

DOI: [10.18372/2410-7840.25.17934](https://doi.org/10.18372/2410-7840.25.17934)

УДК 621.317

ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОПТОВОЛОКОННОГО СЕРЕДОВИЩА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Людмила Погребняк, Марія Романенко, Юлія Болотюк

На сьогодні, для передачі інформації між складовими мереж на основі засобів з вбудованим програмним забезпеченням використовується декілька фізичних середовищ, а саме: радіоканал, оптоволоконні та проводові лінії. В роботі розглядається можливість зміни основних параметрів оптоволоконної лінії від часу експлуатації. При цьому вважається що умови експлуатації цих ліній відповідають умовам встановленим виробниками. У процесі експлуатації, оптоволоконні лінії передачі інформації піддаються різним зовнішнім впливам (нагрів, охолодження, сонячна радіація, механічне та електричне навантаження). Допустима ступінь цих впливів визначається технічною та експлуатаційною документацією і залежать від конструкції оптоволоконних виробів, кліматичного виконання, способу, монтажу та прокладки. Параметрами, які використовуються для оцінки, можуть бути: експлуатаційні (вимірюються штатними приладами без виведення обладнання з експлуатації); параметри технічного стану (вимірюються зовнішнім устаткуванням із зупинкою обладнання, частковим або повним розбиранням). На основі проведеного аналізу існуючих методів оцінки зміни основних параметрів оптоволоконних ліній у часі, поглиблено розглядається один із методів для вирішення завдань технічної діагностики мереж із вбудованим програмним забезпеченням. У своїх працях автори розглядають безконтактний індукційний метод технічної діагностики для об'єкта контролю у вигляді програмно-апаратного комплексу на основі енерго-часового параметра діагностування. Даний параметр дозволяє, без втручання у роботу системи, вимірювати та кількісно оцінювати внутрішні фізико-хімічні процеси старіння складових частин об'єкта контролю. Запропоновані підходи можна застосовувати, у тому числі, для контролю фізичної цілісності об'єкта контролю.

Ключові слова: *технічна діагностика, канал передачі, оптоволоконна лінія, вбудоване програмне забезпечення, енерго-часовий параметр.*

ВСТУП

В оптоволоконних лініях (фізичне середовище передачі – оптичне волокно), в якості носія інформації, використовуються електромагнітні коливання з довгою хвилі 1300-1500нм. Подібні лінії призначені для передачі інформації на великі відстані з високою швидкістю, широко використовуються в мережах, де потрібна швидка та надійна передача даних. Одним із важливих аспектів при проектуванні та подальшій експлуатації оптоволоконних ліній є облік властивостей світлових хвиль, які можуть змінюватися в трасі залежно від різних факторів, таких як температура, напруга, тиск тощо.

Розглядаючи переваги оптоволоконних каналів зв'язку, слід звернути увагу на той факт, що параметри даних ліній не є незмінними в процесі експлуатації. Незважаючи на нетривалу історію застосування оптоволоконна в системах зв'язку у значній кількості наукових праць проводяться дослідження процесів старіння матеріалу з якого ви-

готовляється оптоволокно. У процесі експлуатації даних мереж задачі дослідження процесів старіння з теоретичної площини переходять у практичну.

У зв'язку з цим, наукове завдання полягає у виборі математичної закономірності, яка дозволить розрахувати кількісну зміну параметрів фізичного середовища передачі інформації (оптичного волокна) в залежності від часу експлуатації, та зв'язок цих змін з параметрами комунікаційної системи.

У роботах з дослідження довговічності ліній зв'язку [1-4] побудованих з використанням оптоволоконних кабелів неодноразово згадується факт зміни властивостей оптоволоконна з часом під впливом умов довкілля. Дослідники показують, що з часом можливі зміни основних характеристик матеріалу, з якого виготовляються оптоволоконні лінії. Так у роботі [1] зазначається, що смуга пропускання кабелю може змінюватися з часом через старіння скловолокна або зміни умов навколишнього середовища, таких як температура і вологість. Як наслідок в моделі оцінки терміну служби

оптоволоконних кабелів повинно враховуватися зміна смуги пропускання від часу. Там же розглядається вплив неоднорідностей скла в оптоволоконні на дисперсію та представлена модель для розрахунку зміни дисперсії оптоволоконна від часу експлуатації, заснована на вирішенні нелінійного рівняння Шредінгера для електромагнітних хвиль в оптоволоконному кабелі.

