE} = AUTE$ ,  $S_{43} = S_{VS3} = VS_{IDE} = IDE$ ,  $S_{44} = S_{VS4} = VS_{ENC} = ENC$  - еле-

де  $S_{21} = S_{IA1} = IA_{AUT} = AUT$ ,  $S_{22} = S_{IA2} = IA_{AUTE} = AUTE$ ,  $S_{23} = S_{IA3} = IA_{IDE} = IDE$ ,  $S_{24} = S_{IA4} = IA_{ENC} = ENC$  - елементи системи безпеки послуги Internet Access, відповідно до рекомендацій Huawei (табл. 2).

менти системи безпеки послуги Video Streaming, відповідно до рекомендацій Huawei (табл. 2).

$$S_5 = \left\{ \bigcup_{j=1}^1 S_{ij} \right\} = \{S_{51}\} = \{S_{TAR/OAC1}\} = \{TAR / OAC\},$$

де  $S_{51} = S_{TAR/OAC1} = TAR / OAC$  - елементи системи безпеки послуги Tarification, відповідно до рекомендацій Huawei (табл. 2). Кожен з елементів системи безпеки характеризується певними показниками (табл. 2). Використовуючи вирази (3-5) сформуємо значення  $r_{ij} (i = 1, n, j = 1, m_i)$ .

Наприклад, відповідно до рекомендацій Huawei, згідно табл. 2,

$r_{ij} (i = \overline{1,5}, m_1 = 4, m_2 = 4, m_3 = 4, m_4 = 4, m_5 = 1)$  . Як-

що в якості  $S$  виберемо множину послуг згідно рекомендацій Huawei, то  $S = S_{Huawei}$ , тоді отримаємо:

