

Міночкін Анатолій Іванович (доктор технічних наук, професор)

Кузавков Василь Вікторович (доктор технічних наук, професор)

Болотюк Юлія Володимирівна

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ФІЗИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІО-ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

У якості об'єкта технічного діагностування розглядається комунікаційна система з вбудованим програмним забезпеченням. Архітектура побудови такої системи відповідає моделі взаємозв'язку відкритих систем. Врахування архітектури побудови дозволяє визначати технічний стан об'єкта контролю шляхом поетапного тестування рівнів технічних засобів (програмного забезпечення) в моделі. Для передачі даних у мережах, на основі засобів із вбудованим програмним забезпеченням, можуть використовуватися лінії зв'язку з різними фізичними параметрами середовища (радіоканал, волоконно-оптичні та проводові лінії). Метою статті є визначення змін параметрів фізичного середовища передачі інформації шляхом використання моделі Гернштейна (для волоконно-оптичної лінії зв'язку) і моделі Бокса-Дженкінса (для проводової лінії зв'язку) при отриманні діагностичного паспорту об'єкту контролю залежно від умов і часу експлуатації та встановлення зв'язку цих змін з основними параметрами мережі передачі даних. У моделях враховано умови та час експлуатації, встановлено зв'язок цих змін з основними параметрами мережі передачі даних. Для аналізу та оцінювання змін основних параметрів ліній передачі під час експлуатації, в статті використовується безконтактний індукційний метод технічного діагностування. Зазначений методологічний підхід дає змогу без втручання у роботу системи, вимірювати та кількісно оцінювати фізико-хімічні процеси старіння складових частин об'єкту контролю. У статті запропоновано використання єдиного енерго-часового діагностичного параметру для визначення технічного стану об'єкту контролю. Показано, що з урахуванням періодичності проведення регламентних робіт у прийнятій у військах системі технічного обслуговування, зміни параметрів фізичного середовища відбуваються майже лінійно. В свою чергу, стрибкоподібні зміни значення енерго-часового діагностичного параметру під час збереження працездатності об'єкта контролю є підставою для проведення додаткових досліджень і може свідчити про порушення фізичної цілісності об'єкта контролю. В статті наведено аналітичні співвідношення та алгоритми (послідовності) проведення розрахунків. Елементами новизни є те, що вперше досліджені залежності основних параметрів фізичного середовища використовуються для розв'язання задач технічного діагностування систем із вбудованим програмним забезпеченням. Практичною значущістю викладеного у статті є те, що застосування запропонованого підходу надає дослідникам тренд зміни діагностичного параметру протягом тривалості життя об'єкту контролю. Це дозволяє обґрунтовано, на підставі результатів контролю функціонування, приймати рішення про фактичний стан об'єкта контролю.

Ключові слова: технічна діагностика, канал передачі, волоконно-оптична лінія, проводова лінія, вбудоване програмне забезпечення, енерго-часовий параметр.

Вступ

У процесі експлуатації комунікаційних систем, матеріали, з яких виготовлено лінії передачі даних, 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 виробів, кліматичного виконання, способу монтажу та прокладання у фізичному середовищі. Параметри, що використовуються для оцінювання стану ліній, можуть вимірюватися штатними приладами без виведення обладнання з експлуатації, зовнішнім устаткуванням із

припиненням роботи обладнання за умови часткового або повного розбирання.

Постановка проблеми. Одним із важливих аспектів під час проєктуванні та експлуатації систем передачі даних є облік властивостей (параметрів) фізичного середовища передачі даних. Параметри середовища під час експлуатації змінюються залежно від різних зовнішніх та внутрішніх факторів (температура, напруга, тиск тощо).

Обираючи той чи інший спосіб побудови лінії між територіально рознесеними елементами мережі, розглядаючи переваги (недоліки) цих ліній, слід звернути увагу на той факт, що експлуатаційні

параметри матеріалів мають здатність змінюватися у часі (у ході експлуатації). Сьогодні для діагностики фізичних ліній (кабелів) використовуються різні технології та вимірювальні прилади. Однак, для розв'язання задач технічного діагностування доцільно застосовувати єдиний підхід, сутність якого полягає у формуванні спеціальної тестової послідовності та подальшому аналізі узагальненого фізичного параметру діагностування. Особливістю побудови тестової послідовності є урахування стандартизованої багаторівневої архітектури об'єкту контролю (далі – ОК).

Результати діагностування можна використовувати для виявлення потенційних проблем, забезпечення належного рівня технічної та інформаційної діяльності, прогнозування технічного стану на певний період часу для ОК. Дослідження, проведені авторами, спираються на аналіз існуючих моделей старіння фізичного середовища передачі даних. У свою чергу, зміни параметрів середовища в часі дають змогу визначити зміни часової складової обраного енерго-часового параметру діагностування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для кожного виду ліній передачі (для кожного фізичного середовища) існують свої, притаманні саме ним, властивості до зміни характеристик. Так для волоконно-оптичних ліній зв'язку з часом відбуваються зміни характеристик матеріалу, з якого виготовляються такі лінії. У роботі [1] описується низка моделей старіння волоконно-оптичних ліній (моделі МакКінна, Ерфа-Зайгерта, Селфоу, Гернштейна, Райнхарда-Ролфса) та зазначається, що смуга пропускання волоконно-оптичного кабелю може змінюватися з часом через старіння скловолокна або зміни умов навколишнього середовища. Як наслідок, при визначенні терміну служби волоконно-оптичних кабелів (або оцінюванні терміну служби кабелю) має враховуватися зміна дисперсії і відповідно зміна смуги пропускання лінії від часу.

