

УДК 621.391.8

ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА БЕЗПРОВІДНИХ КАНАЛІВ СТАНДАРТУ 802.11

Михалевський Д.В.

*Вінницький національний технічний університет,
21000, Україна, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
adotg@ukr.net*

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА БЕСПРОВОДНЫХ КАНАЛОВ СТАНДАРТА 802.11

Михалевский Д.В.

*Винницкий национальный технический университет,
21000, Украина, г. Винница, Хмельницкое шоссе, 95.
adotg@ukr.net*

TECHNICAL DIAGNOSIS OF WIRELESS CHANNELS OF 802.11 STANDARD

Mykhalevskiy D.V.

*Vinnitsia National Technical University,
95, Khmelnytske St., Vinnitsia, 21000, Ukraine.
adotg@ukr.net*

Анотація. Головною задачею при проектуванні безпроводних мереж стандарту 802.11 є створення доступу із максимально-можливою пропускною здатністю каналу для окремого абонента. Така задача вирішується двома шляхами: розрахунок та тестова діагностика мереж на етапі проектування; оптимізація мереж під час експлуатації на основі технічної діагностики та моніторингу. В даній статті здійснено дослідження та уточнення існуючої термінології для технічної діагностики та контролю для безпроводних каналів стандарту 802.11. В результаті чого встановлено, що радіомоніторинг є першим етапом технічної діагностики на основі якого можна отримати статистичні характеристики про зміну параметрів каналу в часі. До другого етапу можна віднести моделі та методи аналізу й оцінки параметрів каналу з операціями контролю, що враховують вплив різного роду дестабілізуючих факторів. На основі отриманої термінології було запропоновано структурно-наслідкову діагностичну модель для безпроводного каналу стандарту 802.11, що передбачає формалізований опис об'єкта, необхідний для вирішення задач діагностування та контролю. Модель використовує загальну структуру каналного та фізичного рівнів стандарту 802.11 й енергетичні та інформаційні діагностичні параметри, що є справедливим для будь-якого безпроводного каналу. Рівень достовірності технічної діагностики безпроводних каналів забезпечується за рахунок вбудованих засобів моніторингу абонентських пристроїв, кількості вхідних параметрів та періоду спостереження. Крім того, передбачається, оцінка придатності каналу для передачі трафіка, що передбачає порівняння бітової швидкості з отриманими даними технічної діагностики. Це є актуальним за сучасних тенденцій підвищення якості сучасних інфокомунікаційних послуг, що значно підвищує вимоги до пропускної здатності каналів. Запропонована модель технічної діагностики являє собою концепцію методології. Вона включає в себе використання: вдосконалених та нових розроблених автором власних методологічних підходів до проведення досліджень безпроводних каналів; отриманих нових знань про роботу цих каналів під дією явищ, що існують у середовищі передачі; нові моделі та методи оцінки енергетичних та інформаційних параметрів та взаємозв'язків між ними; методів оцінки та статистичної обробки теоретичних й емпіричних досліджень.

Ключові слова: безпроводний канал, стандарт 802.11, ефективна швидкість передавання інформації, потужність сигналу, технічна діагностика, контроль, методологія.

Аннотация. Главной задачей при проектировании беспроводных сетей стандарта 802.11 является создание доступа с максимально-возможной пропускной способностью канала для отдельного абонента. Такая задача решается двумя путями: расчет и тестовая диагностика сетей на этапе проектирования; оптимизация сетей во время эксплуатации на основе технической диагностики и мониторинга. В данной статье проведено исследование и уточнение существующей терминологии технической диагностики и контроля для беспроводных каналов стандарта 802.11. В результате чего установлено, что радиомониторинг является первым этапом диагностики на основе которого можно получить статистические характеристики об изменении параметров канала во времени. Ко второму этапу можно отнести модели и методы анализа и оценки параметров канала, учитывающие влияние различного рода дестабилизирующих факторов с операциями контроля. На основе полученной терминологии было предложено структурно-следственную диагностическую модель для беспроводного канала стандарта 802.11, что предполагает формализованное описание объекта, необходимое для решения задач диагностики и контроля. Модель использует общую структуру канального и физического уровней стандарта 802.11 и энергетические и информационные диагностические параметры, что справедливо для любого беспроводного канала. Уровень достоверности диагностики беспроводных каналов обеспечивается за счет встроенных средств мониторинга абонентских устройств, количества входных параметров и периода наблюдения. Кроме того, предусматривается оценка пригодности канала для передачи трафика, что предусматривает сравнения битовой скорости с полученными данными технической диагностики. Это актуально при современных тенденциях повышения качества современных инфокоммуникационных услуг, что значительно повышает требования к пропускной способности каналов. Предложенная модель технической диагностики представляет собой концепцию методологии. Она включает в себя использование: усовершенствованных и новых разработанных автором собственных методологических подходов к проведению исследований беспроводных каналов; полученных новых знаний о работе этих каналов под действием явлений, существующих в среде передачи; новые модели и методы оценки энергетических и информационных параметров и взаимосвязей между ними; методов оценки и статистической обработки теоретических и эмпирических исследований.