$$\begin{aligned}
 S_{Huawei} &= \left\{ \bigcup_{i=1}^5 S_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^5 \left( \bigcup_{j=1}^{m_i} S_{ij} \right) \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^5 \left( \bigcup_{j=1}^{m_i} \left( \bigcup_{p=1}^{r_{ij}} S_{ijp} \right) \right) \right\} = \\
 &= \{ \{S_{1,1,1}, S_{1,1,2}, \dots, S_{1,1,r_1}\}, \{S_{1,2,1}, S_{1,2,2}, \dots, S_{1,2,r_2}\}, \dots, \{S_{1,m_1,1}, S_{1,m_1,2}, \dots, S_{1,m_1,r_{m_1}}\} \}, \\
 &\{ \{S_{2,1,1}, S_{2,1,2}, \dots, S_{2,1,r_1}\}, \{S_{2,2,1}, S_{2,2,2}, \dots, S_{2,2,r_2}\}, \dots, \{S_{2,m_2,1}, S_{2,m_2,2}, \dots, S_{2,m_2,r_{m_2}}\} \}, \dots, \\
 &\{ \{S_{n,1,1}, S_{n,1,2}, \dots, S_{n,1,r_1}\}, \{S_{n,2,1}, S_{n,2,2}, \dots, S_{n,2,r_2}\}, \dots, \{S_{n,m_n,1}, S_{n,m_n,2}, \dots, S_{n,m_n,r_{m_n}}\} \} = \\
 &= \{ \{S_{1,1,1}, S_{1,1,2}, \dots, S_{1,1,5}\}, \{S_{1,2,1}, S_{1,2,2}, \dots, S_{1,2,5}\}, \{S_{1,3,1}, S_{1,3,2}, \dots, S_{1,3,5}\}, \{S_{1,4,1}, S_{1,4,2}\} \}, \\
 &\{ \{S_{2,1,1}, S_{2,1,2}, S_{2,1,3}, S_{2,1,4}\}, \{S_{2,2,1}, S_{2,2,2}, S_{2,2,3}, S_{2,2,4}\}, \{S_{2,3,1}, S_{2,3,2}, S_{2,3,3}, S_{2,3,4}\}, \{S_{2,4,1}, S_{2,4,2}\} \}, \\
 &\{ \{S_{3,1,1}, S_{3,1,2}, S_{3,1,3}, S_{3,1,4}\}, \{S_{3,2,1}, S_{3,2,2}, S_{3,2,3}, S_{3,2,4}\}, \{S_{3,3,1}, S_{3,3,2}, S_{3,3,3}, S_{3,3,4}\}, \{S_{3,4,1}, S_{3,4,2}\} \}, \\
 &\{ \{S_{4,1,1}, S_{4,1,2}, S_{4,1,3}, S_{4,1,4}\}, \{S_{4,2,1}, S_{4,2,2}, S_{4,2,3}, S_{4,2,4}\}, \{S_{4,3,1}, S_{4,3,2}, S_{4,3,3}, S_{4,3,4}\}, \{S_{4,4,1}, S_{4,4,2}\} \}, \\
 &\{ \{S_{5,1,1}\} \} = \{ \{S_{VC,1,1}, S_{VC,1,2}, \dots, S_{VC,1,5}\}, \{S_{VC,2,1}, S_{VC,2,2}, \dots, S_{VC,2,5}\}, \{S_{VC,3,1}, S_{VC,3,2}, \dots, S_{VC,3,5}\}, \{S_{VC,4,1}, S_{VC,4,2}\} \}, \\
 &\{ \{S_{IA,1,1}, S_{IA,1,2}, S_{IA,1,3}, S_{IA,1,4}\}, \{S_{IA,2,1}, S_{IA,2,2}, S_{IA,2,3}, S_{IA,2,4}\}, \{S_{IA,3,1}, S_{IA,3,2}, S_{IA,3,3}, S_{IA,3,4}\}, \{S_{IA,4,1}, S_{IA,4,2}\} \}, \\
 &\{ \{S_{MMS/SMS,1,1}, S_{MMS/SMS,1,2}, S_{MMS/SMS,1,3}, S_{MMS/SMS,1,4}\}, \{S_{MMS/SMS,2,1}, S_{MMS/SMS,2,2}, S_{MMS/SMS,2,3}, S_{MMS/SMS,2,4}\}, \\
 &\{S_{MMS/SMS,3,1}, S_{MMS/SMS,3,2}, S_{MMS/SMS,3,3}, S_{MMS/SMS,3,4}\}, \{S_{MMS/SMS,4,1}, S_{MMS/SMS,4,2}\} \}, \\