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

Вплив температури на параметри волоконно-оптичних ліній (далі – ВОЛ), розглядається в [4], де вказується, що ці процеси призводять до зміни дисперсії (смуги пропускання).

У свою чергу, вплив зовнішніх чинників на провідні лінії передачі даних, призводить до незворотного погіршення електричних і механічних властивостей кабельних виробів. Так модель Хендерсона та модель Болінгера-Манса враховують зміни у механічних властивостях кабелю, а модель Бокса-Дженкінса: враховує зміни електричних властивостей кабелю [5; 6].

Для визначення ресурсу об'єкту контролю використовуються два основних напрями: перший, заснований на ймовірнісних методах оцінювання, а другий заснований на фізичних передумовах

функціонування об'єкту контролю [7; 8]. Використання ймовірнісних методів оцінювання ресурсу ОК потребує виконання умов статистичного аналізу [9]. Водночас, оцінювання ресурсу унікального обладнання (існуючого в обмеженій кількості, або об'єктів з індивідуальними умовами функціонування) є завданням індивідуального прогнозування. В цьому випадку важко передбачити поведінку окремої лінії передачі даних за певний проміжок часу оскільки не виконуються умови статистичної стійкості.

Використання фізичних передумов функціонування засобів із вбудованим програмним забезпеченням (далі – ВПЗ) для оцінювання ресурсу, до недавнього часу, не давало змоги врахувати різноманіття реальних умов експлуатації [9]. Ситуація змінилася з появою нових напрацювань (нових методів) в області технічного діагностування радіо-електронного обладнання.

Метою статті є визначення змін параметрів фізичного середовища передачі інформації шляхом використання моделі Гернштейна (для волоконно-оптичної лінії зв'язку) і моделі Бокса-Дженкінса (для провідної лінії зв'язку) при отриманні діагностичного паспорту об'єкту контролю залежно від умов і часу експлуатації та встановлення зв'язку цих змін з основними параметрами мережі передачі даних.

Виклад основного матеріалу дослідження

Відомо, що основними завданнями діагностики є визначення та прогнозування технічного стану ОК, а також локалізація несправностей в ньому. Враховуючи характерні особливості обраного ОК (кількісну розмірність, територіальне рознесення, різноманіття технічних засобів), прийняття рішень про його технічний стан в реальному часі неможливо без застосування автоматизованих систем діагностування. У випадку застосування в автоматизованій системі діагностування елементів системи підтримки прийняття рішень на базі штучного інтелекту дасть змогу значно скоротити час відновлення ОК. Функціонування автоматизованої системи діагностування спирається на модель взаємодії програмної та апаратної складової ОК наведеної на рис. 1 [10].

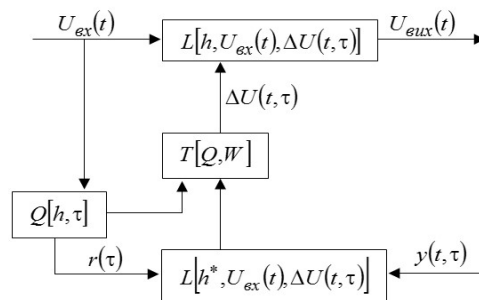


Рисунок 1 – Модель взаємодії програмної та апаратної складової систем із вбудованим програмним забезпеченням

Діагностичний параметр може бути поданий двома складовими. Перша – енергетична (на основі стохастичних процесів зміни струму), друга – часова, для відображення часу (зміни часу) виконання елементарних функцій під час опрацювання вхідної тестової послідовності.

Оператор Q пов’язує між собою конструктивні параметри h (склад програмних модулів або елементарних функцій) та вхідні перевіріні тести (з тривалістю τ). Параметр $r(\tau)$ відображає вплив програмної складової на апаратну – складову об’єкту контролю.

Оператор W пов’язує між собою конструктивні параметри h^* (склад апаратної частини), вплив керуючої програмної складової $r(\tau)$, та енергетичну складову діагностичного параметру $y(t, \tau)$.

Оператор T введено для мультиплексування (поєднання) та відображення внеску обох конструктивних параметрів ОК (h^* , h програмного та апаратного) у фактор збудження $\Delta U(t, \tau)$ (поєднання операторів Q та W).

Наведена модель враховує два види процесів, що відбуваються в тракці проходження тестових повідомлень: швидкі τ – флуктуація експлуатаційних (функціональних) показників і повільні t – розвиток дефектів в напівпровідникових структурах радіо-електронних компонентів. Швидкі процеси визначають технічний стан вбудованих обчислювальних систем на момент діагностування (в момент часу контролю), а повільні – параметричну надійність ОК.