Основна кількість публікацій пов'язує зміну властивостей волокна з процесами дифузії води всередині волокна та її впливом на скло волоконну структуру з огляду на ефекти гідратації та дегідратації волоконних матеріалів [2, 3].

Частина публікацій [4] оглядає вплив температури на параметри оптоволоконних ліній (ОВА), вказуючи, що ці процеси призводять до зміни основних характеристик ОВА, таких як дисперсія та смуга пропускання.

Так, зміна температури та вологості призводить до зміни показника заломлення та дисперсії світлових хвиль, що може призвести до зміни швидкості передачі даних та якості сигналу:

$$\Delta n(T) = \alpha n(T - T_0),$$

де Δn – зміна показника заломлення, α – коефіцієнт температурної залежності, T – поточна температура, T_0 – температура, при якій визначалося вихідне значення показника заломлення.

Модель зміни властивостей оптоволоконних ліній залежно від впливу вологості може бути описана за допомогою рівняння:

$$\Delta n(H) = \gamma nH,$$

де Δn – зміна показника заломлення, γ – коефіцієнт вологості, H – вологість навколишнього середовища.

Таким чином, існуючі моделі зміни фізичних властивостей оптоволоконних ліній зводяться до визначення (призначення) відповідних коефіцієнтів обліку зовнішнього впливу (коефіцієнт температурної залежності, коефіцієнта вологості, та інш.) та (або) їх комбінацій.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

У якості об'єкту технічного діагностування розглядається комунікаційна система з вбудованим програмним забезпеченням (ВПЗ). Архітектура побудови такої системи відповідає моделі з відкритою системою OSI (*Open System Interconnection*). Вра-

хування архітектури побудови дозволяє поетапно визначити технічний стан об'єкта контролю (ОК). У якості каналу передачі інформації розглядається оптоволоконна лінія. Переваги каналів зв'язку з оптоволоконними лініями очевидні (висока швидкість передачі даних, висока пропусканна здатність, стійкість до впливу електромагнітних перешкод, безпека, низьке споживання енергії, дальність зв'язку). Кількісній оцінці підлягають часові залежності основних параметрів ОВА: дисперсія та смуга пропускання (час передачі сигналу).

Дисперсія та зміна смуги пропускання оптоволоконна у часі (час експлуатації) пов'язані. Дисперсія характеризує залежність групової швидкості поширення світлових хвиль в оптоволоконні від довжини хвилі. Це означає, що при передачі імпульсів світла оптоволоконном виникає розкид у часі при проході сигналу на приймач. Цей розкид може призвести до спотворення сигналу та зменшення смуги пропускання оптоволоконна. Іншими словами, зміна дисперсії оптоволоконна у часі може призвести до зміни смуги пропускання каналу зв'язку. Зі збільшенням часу експлуатації оптоволоконна, як правило, відбуваються структурні зміни (фізико-хімічні процеси), що призводять до зменшення смуги пропускання. Математично, зв'язок між дисперсією та зміною смуги пропускання оптоволоконна в часі може бути описаний за допомогою декількох моделей (модель МакКінна, модель Ерфа-Зайгера, модель Селфоу, модель Гернштейна, модель Райнхарда-Ролфса) [5].

У статті вирішується завдання технічного діагностування об'єктів із ВПЗ. В якості параметру діагностування обрано фізичний енерго-часовий параметр [6]. Основний метод досліджень – безконтактний індукційний метод [7]. В основу досліджень покладено гіпотезу, яка пов'язує чисельні значення енерго-часового параметра діагностування з фізико-хімічними процесами, що відбуваються в елементах об'єктів із вбудованим програмним забезпеченням у процесі експлуатації (у процесі старіння). Зокрема, старіння фізичного середовища передачі приводить до збільшення часу проходження інформації у системі.

Залежність пропусканної здатності каналу, що має певну смугу пропускання, від відношення сигналу до шуму досліджував американський інженер і математик Клод Шеннон. Теорема Шеннона обмежує граничну пропусканну здатність каналу V із

заданою смугою пропускання Δf і відношенням сигнал/шум $\frac{S}{N}$:

$$v(t) = \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right).$$

Інакше кажучи, при постійному співвідношенні $\frac{S}{N}$, зміна (зменшення) смуги пропускання Δf призведе до зменшення швидкості передачі (до збільшення часу її проходження каналом зв'язку).