 &\{ \{S_{VS,1,1}, S_{VS,1,2}, S_{VS,1,3}, S_{VS,1,4}\}, \{S_{VS,2,1}, S_{VS,2,2}, S_{VS,2,3}, S_{VS,2,4}\}, \{S_{VS,3,1}, S_{VS,3,2}, S_{VS,3,3}, S_{VS,3,4}\}, \{S_{VS,4,1}, S_{VS,4,2}\} \}, \\
 &\{ \{S_{TAR,1,1}\} \} = \{ \{VC_{AUT,1}, VC_{AUT,2}, \dots, VC_{AUT,5}\}, \{VC_{AUTE,1}, VC_{AUTE,2}, \dots, VC_{AUTE,5}\}, \{VC_{IDE,1}, VC_{IDE,2}, \dots, VC_{IDE,5}\}, \{VC_{ENC,1}, VC_{ENC,2}\} \}, \\
 &\{ \{IA_{AUT,1}, IA_{AUT,2}, IA_{AUT,3}, IA_{AUT,4}\}, \{IA_{AUTE,1}, IA_{AUTE,2}, IA_{AUTE,3}, IA_{AUTE,4}\}, \{IA_{IDE,1}, IA_{IDE,2}, IA_{IDE,3}, IA_{IDE,4}\}, \{IA_{ENC,1}, IA_{ENC,2}\} \}, \\
 &\{ \{MMS/SMS_{AUT,1}, MMS/SMS_{AUT,2}, MMS/SMS_{AUT,3}, MMS/SMS_{AUT,4}\}, \\
 &\{MMS/SMS_{AUTE,1}, MMS/SMS_{AUTE,2}, MMS/SMS_{AUTE,3}, MMS/SMS_{AUTE,4}\}, \\
 &\{MMS/SMS_{IDE,1}, MMS/SMS_{IDE,2}, MMS/SMS_{IDE,3}, MMS/SMS_{IDE,4}\}, \{MMS/SMS_{ENC,1}, MMS/SMS_{ENC,2}\} \}, \\
 &\{ \{VS_{AUT,1}, VS_{AUT,2}, VS_{AUT,3}, VS_{AUT,4}\}, \{VS_{AUTE,1}, VS_{AUTE,2}, VS_{AUTE,3}, VS_{AUTE,4}\}, \{VS_{IDE,1}, VS_{IDE,2}, VS_{IDE,3}, VS_{IDE,4}\}, \{VS_{ENC,1}, VS_{ENC,2}\} \}, \\
 &\{ \{TAR/OAC_{TAR,1}\} \} = \{ \{AUT_{S\_AUTvc}, AUT_{T\_AUTvc}, \dots, AUT_{N\_AUTvc}\}, \{AUTE_{S\_AUTvc}, AUTE_{T\_AUTvc}, \dots, AUTE_{N\_AUTvc}\}, \\
 &\{IDE_{S\_IDEvc}, IDE_{T\_IDEvc}, \dots, IDE_{N\_IDEvc}\}, \{ENC_{V\_ENCvc}, ENC_{TZ\_ENCvc}\} \}, \\
 &\{ \{AUT_{S\_AUTEia}, AUT_{T\_AUTEia}, AUT_{TZ\_AUTEia}, AUT_{M\_AUTEia}\}, \{AUTE_{S\_AUTEia}, AUTE_{T\_AUTEia}, AUTE_{TZ\_AUTEia}, AUTE_{M\_AUTEia}\}, \\
 &\{IDE_{S\_IDEia}, IDE_{T\_IDEia}, IDE_{TZ\_IDEia}, IDE_{M\_IDEia}\}, \{ENC_{V\_ENCIa}, ENC_{TZ\_ENCIa}\} \}, \\
 &\{ \{AUT_{S\_AUTEms}, AUT_{T\_AUTEms}, AUT_{TZ\_AUTEms}, AUT_{M\_AUTEms}\}, \{AUTE_{S\_AUTEms}, AUTE_{T\_AUTEms}, AUTE_{TZ\_AUTEms}, AUTE_{M\_AUTEms}\}, \\
 &\{IDE_{S\_IDEms}, IDE_{T\_IDEms}, IDE_{TZ\_IDEms}, IDE_{M\_IDEms}\}, \{ENC_{V\_ENCms}, ENC_{TZ\_ENCms}\} \}, \\
 &\{ \{AUT_{S\_AUTEvs}, AUT_{T\_AUTEvs}, AUT_{TZ\_AUTEvs}, AUT_{M\_AUTEvs}\}, \{AUTE_{S\_AUTEvs}, AUTE_{T\_AUTEvs}, AUTE_{TZ\_AUTEvs}, AUTE_{M\_AUTEvs}\}, \\
 &\{IDE_{S\_IDEvs}, IDE_{T\_IDEvs}, IDE_{TZ\_IDEvs}, IDE_{M\_IDEvs}\}, \{ENC_{V\_ENCvs}, ENC_{TZ\_ENCvs}\} \}, \{ \{TAR\} \} \},
 \end{aligned}$$