Схема формування та проходження перевіркої тестової послідовності наведена на рис. 2. Відповідно до алгоритму використання безконтактного індукційного методу перевірки технічного стану, в склад ОК входять: передавальний комплект (джерело формування перевіркої тестової послідовності та приймач інформаційного відгуку (A)); приймальний комплект (формує відповідь на перевірку тестову послідовність (B)); фізичне середовище передачі даних.

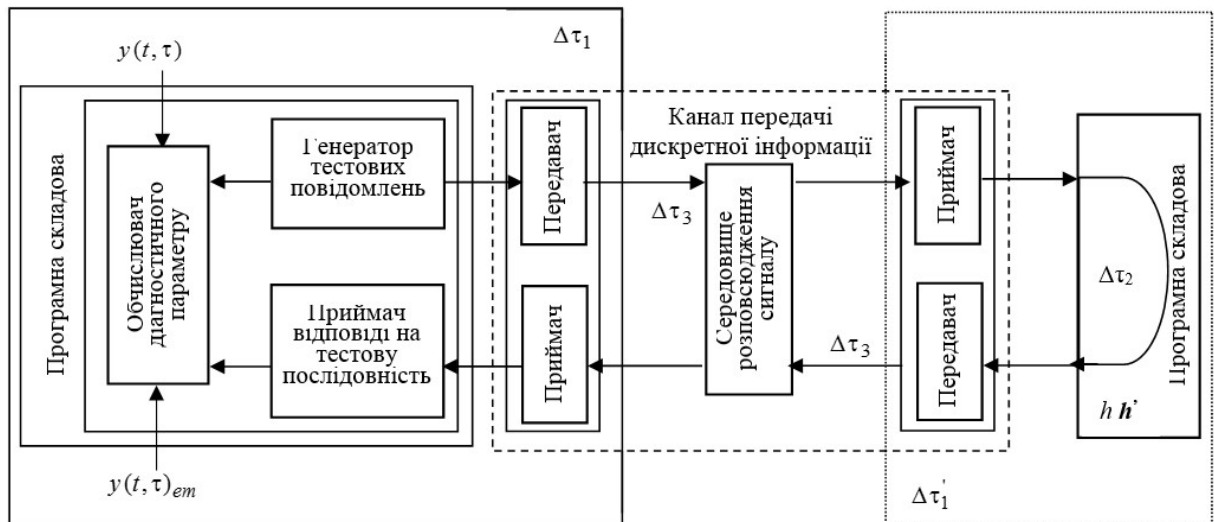


Рисунок 2 – Схема проходження тестових послідовностей в системі технічних засобів із вбудованим програмним забезпеченням

Структура перевіркої тестової послідовності зорієнтована на можливість отримання відповіді з будь якого рівня ОК з ВПЗ. Інформаційний відгук – діагностичний сигнал має чіткі енергетичні та часові значення для кожного з рівнів моделі. Чисельні значення енергетично-часового діагностичного параметру відображують не лише фізико-хімічні процеси, які відбуваються в апаратній частині (та в середовищі передачі даних) під час експлуатації, але і зміну часу необхідного на обробку тестового повідомлення програмною складовою системи.

Нехай основні функціональні властивості об’єкту контролю характеризуються оператором L , який пов’язує вхідні і вихідні сигнали $U_{вх}(t)$ і $U_{вих}(t)$, конструктивні параметри h, h^* , а також враховує залежність вихідного сигналу $U_{вих}(t)$ від

фактору збудження $\Delta U(t, \tau)$, який, в свою чергу, породжений спеціально підготовленим вхідним перевірним тестом та має ознаки тривалих (t) та швидких (τ) процесів.

Показник функціонування об’єкту контролю (чисельні значення діагностичного параметру (далі – ДП) $y(t, \tau)$ визначається стохастичними змінами струму, що протікає в шині живлення об’єкту контролю під час виконання ОК певних процедур (перевірної тестової послідовності) [11].

Значення та статистичні характеристики ДП залежить не тільки від конструктивних параметрів h та перевірних тестів тривалістю τ , а й від часу функціонування об’єкту контролю t та пов’язаними з ним фізико-хімічними процесами в напівпровідникових структурах і компонентах

об'єкту контролю та матеріалах середовища передачі даних.