Одна з моделей, що застосовувалась раніше для оптимізації параметрів ОВЛ, обрана для вирішення завдань технічної діагностики телекомунікаційних мереж на оптоволоконних лініях (модель Гернштейна) [8]. Використання апарату запропонованого в даній моделі дозволяє не лише оцінити поточний стан фізичного середовища передачі даних, але й кількісно визначити тимчасову складову обраного параметра діагностики. Модель описує зміну у волокні, викликану дифузійною водою всередині волокна та її впливом на скловолоконну структуру, передбачає, що зміна властивостей волокна відбувається лінійно за часом. Це математична модель, яка використовується для опису параметрів оптичних волоконних кабелів (ОВК), зокрема дисперсії групової швидкості та дисперсії модового поля. Як будь-яка з існуючих моделей, у ній передбачено ряд обмежень.

Моделювання зміни властивостей ОВК можливо виконати у наступній послідовності. Визначаємось з вихідними значеннями параметрів оптоволоконного кабелю (геометричними параметрами кабелю: радіус сердцевини (r), радіус оболонки (a) та індекс заломлення сердцевини (n_1), хвильових довжин світла (λ), які будуть використовуватись у кабелі).

Проведемо розрахунок ефективного показника заломлення (n_{eff}) для кожної довжини хвилі в кабелі з використанням виразу [9]:

$$n_{eff}(\lambda) = n_1 + \lambda \frac{dn_{eff}}{d\lambda}, \quad (1)$$

де $\frac{dn_{eff}}{d\lambda}$ – похідна ефективного показника заломлення за довжиною хвилі.

Розрахунок дисперсії групової швидкості ($D(\lambda)$) і дисперсії модового поля ($D_m(\lambda)$) для кожної довжини хвилі проводиться у відповідності до виразів:

$$D(\lambda) = - \left(\frac{\lambda}{c} \right) \left(\frac{dn_{eff}}{d\lambda} \right)^2, \quad (2)$$

$$D_m(\lambda) = n_{eff} \left(\frac{dn_{eff}}{d\lambda} \right)^2 - D(\lambda), \quad (3)$$

де c – швидкість світла у вакуумі.

Нехай є оптичний кабель довжиною 10 км з радіусом сердцевини $r = 5$ мкм, радіусом оболонки $a = 125$ мкм та коефіцієнтом заломлення сердцевини $n_1 = 1,45$. Розрахунки проведемо для діапазону довжин хвиль λ 1300–1550 нм.

Для розрахунку параметрів (1-3) необхідно знати значення похідної показника заломлення се-

рцевини кабелю $\frac{dn_{eff}}{d\lambda}$, яка визначається виразом [10]:

$$\frac{dn_{eff}}{d\lambda} = A \left(\frac{\lambda}{1000} \right)^{-B_1} + B_2.$$

Зазвичай використовуються стандартні значення коефіцієнтів, які були отримані експериментально для визначених типів оптичних кабелів. У наших розрахунках можна використовувати такі значення:

$$A = 0.241; B_1 = 0.168; B_2 = 0.008.$$

Маємо обчислені значення параметрів (1-3) з урахуванням вихідних даних (таб.1).

Таблиця 1

Обчислені значення параметрів (1-3) з урахуванням вихідних даних

λ (нм)	$n_{eff}(\lambda)$ (нм)	$D(\lambda)$ (пс/ (нм* км))	$D_m(\lambda)$ (пс/ (нм ² * км))	D_z (пс/ (нм ² * км))	Δt_b (нс) при L = 10 км
1300	1.4609	-8.90	0.043	-8,9	-0,71
1310	1.4607	-7.83	0.04	-7,81	-0,63
1320	1.4604	-6.70	0.037	-6,62	-0,54
1530	1.4492	19.84	0.053	22,64	1,59
1540	1.4491	22.18	0.056	25,36	1,77
1550	1.4490	24.46	0.059	27,95	1,96

Використовуючи отримані значення дисперсії групової швидкості та дисперсії модового поля можна розрахувати інші характеристики сигналу в оптоволоконному кабелі.