де  $S_{1,1,1} = S_{VC,1,1} = VC_{AUT,1} = AUT_{S\_AUTvc}$ ,  $S_{1,1,2} = S_{VC,1,2} = VC_{AUT,2} = AUT_{T\_AUTvc} \dots S_{n,m_n,r_{m_n}} = S_{5,1,1} = S_{TAR,1,1} = TAR/OAC_{TAR,1} = TAR$  - підмножини показників.

**Етап 2 - Визначення показників КРІ.** На цьому етапі обираються ключові показники ефективності серед  $S_{ijp}$ , використовуючи багатofакторний кореляційно-регресійний аналіз. Для побудови багатofакторної регресійної моделі виділимо такі кроки:

**Крок 1. Вибір всіх можливих факторів,** які впливають на показник (або процес), що досліджується. Для кожного фактора потрібно визначити його числові характеристики. Якщо деякі фактори неможливо кількісно чи якісно визначити або для них недоступна статистика, то їх вилучають з подальшого розгляду.

**Крок 2. Вибір вигляду регресійної чи багатofакторної моделі,** тобто знаходження аналітичного виразу, котрий найкраще відображував би зв'язок факторних ознак з результативною, тобто вибір функції:

$$\hat{Y} = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (6)$$

де  $\hat{Y}$  - результативна ознака-функція;  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  - факторні ознаки.

**Крок 3. Перевірка адекватності отриманої моделі.** Для цього необхідно обчислити:

- залишки моделі, тобто розбіжності між спостереженими та розрахунковими значеннями:

$$u_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - (a_0 + a_1 X_{1i} + a_2 X_{2i} + \dots + a_n X_{ni}), \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (7)$$

- відносну похибку залишків та її середнє значення:

$$\delta_i = \frac{u_i}{y_i} \cdot 100\%, \quad \delta = \frac{\sum_{i=1}^m \delta_i}{m}; \quad (8)$$

- середньоквадратичну помилку дисперсії збурень:

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m u_i^2}{m - n - 1}}; \quad (9)$$

- коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m u_i^2}{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}; \quad (10)$$

- коефіцієнт множинної кореляції  $R$ , який є основним показником щільності кореляційного зв'язку узагальненого показника з факторами:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (11)$$

Всі значення коефіцієнта кореляції  $R$  належать інтервалу від -1 до 1. Знак коефіцієнта показує «напрямок» зв'язку: додатне значення свідчить про «прямий» зв'язок, від'ємне значення - про «зворотний» зв'язок, а значення «0» - про відсутність лінійного кореляційного зв'язку. При  $R=1$  або  $R=-1$  маємо функціональний зв'язок між ознаками. Множинний коефіцієнт кореляції  $R$  є основною характеристикою тісноти взаємозв'язку між результативною ознакою та сукупністю факторних ознак.

**Крок 4. Перевірка адекватності моделі.** Перевірка здійснюється за допомогою статистики Фішера з  $n$  та  $(m-n-1)$  ступенями вільності:

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{m-n-1}{n}, \quad (12)$$

де  $n$  - кількість факторів, що увійшли в модель;  $m$  - загальна кількість спостережень;  $R$  - коефіцієнт множинної кореляції.

За таблицями Фішера знаходиться критичне значення  $F_{кр}$  з  $n$  та  $(m-n-1)$  ступенями вільності. Якщо  $F > F_{кр}$ , то це свідчить про адекватність побудованої моделі. Якщо модель не адекватна, то необхідно повернутися до етапу побудови моделі і, можливо, ввести додаткові фактори або перейти до нелінійної моделі.

**Крок 5. Перевірка значущості коефіцієнтів рівняння регресії.** Перевірка здійснюється за допомогою  $t$ -статистики, яка для параметрів багатфакторної регресії має вигляд:

$$t_i = \frac{a_i}{\sigma_{a_i}}, \quad (13)$$

де  $\sigma_{a_i}^2$  - середньоквадратичне відхилення оцінки  $i$ -го параметра. Якщо значення  $t_i$  перевищує критичне значення, яке знаходиться за таблицями  $t$ -критерію Стюдента, то відповідний параметр є статистично значимим і має істотний вплив на узагальнюючий показник.

**Крок 6. Обчислення коефіцієнта еластичності.** Відмінності в одиницях вимірювання факторів усувають використанням часткових коефіцієнтів еластичності, що задаються співвідношенням:

$$\varepsilon_i = \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_i} \cdot \frac{\bar{x}_i}{\bar{y}}, \quad (14)$$

де  $x_i$  - середнє значення  $i$ -го параметра;  $y$  - середнє значення результативної ознаки.