На рис. 2 показано напрямок проходження спеціально підготованих тестових повідомлень та основні складові енергетично-часового діагностичного параметру, а саме: $y(t, \tau)$, $y(t, \tau)_{em}$ – діагностичний параметр та еталонне значення ДП, що залежать від конструктивних параметрів: \dot{h} – апаратної складової об'єкту контролю, амплітудної і фазочастотної характеристики тракту формування й передачі тестових повідомлень; t – час напрацювання об'єкту контролю; τ – тривалості перевірних тестових послідовностей; $\Delta\tau_{\Sigma} = \Delta\tau_1 + \Delta\tau_2 + \Delta\dot{\tau}_1 + \Delta\tau_3$ – сумарний приріст часу; $\Delta\tau_1 \Delta\dot{\tau}_1$ – часовий приріст, пов'язані з функціонуванням апаратної частини об'єкту контролю; $\Delta\tau_2$ – приріст часу, який характеризує затримки, обумовлені дисципліною обслуговування (обробки) тестових повідомлень у термінах теорії масового обслуговування, вплив параметрів налаштування операційного середовища h ; $\Delta\tau_3$ – приріст часу, що характеризує «старіння» середовища передачі даних (і наслідок цього старіння – зміну смуги пропускання середовища передачі даних). Слід відзначити, що складова $\Delta\tau_2$ також відображає в собі параметри апаратної частини \dot{h} (обсяг пам'яті, частота процесору, частота опитування пристроїв вводу-виводу і т. ін.), оскільки обчислювальні процеси виконуються відповідною складовою апаратної частини.

Окрема увага надається параметру $\Delta\tau_3$. Саме значення (зміна значення) цього параметру відображає зміни властивостей середовища передачі даних. У свою чергу, залежність $\Delta\tau_3(t)$ безпосередньо визначається зміною смуги пропускання фізичної лінії (впливає на якість та швидкість передачі даних).

Залежність пропускної здатності каналу, що має певну смугу пропускання, від відношення сигнал/шум досліджував інженер і математик Клод Шеннон. Теорема Шеннона обмежує граничну пропускну здатність каналу ν із заданою смугою пропускання Δf і відношенням сигнал/шум $\frac{S}{N}$:

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

Інакше кажучи, за незмінного співвідношення $\frac{S}{N}$, зміна (зменшення) смуги пропускання Δf призведе до зменшення швидкості передачі (до збільшення часу $\Delta\tau_3$ проходження каналом зв'язку).

До переваг каналів зв'язку з волоконно-оптичних ліній (далі – ВОЛ) відносяться швидкість передачі даних, пропускну здатність, стійкість до впливу

електромагнітних завад, безпека, низьке споживання енергії, дальність зв'язку. Зміна параметрів ВОЛ у процесі експлуатації описуються різними математичними моделями, що враховують вид (тип) фізичного середовища та різні механізми старіння [1; 5; 6]. Основні параметри ВОЛ дисперсія та зміна смуги пропускання під час експлуатації пов'язані. Дисперсія характеризує залежність групової швидкості поширення світлових хвиль в оптичному волокні від довжини хвилі. Це означає, що у процесі передачі імпульсів світла волоконно-оптичною лінією виникає розкид у часі під час проходу сигналу на приймач. Цей розкид може призвести до спотворення сигналу та зменшення смуги пропускання оптичного волокна. Іншими словами, зміна дисперсії оптичного волокна у часі призводить до зміни смуги пропускання каналу зв'язку оскільки зі збільшенням часу експлуатації відбуваються структурні зміни (фізико-хімічні процеси), що призводять до зменшення смуги пропускання [12].

Одна з моделей, яка використовувалась раніше для оптимізації параметрів волоконно-оптичних ліній, обрана для вирішення завдань технічної діагностики телекомунікаційних мереж на волоконно-оптичних лініях (модель Гернштейна) [13]. Ця модель описує зміни, викликані дифузією води всередині волокна та її впливом на скловолоконну структуру. Відповідно до цієї моделі зміна властивостей волокна відбувається лінійно за часом, використовується для опису параметрів оптичних кабелів, зокрема дисперсії групової швидкості та дисперсії модового поля. Як будь-яка з існуючих моделей, у ній передбачено ряд обмежень.

Для моделювання зміни властивостей оптичного волокна слід визначити з вихідними значеннями волоконно-оптичного кабелю (геометричними параметрами): радіус серцевини (r), радіус оболонки (a) та індекс заломлення серцевини (n_1), індекс довжини хвилі (λ), які будуть використовуватись у кабелі).

Нехай оптичний кабель, що складається із суміші кремнію та фториду магнію довжиною 10 км., з радіусом серцевини $r = 5$ мкм, радіусом оболонки $a = 125$ мкм та коефіцієнтом заломлення серцевини $n_1 = 1,45$. Розрахунки проведемо для діапазону довжин хвиль λ 1300–1550 нм.

Визначимо значення ефективного показника заломлення (n_{eff}) для кожної довжини хвилі в кабелі [14]:

$$n_{eff}(\lambda) = n_1 + \lambda \frac{dn_{eff}}{d\lambda}, \quad (2)$$

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 за виразами:

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

$$D_m(\lambda) = n_{eff} \left(\frac{dn_{eff}}{d\lambda}\right)^2 - D(\lambda), \quad (4)$$

де c – швидкість світла у вакуумі.