Ключевые слова: беспроводной канал, стандарт 802.11, эффективная скорость передачи информации, мощность сигнала, техническая диагностика, контроль, методология.

Abstract. The main task when designing 802.11 wireless networks is to create access with the highest possible channel bandwidth for an individual subscriber. This problem is solved in two ways: calculation and test diagnostics of networks at the design stage; optimization of networks during operation based on technical diagnostics and monitoring. This paper investigates and clarifies the existing terminology for technical diagnostics and control for 802.11 wireless channels. As a result, it is established that radio monitoring is the first stage of technical diagnostics on the basis of which it is possible to obtain statistical characteristics about the change of channel parameters over time. The second stage includes models and methods of analysis and evaluation of channel parameters, considering the influence of various destabilizing factors with control operations. Based on the obtained terminology, a structural-consequential diagnostic model was proposed for the 802.11 wireless channel, which provides a formalized description of the object needed to solve the problems of diagnosis and control. The model uses the general structure of the channel and physical layer of the 802.11 standard and energy and information diagnostic parameters, which is valid for any wireless channel. The level of reliability of technical diagnostics of wireless channels is provided due to the built-in means of monitoring of subscriber devices, the number of input parameters and the observation period. In addition, an assessment of the suitability of the channel for traffic transmission is provided, which involves comparing the bit rate with the obtained technical diagnostic data. This is relevant in the current trends of improving the quality of modern infocommunication services, which significantly increases the bandwidth requirements of channels. The proposed model of technical diagnostics is a concept of methodology. It includes the use of: improved and new developed by the author's own methodological approaches to conducting research on wireless channels; acquired new knowledge about the operation of these channels under the influence of phenomena existing in the transmission medium; new models and methods for estimating energy and information parameters and the relationships between them; methods of evaluation and statistical processing of theoretical and empirical research.

Key words: wireless channel, 802.11 standard, effective information transfer rate, signal power, technical diagnostics, control, methodology.

В будь-якій теле- або інфокомунікаційній мережі головним елементом є користувач із відповідним абонентським обладнанням для якого створюються та надаються різного роду

послуги [1]. Саме це створює головну задачу при проектуванні таких мереж – створення доступу із максимально-можливою пропускнуою здатністю каналу для окремого абонента.

Така задача вирішується двома шляхами: розрахунок та тестова діагностика мереж на етапі проектування; оптимізація мереж під час експлуатації на основі технічної діагностики та моніторингу. Але на кожному етапі, як правило, для отримання достовірної інформації про стан та можливості мережі необхідно мати ефективні моделі та методи оцінки їх параметрів [2]. Це можна здійснити за допомогою діагностики та моніторингу.

Враховуючи досить широке впровадження безпроводних мереж стандарту 802.11, часто виникає низка таких проблем, як: шумові та інтерференційні завади, значна кількість різноманітного обладнання, що мають відхилення у технічних характеристиках, наявність архітектурних перешкод та ефекту багатопроменевого поширення хвиль тощо [3]. Саме тому проблема діагностики, контролю та моніторингу такої мережі є актуальною з метою вивчення факторів впливу та подальшого підвищення ефективності роботи мережного й абонентського обладнання. Крім того, виникає проблема, що пов'язана із визначенням термінології та існування методології технічної діагностики безпроводних каналів стандарту 802.11. Для вирішення таких проблем можна поставити наукову задачу побудови загальної діагностичної моделі, яка б могла бути основою для формулювання методології технічної діагностики для будь-якого каналу стандарту 802.11.

Мета статті полягає у визначенні термінології в галузі діагностики та побудові достовірної діагностичної моделі для безпроводних каналів стандарту 802.11.

Основні поняття діагностики. Для побудови достовірної діагностичної моделі спершу необхідно розібратись із термінологією. Згідно з ДСТУ 2389-94, *технічна діагностика* – це галузь знань, що містить у собі теорію, методи та засоби для визначення технічного стану об'єктів. Основною проблемою технічної діагностики є отримання достовірної оцінки стану об'єкта та ймовірність появи помилок. *Об'єктом технічної діагностики* для галузі теле- або інфокомунікацій є мережа або її складові. Тоді, *технічна діагностика мережі* – це отримання та оброблення інформації про стан мережі.