Для оцінки спотворень сигналу, спричинених хроматичною дисперсією, визначимо величину тимчасового розширення імпульсу сигналу (pulse broadening):

$$\Delta t_b = D(\lambda)L\Delta\lambda, \quad (4)$$

де L – довжина кабелю, $\Delta\lambda$ – різниця довжин хвиль між двома сусідніми каналами. Для кабелю з різницею довжин хвиль між сусідніми каналами $\Delta\lambda = 0.8\text{нм}$ отримані значення наведені в таблиці 1.

Від’ємні значення Δt_b означають, що імпульс сигналу зміщується у часі в зворотному напрямку щодо сигналу центральної частоти діапазону. Таким чином, для різних довжин хвиль, тимчасове розширення імпульсу буде відрізнятися, що може призводити до спотворень сигналу.

Крім того, дисперсія модового поля також може викликати спотворення сигналу, які називаються модовими спотвореннями (modal dispersion). Для оцінки величини цих спотворень можна використовувати вираз [11]:

$$\Delta t_m = \frac{2D_m L}{\Delta n^2},$$

де Δn – різниця показників заломлення між серцевиною та оболонкою кабелю ($\Delta n = 0.0045$).

Для вибраного діапазону хвиль:

$$\Delta t_m(1300-1550\text{нм}) = 0,2 - 0,15\text{нс}.$$

Ці значення показують, що модові спотворення в кабелі незначні і їх можна знехтувати в більшості додатків.

Загальна дисперсія визначається виразом (табл.1):

$$D_{\Sigma}(\lambda) = D(\lambda) + D_m(\lambda)\Delta\lambda^2.$$

Отримані під час обчислення результати показують, що загальна дисперсія збільшується зі збільшенням довжини хвилі і може досягати значних величин.

Моделювання та розрахунок змін властивостей оптичного кабелю з використанням рівняння моделі Гернштейна дозволяє оцінити вплив дисперсії на передачу сигналу в оптичному кабелі

зокрема зміну смуги пропускання оптичного кабелю в часі.

Розглянемо приклад розрахунку змін смуги пропускання оптичного кабелю у часі. Нехай є оптичний кабель, що складається із суміші кремнію та фториду магнію довжиною 10 км. Довжини хвиль $\lambda(\text{нм})$, дисперсія матеріалу $D(\lambda)(\text{пс} \setminus (\text{нм} * \text{км}))$ та дисперсія модового поля $D_m(\lambda)$ ($\text{пс}/(\text{нм}^2 * \text{км})$) визначаються таблицею 1.

Визначимо зміну смуги пропускання кабелю протягом року. Результати, отримані у процесі обчислень, узагальнюються у таблиці 2.

Таблиця 2

Зміна смуги пропускання кабелю протягом року

$\lambda(\text{нм})$	$\Delta t_L(\lambda)(\text{с})$	$\Delta\varphi(\lambda)$ (рад)	$\frac{\Delta A(\lambda)}{A}$	$\Delta\omega(\lambda)\%$
1300	0,003	3,34	0,017	1,7
1310	0,0026	2,85	0,014	1,4
1320	0,0022	2,38	0,019	1,9
1530	0,006	4,82	0,024	2,4
1540	0,0074	5,88	0,03	3
1550	0,0082	6,43	0,032	3,2

Обчислення проводяться у чотири етапи:

1) розрахунок зміни часу поширення сигналу $\Delta t_L(\lambda)$ при зміні довжини хвилі на $\lambda = 10\text{нм}$:

$$\Delta t_L(\lambda) = D_{\Sigma}(\lambda)L \frac{\Delta\lambda}{c};$$

2) розрахунок зміни фази сигналу:

$$\Delta\varphi(\lambda) = 2\pi\Delta f\Delta t_L(\lambda), \quad \Delta f = \Delta\lambda \frac{c}{\lambda^2},$$

$$\Delta\varphi(\lambda) = 2\pi\Delta\lambda \frac{c}{\lambda^2} \Delta t_L(\lambda);$$

3) розрахунок зміни амплітуди сигналу:

$$\Delta A(\lambda) = A \sin(\Delta\varphi);$$

4) знайдемо зміни смуги пропускання:

$$\Delta\omega(\lambda) = \frac{\Delta A(\lambda)}{A} \omega.$$

Таким чином, при зміні довжини хвилі на 10 нм протягом року зміна смуги пропускання складе від 1,5 до 3% від вихідної смуги пропускання кабелю (залежно від довжини хвилі сигналу, що віддається).