Для розрахунку параметрів (2–4) потрібно мати значення похідної показника заломлення серцевини кабелю $\frac{dn_{eff}}{d\lambda}$, що визначається за виразом [15]:

$$\frac{dn_{eff}}{d\lambda} = A \left(\frac{\lambda}{1000}\right)^{-B_1} + B_2 \quad (5)$$

Зазвичай використовуються стандартні значення коефіцієнтів, що були отримані експериментально для визначених типів оптичних кабелів [1]. У розрахунках доцільно використовувати такі значення:

$$A = 0.241, B_1 = 0.168, B_2 = 0.008$$

Обчислені значення параметрів (2–4) з урахуванням вихідних даних зведені в таблиці 1 (складена авторами). Використовуючи отримані значення дисперсії групової швидкості та дисперсії модового поля, можна розрахувати інші характеристики сигналу в волоконно-оптичному кабелі.

Таблиця 1
Результати моделювання зміни властивостей оптичного волокна

λ (нм)	$n_{eff}(\lambda)$ (нм)	$D(\lambda)$ (пс/(нм * км))	$D_m(\lambda)$ (пс/(нм ² * км))	D_Σ (пс/(нм ² * км))	Δt_b (пс) 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

Для оцінювання ступеню спотворень сигналу, спричинених хроматичною дисперсією, визначимо величину часового розширення імпульсу сигналу:

$$\Delta t_b = D(\lambda)L\Delta\lambda, \quad (6)$$

де L – довжина кабелю;

$\Delta\lambda$ – різниця довжин хвиль між двома сусідніми каналами.

Для кабелю з різницею довжин хвиль між сусідніми каналами $\Delta\lambda = 0.8$ 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 відрізнятись, що призводить до спотворень сигналу.

Крім того, дисперсія модового поля також викликає спотворення сигналу, що називаються модовими спотвореннями (*modal dispersion*). Для оцінювання величини цих спотворень використовують вираз [16]:

$$\Delta t_m = \frac{2D_m L}{\Delta n^2}, \quad (7)$$

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 ними можна знехтувати в більшості розрахунків.

Загальна дисперсія визначається виразом (8), що наведено в табл. 1:

$$D_\Sigma(\lambda) = D(\lambda) + D_m(\lambda)\Delta\lambda^2. \quad (8)$$

Отримані під час обчислення результати показують, що загальна дисперсія зростає зі збільшенням довжини хвилі і може досягати значних величин. Моделювання та розрахунок змін властивостей оптичного кабелю з використанням моделі Гернштейна дозволяє оцінити зміну смуги пропускання оптичного кабелю в часі.

Зміну смуги пропускання оптичного кабелю у часі визначимо відповідно до значень довжини хвиль λ (нм), дисперсії матеріалу $D(\lambda)$ (пс/(нм² * км)) та модового поля $D_m(\lambda)$ (пс/(нм² * км)), що наведені в табл. 1.

Оцінімо зміну смуги пропускання кабелю протягом року. Результати, отримані у процесі обчислень, узагальнено у табл. 2 (складена авторами).

Таблиця 2
Зміна параметрів кабелю протягом року.

λ (нм)	$\Delta t_L(\lambda)(с)$	$\Delta\phi(\lambda)$ (рад)	$\frac{\Delta A(\lambda)}{A}$	$\Delta f(\lambda)\%$
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:

розрахунок зміни часу поширення сигналу $\Delta t_L(\lambda)$ за зміни довжини хвилі на $\lambda = 10$ нм

$$\Delta t_L(\lambda) = D_\Sigma(\lambda)L \frac{\Delta\lambda}{c}; \quad (9)$$

розрахунок зміни фази сигналу:

$$\Delta\phi(\lambda) = 2\pi\Delta\lambda \frac{c}{\lambda^2} \Delta t_L(\lambda); \quad (10)$$

розрахунок зміни амплітуди сигналу:

$$\Delta A(\lambda) = A \sin(\Delta\phi); \quad (11)$$

знайдемо зміну смуги пропускання:

$$\Delta f(\lambda) = \frac{\Delta A(\lambda)}{A} f. \quad (12)$$

Отже, за зміни довжини хвилі на 10 нм протягом року, зміна смуги пропускання становитиме 1,5–3% від вихідної смуги пропускання. За відомої зміни смуги пропускання ВОЛ в процесі експлуатації, зміну часу поширення сигналу в кабелі можна визначити за формулою:

$$\Delta\tau_3(t) = \left(\frac{\Delta f}{f}\right)\left(\frac{L}{c}\right), \quad (13)$$

де Δf – зміна смуги пропускання, f – вихідна смуга пропускання, L – довжина кабелю, c – швидкість світла у вакуумі [11].

Використання інших моделей (інших дослідників [6]) оцінювання зміни параметрів ВОЛ дають дещо інші чисельні значення зміни смуги пропускання ВОЛ у часі. Це пояснюється застосуванням у цих моделях інших (не лінійних) коефіцієнтів впливу зовнішнього середовища на параметри ВОЛ.

Для провідних ліній передачі даних, у ході визначення змін характеристик, прийнято модель Бокса-Дженкінса. Ця модель використовується для оцінки зміни смуги пропускання електричного кабелю (крученої пари, як лінії передачі даних) в процесі експлуатації.

У загальному вигляді модель Бокса-Дженкінса описується виразом (14):

$$Z(t) = Z_0 e^{-kt}, \quad (14)$$

де $Z(t)$ – певний параметр в момент часу t ,

Z_0 – початкове значення,

k – константа часу, яка характеризує швидкість зміни параметру [17; 18].