Автори у [4-5] розрізняють діагностику двох типів: *попереджувальну*, яка передбачає виявлення помилок в процесі роботи мережі та спрямована на запобігання їх виникнення; *реактивну*, що являє собою алгоритми виявлення помилок та пошуку джерел їх виникнення після настання відмови мережі.

Враховуючи [6], нормальним станом мережі можна вважати відповідність її параметрів до наперед встановлених норм в певний момент часу. Таким чином, технічна діагностика поділяється на два етапи. На першому етапі необхідно апаратно-програмними засобами отримати інформацію про стан мережі. Потім, на другому етапі робиться аналіз, оцінка та порівняння параметрів стану мережі із наперед визначеними значеннями.

Як відомо [7], базова побудова мереж стандарту 802.11 включає у себе точку доступу та абонентські пристрої. Основною структурною одиницею такої мережі є безпроводний канал, параметри якого залежать від внутрішніх та зовнішніх факторів. Стабільність каналів буде впливати на працездатність мережі в цілому. Тому, основним об'єктом для технічної діагностики та операцій контролю можна обрати безпроводний канал стандарту 802.11, що створюється парою приймач-передавач між абонентом та точкою доступу. Якщо, *об'єктом технічної діагностики* встановити безпроводний канал, що описується каналним та фізичним рівнем [8], то достовірну оцінку можна отримати на основі оцінки його технічного стану.

Технічний стан безпроводного каналу характеризується наперед заданими параметрами, які описані у специфікації стандарту 802.11 для каналного та фізичного рівнів, та специфікаціях 802.11 побудови мережі з врахуванням умов середовища передачі у визначені моменти часу.

Проведення технічної діагностики мереж можна виконувати на етапах проектування й експлуатації для оптимізації та визначення технічного стану безпроводних каналів. Для підвищення ефективності діагностики необхідно вирішити такі задачі: отримати достовірну інформацію про стан безпроводного каналу; забезпечити мінімальний час отримання інформації про параметри безпроводного каналу. Отримання достовірної інформації про стан безпроводного каналу можна здійснити на основі технічного діагностування.

Технічне діагностування – визначення технічного стану об'єкта з заданою точністю. Такий термін використовується коли визначається причина або місце відмови у мережі. При визначенні параметрів технічного стану безпроводного каналу доцільним є застосування терміна «контроль технічного діагностування». Особливістю технічного діагностування можна виділити *прогнозування технічного стану* безпроводного каналу або *контроль*. Це передбачає перевірку параметрів безпроводного каналу із наперед встановленими нормами для певного проміжку часу. Виконуючи операцію контролю можна оцінювати придатність чи непридатність передавати певні види мультимедійного трафіка у каналі при дії тих чи інших дестабілізуючих факторів [9]. Для визначення технічного стану застосовують параметри.

Параметрами технічного стану називають фізичні величини, які визначають зв'язок і взаємодію структурних одиниць об'єкта технічної діагностики.

Діагностичні параметри – це якісна міра параметрів технічного стану об'єкта під дією різного роду факторів.

Контроль технічного стану має низку параметрів:

1. Тривалість контролю – інтервал часу необхідний для отримання необхідної інформації про безпроводний канал.
2. Повнота технічного контролю – характеристика, яка визначає правильність вибору методів та засобів оцінки із максимально можливою достовірністю.
3. Достовірність контролю – ймовірнісний параметр, що показує наскільки отримані результати контролю відповідають дійсності.
4. Ймовірність помилки контролю – ймовірнісний параметр, що показує відхилення кінцевого результату від дійсного за рахунок методичних, випадкових, апаратних та програмних похибок.

На основі параметра тривалості контролю, технічне діагностування поділяється на види: періодичний контроль (встановлення наперед визначених інтервалів часу); безперервний контроль (в режимі реального часу); оперативний контроль (наперед задані алгоритми контролю).

Для проведення контролю технічного стану використовуються *засоби технічного діагностування*, що являють собою *апаратуру та програми*, за допомогою яких здійснюється діагностування.

При застосуванні безперервного контролю у безпроводних каналах стандарту 802.11 виникає поняття моніторингу. Враховуючи роботи [6, 10–13], можна сформулювати визначення моніторингу для безпроводних каналів стандарту 802.11.

Моніторинг безпроводних каналів – це система постійного спостереження за зміною параметрів безпроводного каналу від явищ та процесів, які створюють дестабілізуючі фактори з метою отримання інформації про технічний стан та проведення контролю. Отримання такої інформації може використовуватись для підвищення ефективності роботи каналів та мереж в цілому.