Частковий коефіцієнт еластичності  $\varepsilon_i$  вказує, на скільки відсотків в середньому змінюється результативна ознака із зміною на 1% фактора  $x_i$  при фіксованому значенні інших параметрів.

**Крок 7. Визначення довірчих інтервалів для параметрів регресії.** Довірчий інтервал при рівні надійності  $(1-\alpha)$  є інтервал з випадково визначеними межами, що з рівнем довіри  $(1-\alpha)$  накриває істинне значення коефіцієнта рівняння регресії  $a_i$  і задається залежностями:

$$(a_i - t_{\alpha/2,k} \sigma_{a_i}^2; a_i + t_{\alpha/2,k} \sigma_{a_i}^2), \quad (15)$$

де  $t_{\alpha/2,k}$  - статистика Стюдента з  $k=m-n-1$  ступенями свободи і рівні значущості  $\alpha$ ;  $\sigma_{a_i}^2$  - середньоквадратичне відхилення оцінки параметра  $a_i$ .

Отже, за допомогою наведеної розрахункової процедури багатфакторного кореляційно-регресійного аналізу ми можемо оцінити вплив кожного із чинників, що утворюють модель процесу чи явища, на результативну ознаку і спрогнозувати поведінку об'єкта на майбутнє.

Наприклад, використовуючи показники діяльності вітчизняного оператора стільникового зв'язку було здійснено розрахунок за вищезазначеними кроками з використанням засобів MS Excel. Для дослідження було обрано послугу Голосового зв'язку (VC).

В результаті визначено показники **KPI**.

**Етап 3 - Оцінка показників KPI.** Для реалізації даного етапу проведемо розрахунки для згідно визначених (на етапі 2) KPI, використовуючи відповідні формули (табл. 3).

Нехай кількість невдалих запитів авторизації  $N_a = 7$ , загальна кількість запитів  $N = 90$ , тоді, відповідно до формули (табл. 3),  $S_a = \frac{N_a}{N} \cdot 100\% = \frac{7}{90} \cdot 100\% = 7.8\%$ .

**Етап 4 - Порівняння показників з гранично допустимими значеннями.**

На даному етапі отримані значення порівнюємо з гранично допустимими, можливими для забезпечення нормального функціонування мережі.

Якщо ці значення перевищують допустимі, необхідно провести аналіз пристроїв які функціонують в стільниковій мережі та виявити причини невідповідності отриманих значень.

Розрахунок показників функціонування мережі при надання послуг

Таблиця 3

Елемент системи безпеки	Показник	Формула для розрахунку
Authorization (AUT) Authentication (AUTE) Identification (IDE)	Відсоток невдалих запитів ідентифікації/авторизації/автентифікації	$S_i = \frac{N_i}{N} \cdot 100\%$ , де $N_i$ - к-сть невдалих запитів ідентифікації; $N$ - к-сть загальних запитів; $S_a = \frac{N_a}{N} \cdot 100\%$ , де $N_a$ - к-сть невдалих запитів авторизації; $N$ - к-сть загальних запитів; $S_{au} = \frac{N_{au}}{N} \cdot 100\%$ , де $N_{au}$ - к-сть невдалих запитів автентифікації; $N$ - к-сть загальних запитів

Продовження таблиці 3

	час відгуку на запит ідентифікації/авторизації/автентифікації	$T_i = T_{is} - T_{ir}$ , де $T_{is}$ - час відправки запиту на ідентифікацію; $T_{ir}$ - час отримання підтвердження спроби ідентифікації; $T_a = T_{as} - T_{ar}$ , де $T_{as}$ - час відправки запиту на авторизацію; $T_{ar}$ - час отримання підтвердження спроби авторизації; $T_{av} = T_{avs} - T_{avr}$ , де $T_{avs}$ - час відправки запиту на автентифікації; $T_{avr}$ - час отримання підтвердження спроби автентифікації
	тах потік запиту ідентифікації/авторизації/автентифікації	Вираховуються в залежності від технічних характеристик обладнання стільникової мережі
Encryption (ENC)	швидкість шифрування	$v = \frac{N_b}{T}$ , де $T$ - час шифрування; $N_b$ - кількість біт для шифрування
	час відгуку на запит шифрування	$T_{sh} = T_{shs} - T_{shr}$ , де $T_{shs}$ - час відправки запиту на початок шифрування; $T_{shr}$ - час отримання підтвердження запиту шифрування