Для застосування моделі Бокса-Дженкінса необхідно мати вихідні значення параметрів провідної лінії на початок використання. Виміру підлягають значення опору, ємності та індуктивності кабелю в початковий момент та в наступні періоди експлуатації.

Для визначення зміни смуги пропускання крученої пари в процесі експлуатації за моделлю Бокса-Дженкінса можна використовувати таку послідовність:

отримання початкових значень параметрів моделі (наприклад, з технічної документації кабелю чи результати статистичної обробки попередніх вимірів);

розрахунок коефіцієнтів моделі, використовуючи початкові значення параметрів;

визначення величини зміни кожного параметра моделі на задані (необхідні) часові інтервали;

визначити початкову смугу пропускання кабелю (наприклад, з технічних характеристик кабелю чи вимірів);

розрахунок зміни смуги пропускання кабелю на кожному часовому інтервалі;

отримати оцінку загальної зміни смуги пропускання кабелю у процесі експлуатації.

Припустимо, що початкова смуга пропускання кабелю становить 100 МГц, довжина лінії 1 км, час експлуатації кабелю $t = 5$ років, а початкові

значення кабельної лінії становлять: $R_0 = 10$ Ом/км; $L_0 = 0.2$ мкГн/м; $G_0 = 5$ мкСм/км; $C_0 = 50$ пФ/м.

Параметри моделі Бокса-Дженкінса мають такі значення:

коефіцієнт зміни опору (k_R) = 1.002;

коефіцієнт зміни індуктивності (k_L) = 1.001;

коефіцієнт зміни провідності (k_G) = 0.999;

коефіцієнт зміни ємності (k_C) = 1.003.

Зміна параметрів за кожен місяць розраховується за виразами (15-22):

$$R(t) = R_0 e^{-k_R t}; \quad (15)$$

$$C(t) = C_0 e^{-k_C t}; \quad (16)$$

$$L(t) = L_0 e^{-k_L t}; \quad (17)$$

$$G(t) = G_0 e^{-k_G t}; \quad (18)$$

$$\Delta R = |R_0 - R(t)|; \quad (19)$$

$$\Delta L = |L_0 - L(t)|; \quad (20)$$

$$\Delta C = |C_0 - C(t)|; \quad (21)$$

$$\Delta G = |G_0 - G(t)|. \quad (22)$$

Отримані результати використовуються для обчислення необхідної смуги пропускання. Зміна смуги пропускання кабелю може бути розрахована з використанням формули (23):

$$\Delta f = \left(\frac{f_0}{2\pi}\right)\left(-\frac{\Delta C}{C^2} + \frac{\Delta L}{L^2} - \frac{\Delta R}{R^2} - \frac{\Delta G}{G^2}\right), \quad (23)$$

де f_0 – початкова смуга пропускання кабелю,

ΔC , ΔL , ΔR і ΔG – зміна ємності, індуктивності, опору та провідності відповідно,

C , L , R і G – початкові значення ємності, індуктивності, опору та провідності відповідно.

За обраних вихідних даних, отримаємо: $\Delta f = -1.107$ МГц.

Відповідно, смуга пропускання кабелю через 5 років експлуатації зменшиться на 1,107% та становитиме: $f = f_0 + \Delta f = 100 - 1.107 = 98.89$ МГц

За таких умов, зміна часу проходження сигналу в кабелі визначається виразом (13). За наявними вихідними даними та результатами попередніх розрахунків отримуємо: $\Delta\tau_3(t) = 0,11 \cdot 10^{-6}$ с (на кожен км лінії)

Отримане чисельне значення $\Delta\tau_3(t)$ є орієнтовним (передбачає зміну параметрів кабельної лінії відповідно до постійних значень коефіцієнтів моделі Бокса-Дженкінса) однак доводять необхідність дослідження та врахування процесів старіння кабеля (проводу).

Висновки й перспективи подальших досліджень

Отже, обрані моделі зміни фізичних властивостей середовища передачі даних спираються на визначення (призначення) коефіцієнтів, що характеризують вплив зовнішніх параметрів (коефіцієнт температурної залежності, коефіцієнта вологості, та інші) та (або) їх комбінацій на матеріал з якого виготовлені лінії

передачі даних. Використання розглянутих моделей дає змогу отримувати чисельні значення змін енерго-часового діагностичного параметру залежно від часу функціонування об'єкта контролю та, відповідно, проводити технічне діагностування радіо-електронного обладнання.

Слід зазначити, не зважаючи на існуючу низку суттєвих обмежень та припущень у процесі застосування моделей Гернштейна та Бокса-Дженкінса, запропонований підхід, окрім проведення технічного діагностування, дає змогу здійснювати контроль фізичної цілісності об'єкта контролю. Будь-яка стрибкоподібна зміна значення

енерго-часового діагностичного параметру за умови збереження працездатності є підставою для проведення додаткових досліджень поза планом робіт в існуючій системі технічного обслуговування. Чітка часова структура системи технічного обслуговування і незначні інтервали часу між процедурами дають змогу припустити лінійність зміни основних параметрів об'єкта контролю (фізичного середовища передачі даних).