Інформацію про зміну параметрів безпроводного каналу можна отримати на основі методів та засобів, що передбачені у стандарті 802.11, за допомогою в приймальних частинах пристроїв, що підключені до мережі. Згідно з [14–15], *радіомоніторинг* – діяльність з вивчення і контролю радіооточення. Радіомоніторинг здійснюється за допомогою приймального пристрою та дає можливість отримати статистичні характеристики параметрів

джерел випромінювання у мережі. Отже, для певного типу мережі чи стандарту їх побудови, необхідно визначати кількість інформативних параметрів, щоб отримати максимальну достовірність моніторингу. Як показують дослідження у роботі [16], найбільш оптимальним є вибір 4...5 одиниць таких параметрів. Але базова побудова мереж стандарту 802.11 значно спрощує вибір параметрів для радіомоніторингу. Всі пристрої у мережі можна поділити на дві групи: точки доступу, повторювачі та ретранслятори, що забезпечують покриття; рухомі, портативні та стаціонарні абонентські пристрої. Кожен такий пристрій містить як приймальну частину, так і передавальну. В результаті чого, кожна приймальна частина виступає як засіб радіомоніторингу де виконується вимірювання основного енергетичного параметра сигналу та статистична оцінка сеансів передачі кадрів. Як правило, інформація від таких засобів є обмеженою. Спеціалізовані засоби моніторингу мають розширені можливості для оцінки параметрів каналів, але при цьому є складними у використанні та мають значно вищу ціну відносно абонентських пристроїв. У такому випадку, виникає поле для досліджень з метою створення нових ефективних методів оцінки параметрів безпроводних каналів щоб використовувати технічні можливості абонентських пристроїв із високою інформативністю.

Враховуючи проведені вище дослідження можна дійти висновку, що радіомоніторинг є першим етапом технічної діагностики, на основі якого можна отримати статистичні характеристики про зміну параметрів каналу в часі. До другого етапу можна віднести моделі та методи аналізу й оцінки параметрів каналу, що враховують вплив різного роду дестабілізуючих факторів з операціями контролю.

Діагностична модель безпроводного каналу. Для проведення технічної діагностики безпроводних каналів необхідно мати діагностичну модель, що передбачає формалізований опис об'єкта, необхідний для вирішення задач діагностування або контролю. Згідно з [17], діагностична модель може бути представлена в різних формах, таких як аналітична, таблична, векторна, структурно-наслідкова та ін. Кожна з таких моделей має низку переваг та недоліків, але вони повинні визначати стан об'єкта, що задовольняє всім технічним вимогам та всі інші стани, що не задовольняють таким вимогам. Така постановка дозволяє здійснювати аналіз та оцінку об'єкта як теоретичними методами на етапі проектування, так і під час експлуатації, враховуючи вплив зовнішніх факторів. Звідси слідує, що діагностична модель дає можливість визначати зв'язок між технічним станом об'єкта та його станом під час експлуатації.

Для побудови діагностичної моделі для будь-якого безпроводного каналу стандарту 802.11 використаємо структуру, яка надана у роботі [3]. Параметри, які визначають ефективність безпроводного каналу, можна поділити на дві групи [18]: енергетичні та інформаційні. Для стандарту 802.11 основним енергетичним параметром є потужність сигналу на вході приймача, який можна обрати одним із головних для діагностики. Іншим параметром, що пов'язаний з ним, є пропускна здатність каналу, яка оцінюється та встановлюється програмними засобами каналного та фізичного рівнів. Модель мережі з урахуванням основних параметрів діагностики та дії дестабілізуючих факторів показана на рис. 1.

Як засіб технічної діагностики можна використовувати абонентський пристрій (АП), за допомогою якого виконується радіомоніторинг де основним параметром є потужність сигналу на вході приймача (PRX). На нього діє значна кількість дестабілізуючих факторів як зовнішніх, так і внутрішніх. Ці фактори можна розділити на групи за характером впливу [3,7,9]: $A(t)$ – шумові завади; $S(t)$ – інтерференційні завади; $B(t)$ – характеристики затухання сигналу, що обумовлені поширенням хвиль у просторі (завади, багатопроменеве поширення хвиль, дифракція та ін.); $C(t)$ – затухання сигналу пов'язане із випадковими факторами, що можуть з'являтися у певні проміжки часу; $H(t)$ – характеристики внутрішніх