Для порівняння отриманих значень в результаті розрахунків з гранично допустимими введемо логічну функцію еквівалентності:

$$E(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{при } x > y, \\ 0, & \text{при } x \leq y. \end{cases} \quad (16)$$

В результаті буде визначено робота якого елемента або елементів системи безпеки не відповідає вимогам. Наприклад, використовуючи граничні

значення показників (табл. 4) згідно виразу (16) здійснюємо порівняння з розрахованими значеннями (етап 3). В результаті буде визначено робота якого елемента або елементів мережі не відповідає вимогам, зазначеним в SLA та, відповідно, можуть бути застосовані певні заходи для приведення їх у відповідність до встановлених норм.

Граничні значення показників, при оцінці елементів безпеки

Таблиця 4

Тип наданих послуг	Відсоток невдалих запитів		Час відповіді на невдалу спробу		Час відгуку на запит	
	Нормальний рівень	Високий рівень	Нормальний рівень	Високий рівень	Нормальний рівень	Високий рівень
Ідентифікація	6%	4%	1 с.	0.6 с.	10 с.	5 с.
Автентифікація	6%	4%	1 с.	0.6 с.	10 с.	5 с.
Авторизація	6%	4%	1 с.	0.6 с.	10 с.	5 с.
Шифрування					10 с.	5 с.

## Висновки

Таким чином, в даній роботі було розроблено метод оцінки ключових показників якості обслуговування та продуктивності стільникових мереж за критеріями їх захищеності, який полягає у послідовному визначенні множини оцінюваних послуг, виборі на основі кореляційно-регресійного аналізу статистичних даних якості обслуговування оптимальних критеріїв оцінювання функціонування мережі, безпосередній їх оцінці та порівнянні із допустимим рівнем.

Розроблений метод дозволяє проводити оцінку найбільш важливих показників якості обслуговування та продуктивності мережі стільникового оператора з метою її оптимізації під час впровадження нових сервісів обслуговування абонентів.

## Література

- [1] Розпорядження Кабінету Міністрів України № 386-р від 15 травня 2013 р. «Про схвалення стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/386-2013-%D1%80>.
- [2] Про проект - Відкритий світ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.educum.ua/uk-ua/about/>.
- [3] Вишне夫斯基 В.М. Энциклопедия WiMAX: Путь к 4G / В.М. Вишне夫斯基, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техноспера, 2009. – 472 с.

- [4] GSA Evolution to LTE report [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.gsacom.com/downloads/pdf/GSA\\_Evolution\\_to\\_LTE\\_report\\_060514.php4](http://www.gsacom.com/downloads/pdf/GSA_Evolution_to_LTE_report_060514.php4).

- [5] Ericsson Mobility Report. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ericsson.com/mobility-report>.

- [6] Understanding 5G [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.arnitsu.com>.

- [7] Боллобаш О.О. Визначення показника якості обслуговування мобільної станції у випадку застосування процедури хендоверу // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2013, № 3(36). – С. 144-146.

- [8] Bezruk V.M. Multicriterion optimization in telecommunication networks planning, designing and controlling / V.M. Bezruk, A.N. Bukhanko, D.V. Chebotareva, V.V. Varich // Open Book «Telecommunications Networks». - Chapter 11. – Rijeka: Intech, 2012. – P. 251 – 274.

- [9] Chebotarjva D.V. Optimization of a Transport Cellular Communication Networks on Aggregate of Quality Indicators Totality / D. Chebotarjva, R. Gorbenko // IX International Electronics and Telecommunication Conference of Students and Young Scientists, Warsaw, Poland, 10 – 12 March 2009. – P.16.