Напрямом подальших досліджень є формування бази сталонних діагностичних паспортів програмної та апаратної складових об'єкта контролю.

Список бібліографічних посилань

1. Agrawal G. P. Fiber-Optic Communication Systems. New York: John Wiley & Sons, 2010. 630 p. 2. Kucera M. Thermal aging of optical fibers under cyclic loading. *Optics Express*, 2017. 25(14). P. 801-810. 3. Петров А. В., Латушкин А. В. Моделирование старения оптических кабелей с учетом возможности деградации гидрофобного наполнителя. *Радиотехника и электроника*. 2016. Т. 21. С. 49–54. 4. Жиглов А. А., Максимов С. Ю., Титова Е. А. Моделирование старения оптических кабелей. *Системы связи и информатики*. 2016. № 1 (17). С. 104–111. 5. Myer Kutz. Handbook of Environmental Degradation of Materials 2nd Edition. Norwich: William Andrew, 2016. 936 p. 6. Matick R. E. Transmission Lines for Digital and Communication Networks. 1st Edition. Wiley-IEEE Press. 2000. 388 p. 7. Стрельников В. П. Новая технология исследования надежности машин и аппаратуры. *Математичні машини і системи*. Київ: Інститут математики НАН України. 2007. № 3–4. С. 227–238. 8. Лебедев А. Н., Куприянов М. С., Недосекин Д. Д., Чернявский Е. А. Вероятностные методы в инженерных задачах. Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 2008. 333 с. 9. Єременко В. С., Куц Ю. В., Мокійчук В. М., Самойліченко О. В. Статистичний аналіз даних вимірювань. Київ: НАУ, 2013. 320 с. 10. Кузавков В. В., Хусаїнов П. В.

Прогнозування технічного стану однотипних програмно-апаратних засобів. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2018. Т. 8. № 1. С. 57–68. 11. Вишнівський В. В., Жердев М. К., Кузавков В. В. Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків: збірник наук. праць ВІКНУ ім. Т. Шевченка. Київ, 2013. № 43. 336 с. 12. Gerd K., Tarek S., El-Bawab. Optical Fiber Communications. New York: McGraw-Hill, 2010. 688 p. 13. Liu J. Analysis and modeling of optical fiber aging with hydrogen under high temperature and pressure. *Optics Express*. 2015. № 23(7). P. 9030–9044. 14. Singh A., Singh B., Pandey A., Dhar S. Design of plasmonic nanoantennas for high performance photovoltaic devices using an effective medium theory. *Optics Communications*. 2018. Vol. 407. P. 141–147. 15. Wang Z. Investigation of optical fiber aging under high temperature and pressure. *Journal of Lightwave Technology*. 2013. № 31(16). P. 84–90. 16. Crispin J., Elliott B. Introduction to Fiber Optics. Amsterdam: Newnes, 2005. 245 p. 17. William A. Electrical Power Cable Engineering. Boca Raton: CRC Press, 2017. 3rd Edition. 460 pp. 18. Cao J., Li J., Lu J. A New Method for Predicting the Long-Term Performance of Underground Power Cables. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2015. Vol. 30, № 4. P. 37–44.

USE OF MODELS FOR ASSESSMENT OF CHANGE PARAMETERS OF THE PHYSICAL ENVIRONMENT OF DATA TRANSMISSION FOR TECHNICAL DIAGNOSTIC OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT

Minochkin Anatolii (Doctor of technical sciences, professor)
Kuzavkov Vasyl (Doctor of technical sciences, professor)
Bolotiu Yuliia

Military Institute of Telecommunications and Informatization named after the Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine

Formulation of the problem in general. The purpose of the article is to calculate quantitative changes in the parameters of the physical data transmission environment by using the Herstein model (for fiber optic communication lines) and the Box-Jenkins model (for wired communication lines) in the process of obtaining a diagnostic passport of the control object. In the article, based on the analysis of existing methods of assessing changes in the main parameters of transmission lines over time, the non-contact induction method of technical diagnostics is defined and considered in depth. The specified methodological approach makes it possible to measure and quantify the physical and chemical aging processes of the components of the control object without interfering with the operation of the system elements.

Analysis of recent researches and publications. For fiber optic communication lines, the characteristics of the material from which the fiber optic lines are made change over time. The paper notes that the bandwidth of a fiber optic cable can change over time due to aging of the glass fiber or changes in environmental conditions. When determining the service life of fiber optic cables, the change in dispersion and, accordingly, the change in bandwidth of the line over time should be taken into account. The main number of publications relates the change in fiber properties to the processes of water diffusion inside the fiber and its influence on the glass fiber structure

in view of the effects of hydration and dehydration of fiber materials. Some publications consider the effect of temperature on the parameters of optical fiber lines, indicating that these processes lead to a change in dispersion (bandwidth). In turn, the influence of external factors on wired data transmission lines leads to irreversible deterioration of the electrical and mechanical properties of cable products. To determine the resource of the object of control, researchers use two main directions: the first, based on probabilistic assessment methods, the second based on the physical prerequisites of the functioning of the object of control. At the same time, the assessment of the resource of unique equipment (existing in limited quantities, or objects with individual operating conditions) is a task of individual forecasting. In this case, it is difficult to predict the behavior of a separate data transmission line over a certain period of time because the conditions of statistical stability are not met.