При відомій зміні смуги пропускання оптоволоконної лінії в процесі експлуатації, зміну часу поширення сигналу в кабелі можна визначити за формулою:

$$\Delta t = \left(\frac{\Delta \omega}{\omega} \right) \left(\frac{L}{c} \right),$$

де $\Delta \omega$ – зміна смуги пропускання, ω – вихідна смуга пропускання, L – довжина кабелю, c – швидкість світла у вакуумі [12].

Використання інших моделей оцінки зміни параметрів оптоволоконних ліній (деяких дослідників [5]) дають дещо відмінні від наявних чисельні значення зміни смуги пропускання оптоволоконної лінії у часі. Це пояснюється використанням у даних моделях інших (не лінійних) закономірностей зміни коефіцієнтів впливу зовнішнього середовища на параметри оптоволоконних ліній.

Загалом, отримані результати співпадають з результатами інших дослідників. Наприклад, у статті [13] автори наводять дослідження змін параметрів волокон різних виробників та типів під час експлуатації та отримали, що після приблизно 20 років використання, смуга пропускання волокон може зменшуватись на 0,5-1,5%.

В статті [14] показано, що після приблизно 10 років використання смуга пропускання волокна зменшиться на 10-20% залежно від умов експлуатації.

Результати моделювання та розрахунку змін властивостей оптичного кабелю в процесі експлуатації можуть бути представлені у вигляді графіків залежності різних характеристик кабелю від часу (наприклад, можна відобразити зміну довжини хвилі, зміну коефіцієнта ослаблення сигналу або смуги пропускання залежно від часу експлуатації кабелю).

Отримані чисельні значення є орієнтовними (передбачають зміну параметрів кабельної лінії відповідно до постійних значень коефіцієнтів використаної моделі) однак доводять необхідність дослідження та врахування процесів старіння кабельного середовища передачі даних. Для практичного застосування розглянутої моделі оцінки часових змін параметрів ОВА потрібно більш ретельно визначити однорідність (неоднорідність) кабельних мереж, відповідність умов викори-

стання кабельних мереж заданим технічним умовам.

ВИСНОВКИ

Не зважаючи на існуючу низку суттєвих обмежень та припущень (невизначеність коефіцієнтів впливу параметрів зовнішнього середовища), слід зазначити, що запропонований підхід дозволяє не лише вирішувати задачі технічного діагностування обраного ОК, але і здійснювати контроль фізичної цілісності всієї системи. Будь яка стрибкоподібна зміна діагностичного параметру при збереженні працездатності ОК є підставою для проведення додаткових досліджень поза планом попереджувальних робіт в системі технічного обслуговування. Чітка часова структура системі технічного обслуговування і не значні інтервали часу між процедурами дозволяють припустити лінійність зміни основних параметрів ОК, а при прийнятті рішень про технічний стан ОК приймати значення отримані на попередньому етапі перевірки за еталонні значення.

У статті приведені моделі оцінки зміни основних параметрів оптоволоконних каналів передачі даних у часі. Визначено основні показники надійності, проведено розрахункові співвідношення. Серед існуючих моделей оцінки оптоволоконних ліній, обрано модель що дозволяє оцінити поточний стан фізичного середовища передачі даних та кількісно визначити часову складову обраного параметра діагностики.

Напрямом подальших досліджень є використання моделі Гернштейна для визначення часової складової енерго-часового параметру при розв'язанні задач технічного діагностування обраного ОК.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] G. P. Agrawal. Fiber-Optic Communication Systems. New York: John Wiley & Sons, 2010. 630 p.
- [2] M. Kucera. Thermal aging of optical fibers under cyclic loading. Optics Express, 2017. 25(14). P. 15801-15810.
- [3] А. В. Петров, А. В. Латушкин. Моделирование старения оптических кабелей с учетом возможности деградации гидрофобного наполнителя. Радиотехника и электроника. М.: Радиотехника, 2016. Т. 21. С. 49-54.
- [4] А. А. Жиглов, С. Ю. Максимов, Е. А. Титова. Моделирование старения оптических кабелей.