- [10] Телекомунікаційні мережі рухомого (мобільного) зв'язку загального користування. - Телекомунікаційні послуги. Показники якості. Методи

випробування СОУ 64.2-00017584-006:2009 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nkrzi.gov.ua/images/upload/141/3961/dodatok12009.pdf>.

[11] Klymash M.M. Improving throughput using channel quality indicator in LTE technology / M.M. Klymash, Haider Abbas Al-Zayadi, O.A. Lavriv // Наукові праці ДонНТУ. – Серія: обчислювальна техніка та автоматизація. – 2014. – №1 (26). – 2014. – С. 134-143.

[12] Al-Shuraifi Mushtaq. How to Improve Bit Error Rate and Throughput by Resource Management and affect it on quality of service and modulation and coding schemes in resource block for LTE / Al-Shuraifi Mushtaq, Mikhail Reznikov, Al-Zayadi Haider // Електроніка та зв'язок. – № 3. – 2014. – С. 112-118.

[13] Одарченко Р.С. Аналіз вразливостей систем захисту інформації в мережах Wi-Маш та методів

їх усунення / Р.С. Одарченко, Ю.В. Беженар, А.О. Ксендзенко // Защита информации. Сб. научных трудов.- К.: НАУ. – 2011. – Вип. 18. – С. 39-44.

[14] Одарченко Р.С. Економічна ефективність впровадження систем захисту стільникових мереж 4G / Р.С. Одарченко, С.Ю. Лукін // Системи обробки інформації. – 2012. –№4 (102). – Т 2 - С. 51-56.

[15] Одарченко Р.С. Обґрунтування основних вимог до систем безпеки стільникових мереж 5-го покоління /Р.Одарченко // Безпека інформації. - 2015. - Т. 21. - № 3. - С. 229-235.

[16] KPI Reference Issue [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.slideshare.net/abdeyehia3/huaweitekpiref>.

#### УДК 621.39 (045)

**Одарченко Р.С., Скульская О.Ю., Гнатюк В.А., Вергелес Д.Д. Метод оценки ключевых показателей защищенности в современных сотовых сетях**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен один из основных методов оценки ключевых показателей защищенности в современных сотовых сетях. Для улучшения защищенности сотовых сетей, необходимо прежде всего провести анализ существующего ныне уровня защищенности и создать методику для улучшения защиты передачи данных. Существующие в настоящее время средства оценки не разделяют ключевые показатели качества и эффективности для конкретных услуг, предоставляемых операторами мобильной связи. Это ограничивает возможности контроля безопасности предоставляемых услуг и модернизации сотовых сетей. На основе методики ключевых показателей качества и эффективности, была разработана и представлена обобщающая таблица, которая содержит соответствующие формулы для расчета этих показателей. Эта таблица дает возможность более гибко оценивать безопасность предоставляемых услуг, а также выделять основные проблемы, на основе статистических данных, конкретных пользователей. В целом, данный метод позволяет осуществлять постоянный контроль над информационной безопасностью сотовой сети, и предупреждает нарушения целостности безопасности функционирования сети.

**Ключевые слова:** KPI, KQI, сотовая сеть, безопасность, услуги, качество обслуживания, LTE, 3G.

**Odarchenko R., Skulska O., Gnatyuk V., Vergeles D. Method of assessment security key indicators in modern cellular networks**

**Abstract.** This article examines one of the main assessment methods of security levels in today's mobile networks. To improve the security of cellular networks it is necessary to analyze the existing level of protection and create a solution that will improve data transmission security. The current assessment tools do not separate key indicators of quality and efficiency for specific services provided by mobile operators. This limits security control opportunities of services and modernization of cellular networks. Based on the methodology of key indicators of quality and efficiency the summary table that contains the formula for calculating these indicators was developed and presented. This table provides more flexibility to assess the security of provided services and highlight the main issues on the basis of statistical data gathered from specific users. Overall, this method allows continuous control over network information security and alerts about security violation in the network.

**Key words:** KPI, KQI, cellular network, security, service, service quality, LTE, 3G.

---

Отримано 13 березня 2017 року, затверджено редколегією 1 квітня 2017 року

---