Presenting the main material. Calculations of assessment models for changes in the main parameters of transmission channels are presented, the use of a single energy-time diagnostic parameter for determining the technical condition of the control object is proposed. This approach makes it possible to determine jump-like changes in the value of the energy-time diagnostic parameter while maintaining operational efficiency, which is the basis for conducting additional studies outside the work plan in the existing maintenance system. The use of a single approach with a single informative diagnostic parameter is proposed. The essence of this approach is the formation of a special test sequence and further analysis of a generalized physical diagnostic parameter. The results of diagnostics can be used to identify possible problems, ensure the appropriate level of technical and informational activity, predict the technical state for a certain period of time. The main indicators of reliability have been determined, calculated ratios have been carried out.

Elements of scientific novelty. Elements of novelty are the fact that for the first time the dependences of the main parameters of the physical environment are used to solve the problems of technical diagnostics of systems with built-in software.

Practical significance of the article. The practical significance of the article is that the application of the proposed approach provides researchers with the trend of changes in the diagnostic parameter during the lifetime of the control object. This allows control of the physical integrity of the object of control in the military and technical fields.

Conclusion and the perspectives of future researches. The selected models of changes in the physical properties of the data transmission medium are based on the determination of coefficients that characterize the influence of external parameters and (or) their combinations on the material from which the data transmission lines are made. The presence of models makes it possible to obtain numerical values of changes in the energy-time diagnostic parameter depending on the time of operation of the control object and, accordingly, to solve the problems of technical diagnostics. The proposed approach allows control of the physical integrity of the object of control. The direction of further research is the formation of a database of reference diagnostic passports of the software and hardware components of the control object.

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

References

1. Agrawal, G. P., (2010). Fiber-Optic Communication Systems. New York: John Wiley & Sons, 630.
2. Kucera, M., (2017). Thermal aging of optical fibers under cyclic loading. *Optics Express*, 25, 14.
3. Petrov, A. V., Latushkin, A. V., (2016). Modelling of optical cable ageing with consideration of hydrophobic filler degradation possibility. *Radiotekhnika i elektronika*, 21.
4. Zhiglov, A. A., Maksimov, S. Yu., Titova, Ye. A., (2016). Modelling the ageing of optical cables. *Communication and informatics systems*. 1, 17.
5. Myer Kutz., (2016). Handbook of Environmental Degradation of Materials 2nd Edition. Norwich: William Andrew, 936.
6. Matick, R. E., (2000). Transmission Lines for Digital and Communication Networks. 1st Edition. Wiley-IEEE Press, 388.
7. Strelnikov, V. P., (2007). New technology for researching the reliability of machines and equipment. *Matematichni mashini i sistemi*. Київ: Institut matematiki NAN Ukraïni, 3-4.
8. Lebedev, A. N., Kupriyanov, M. S., Nedosekin, D. D., Chernyavskii, Ye. A., (2008). Probabilistic methods in engineering problems. Sankt-Peterburg: Energoatomizdat, 333.
9. Yeremenko, V. S., Kuts, Yu. V., Mokiichuk, V. M., Samoilenko, O. V., (2013). Statistical analysis of measurement data. K.: NAU, 320.
10. Kuzavkov, V. V., Khusainov, P. V., (2018). Predicting the technical condition of similar hardware and software. *Informatyka ta matematychni metody v modeliuванні*. 8, 1.
11. Vyshnivskiy, V. V., Zherdiev, M. K., Kuzavkov, V. V., (2013). Non-contact induction method for diagnosing electronic components: zbirnyk nauk. prats VIKNU im. T. Shevchenka. K., 43.
12. Gerd, K., Tarek, S., El-Bawab, (2010). Optical Fiber Communications. New York: McGraw-Hill, 688.
13. Liu, J., (2015). Analysis and modeling of optical fiber aging with hydrogen under high temperature and pressure. *Optics Express*. 23, 7.
14. Singh, A., Singh, B., Pandey, A., Dhar, S., (2018). Design of plasmonic nanoantennas for high performance photovoltaic devices using an effective medium theory. *Optics Communications*. 407.
15. Wang, Z., (2013). Investigation of optical fiber aging under high temperature and pressure. *Journal of Lightwave Technology*. 31, 16.
16. Crispin, J., Elliott, B., (2005). Introduction to Fiber Optics. Amsterdam: Newnes, 245.
17. William, A., (2017). Electrical Power Cable Engineering. Boca Raton: CRC Press, 3rd Edition. 460.
18. Cao, J., Li, J., Lu, J., (2015). A New Method for Predicting the Long-Term Performance of Underground Power Cables. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 30, 4.