- Системы связи и информатики. 2016. № 1 (17). С. 104-111.
- [5] K. Gerd, S. Tarek, El-Bawab. Optical Fiber Communications. New York: McGraw - Hill, 2010. 688 p.
- [6] В. В. Кузавков, П. В. Хусаїнов, О. Г. Янковський. Методи прогнозування технічного стану однотипних програмно-апаратних засобів. Збірник наукових праць ОДАТРЯ № 1(12). 2018. С. 59-65.
- [7] В. В. Кузавков, Г. І. Гайдур, С. О. Серих, Є. В. Редзюк. Безконтактний індукційний метод визначення технічного стану цифрового блока: розрахунок потужності випромінювання провідника. Зв'язок. К.: Державний університет телекомунікацій, 2016. № 1. С. 32-39.
- [8] J. Liu. Analysis and modeling of optical fiber aging with hydrogen under high temperature and pressure. Optics Express. 2015. 23(7). P. 9030-9044.
- [9] A. Singh, B. Singh, A. Pandey, S. Dhar Design of plasmonic nanoantennas for high performance photovoltaic devices using an effective medium theory. Optics Communications. 2018. Vol. 407. P. 141-147.
- [10] Z. Wang. Investigation of optical fiber aging under high temperature and pressure. Journal of Lightwave Technology. 2013. 31(16). P. 2784-2790.
- [11] J. Crispin, B. Elliott. Introduction to Fiber Optics. Amsterdam: Newnes, 2005. 245 p.
- [12] C. Wu, X. Pan, X. Shi. A Nonlinear Distributed Feedback Control Method for Laser Diode to Compensate for the Aging Effect in Optical Fiber Communication Systems. Photonics Journal. 2020. Vol. 12. No. 1. P. 1-13.
- [13] L. G. Cohen, W. L. Mammel, S. H. Wemple. Lifetime predictions for glass optical waveguides. Bell System Technical Journal. U.S.A.: American Telephone and Telegraph Company. 1975. Vol. 54 No.6 P. 971-984.
- [14] D. L. Bisbee, P. W. Smith, S. H. Wemple. Optical-Fiber Tapes. Bell System Technical Journal. U.S.A.: American Telephone and Telegraph Company. 1975. Vol. 54 No.2 P. 479-484.

PRACTICAL USE OF THE MODEL FOR EVALUATING CHANGES IN THE PARAMETERS OF THE OPTICAL FIBER DATA TRANSMISSION MEDIUM

Today, several physical media are used to transmit information between network components based on embedded software, namely: radio channel, fiber optic, and wire lines. The paper considers the possibility of changing the main

parameters of the optical fiber line from the time of operation. At the same time, it is considered that the operating conditions of these lines correspond to the conditions established by the manufacturers. In the process of operation, optical fiber information transmission lines are exposed to various external influences (heating, cooling, solar radiation, mechanical and electrical load). The permissible degree of these influences is determined by technical and operational documentation and depends on the design of optical fiber products, climatic performance, method, installation and laying. The parameters used for evaluation can be: operational (measured by standard devices without decommissioning the equipment); technical condition parameters (measured by external equipment with equipment stop, partial or complete disassembly). On the basis of the analysis of existing methods of assessing changes in the main parameters of optical fiber lines over time, one of the methods for solving the problems of technical diagnostics of networks with built-in software is considered in depth. In their works, the authors consider a non-contact induction method of technical diagnostics for a control object in the form of a software-hardware complex based on the energy-time parameter of diagnostics. This parameter allows, without interfering with the system, to measure and quantify the internal physico-chemical aging processes of the component parts of the control object. The proposed approaches can be used, including, to control the physical integrity of the object of control.

Keywords: technical diagnostics, transmission channel, optical fiber line, embedded software, energy-time parameter.

Погребняк Людмила Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та мереж Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут.

Liudmyla Pogrebniak, candidate of technical sciences, associate professor department of telecommunication systems and networks of the Military Institute of Telecommunications and Informatization named after the Heroes of Kruty.

E-mail: pogrebniaklm@gmail.com.

Orcid ID: 0000-0002-9104-7781.

Романенко Марія Михайлівна, старший викладач кафедри побудови телекомунікаційних систем Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут.

Mariia Romanenko, Ph.D, senior teacher of the department of Construction of telecommunication systems of the Military Institute of Telecommunications and Informatization named after the Heroes of Kruty.

E-mail: m.romanenko1994@gmail.com.
Orcid ID: 0000-0002-0646-2797.

Болотюк Юлія Володимирівна, ад'юнкт науково-організаційного відділу Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені героїв Крут

Yuliia Bolotiuk, adjunct (postgraduate) of the Scientific and organizational department of the Military Institute of Telecommunications and Informatization named after the Heroes of Kruty.
E-mail: yuliia.bolotiuk@viti.edu.ua.
Orcid ID: 0000-0002-3805-6419.

DOI: [10.18372/2410-7840.25.17935](https://doi.org/10.18372/2410-7840.25.17935)
УДК 004.056.5

МЕТОДОЛОГІЯ МАСКУВАННЯ ТРАФІКУ У СПЕЦІАЛІЗОВАНІЙ МЕРЕЖІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Сергій Клімович

У зв'язку зі зростаючими загрозами в кібербезпеці, існує необхідність в розробці нових підходів (нової методології) маскування трафіку для уникнення виявлення та аналізу трафіку з боку несанкціонованих осіб. Маскування трафіку дозволяє приховувати характеристики переданих даних, такі як джерело, призначення, тип та об'єм, шлях та інші метадані, що надають змогу ідентифікувати та аналізувати комунікацію. Це може бути особливо корисним у випадках, коли необхідно зберегти приватність користувачів або запобігти виявленню конфіденційної інформації. Сучасні методи аналізу трафіку постійно вдосконалюються, тому виникає потреба в розвитку нових підходів до маскування у відповідності до змін в технологіях аналізу даних. Актуальність роботи пов'язана з тим, що дії адміністратора спеціалізованої мережі щодо забезпечення безпеки її функціонування спрямовані на розв'язання двох взаємопов'язаних завдань, а саме: забезпечення скритного функціонування мережі і виявлення фактів стороннього втручання (виявлення дій сторонніх осіб). Обидва завдання суворо регламентовані керівними документами, но кінцевий результат залежить від глибини розуміння посадовою особою існуючої проблеми, ступеня володіння методологією забезпечення безпеки функціонування спеціалізованої мережі, наявних матеріальних (в тому числі фінансових) засобів та наявного часового ресурсу. В роботі проведено аналіз існуючих підходів до забезпечення маскування трафіку в мережі, наведено алгоритми (варіанти програмної реалізації) механізмів маскування та виявлення факту маскування трафіку в спеціалізованій мережі передачі даних.

Ключові слова: маскування трафіку, конфіденційність, математичні моделі, *Shadowsocks*.

ВСТУП

Забезпечення конфіденційності та безпеки переданих даних є одним із найважливіших аспектів у сучасному цифровому світі. З постійним розвитком технологій та зростаючою кількістю глобальних мереж і пристроїв, виникає все більше загроз, пов'язаних зі зловживанням та несанкціонованим доступом до інформації. Це ставить під загрозу приватність користувачів, безпеку установ, а також може мати серйозні наслідки для суспільства в цілому. Як наслідок, застосування та обмін інформацією стають все більш розповсюдженими в різних сферах життя. У цьому контексті, конфіденційність та безпека переданих даних є критичними аспектами для забезпечення довіри між користувачами, установами та системами. Зловживання та несанкціонований доступ до даних може призвести до розголошення конфіденційної

інформації, що завдасть значних фінансових збитків та спричинить порушення роботи установ.

Аналіз публікацій свідчить про постійний інтерес та активні дослідження в цій галузі. Дослідники та фахівці з кібербезпеки, мережевих технологій та інформаційної безпеки присвячують значний обсяг робіт з розробки та вдосконалення методів маскування трафіку з метою забезпечення конфіденційності та безпеки передачі даних. Публікацій у цій області [1-3] присвячені вивченню різних аспектів маскування трафіку, таких як алгоритми шифрування, обфускація даних, зміна характеристик трафіку, використання тунелювання. Ці дослідження спрямовані на розробку ефективних та надійних методів, які дозволяють приховати характеристики переданих даних від зловмисників.

Водночас ряд учених присвятили свої дослідження [4-8] аналізу технік розпізнавання трафіку,