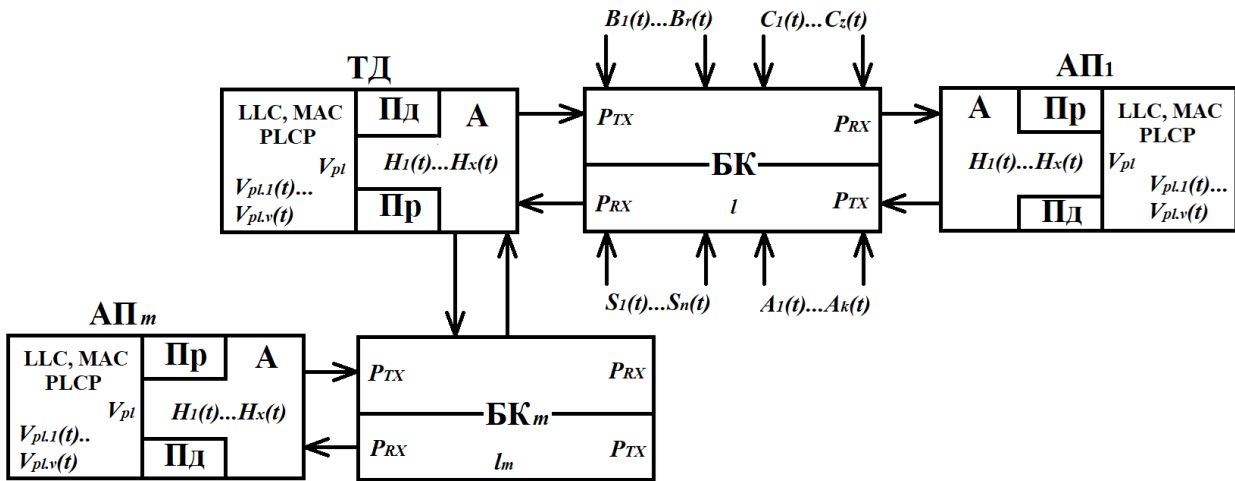


Рисунок 1 – Структура мережі для технічної діагностики безпроводного каналу стандарту 802.11

параметрів приймально-передавального обладнання підрівня PMD (коефіцієнт підсилення, діаграма спрямованості, додаткові радіотехнології, чутливість тощо.).

Пропускна здатність каналу (V_{pl}) визначається кількістю отриманої та переданої інформації через радіоколо. Як правило, такий параметр встановлюється за допомогою схеми MCS на основі вбудованих алгоритмів радіомоніторингу [20]. Але з точки зору додатків прикладного рівня кількість корисної інформації є значно меншою ніж показує параметр V_{pl} [21]. Тому, в такому випадку є доцільним оцінювати пропускну здатність каналу як ефективну швидкість передавання інформації (V_{eff}) (нема на рисунку бо замінюємо еквівалент параметра V_{pl}), що є реальним інформаційним показником каналу та забезпечує роботу всіх додатків прикладного рівня [18]. Він залежить від головного енергетичного параметра та дії факторів впливу $V_{pl,v}(t)$ на параметр V_{pl} .

Таким чином, для визначення технічного стану безпроводного каналу головною проблемою є вибір параметрів діагностики. Крім того, для підвищення достовірності необхідно враховувати взаємозв'язки між параметрами діагностики та структурними елементами каналів і факторами впливу. Тому найбільш оптимальною діагностичною моделлю можна обрати структурно-наслідкову. Враховуючи схему каналу рис. 1 та дію дестабілізуючих факторів, можна запропонувати діагностичну модель, яка показана на рис. 2.

Безпроводний канал містить у собі дві структурні складові, каналний та фізичний рівні, що і визначає вибір параметрів. На основі цього можна виділити два види діагностики: загальну та розширену. До загальної діагностики можна віднести оцінку параметрів P_{RX} і V_{pl} . Моніторинг таких параметрів можна виконувати на всіх пристроях стандарту 802.11, використовуючи спеціальне програмне забезпечення. Розширена діагностика передбачає аналіз супроводжуваних параметрів (наприклад, параметра V_{eff}), що, в першу чергу, залежить від можливостей засобу моніторингу. Як правило, розширену діагностику можна здійснювати на спеціалізованих пристроях.

Запропонована модель дозволяє здійснювати достовірну технічну діагностику каналу із використанням вбудованих засобів моніторингу в абонентських пристроях. Пристрій стандарту 802.11 являє собою програмно-апаратну структуру. Апаратна частина описується підрівнем PMD фізичного рівня. Його можна описати енергетичними параметрами, що супроводжують випромінювання сигналів у середовище передачі та параметри його прийому.

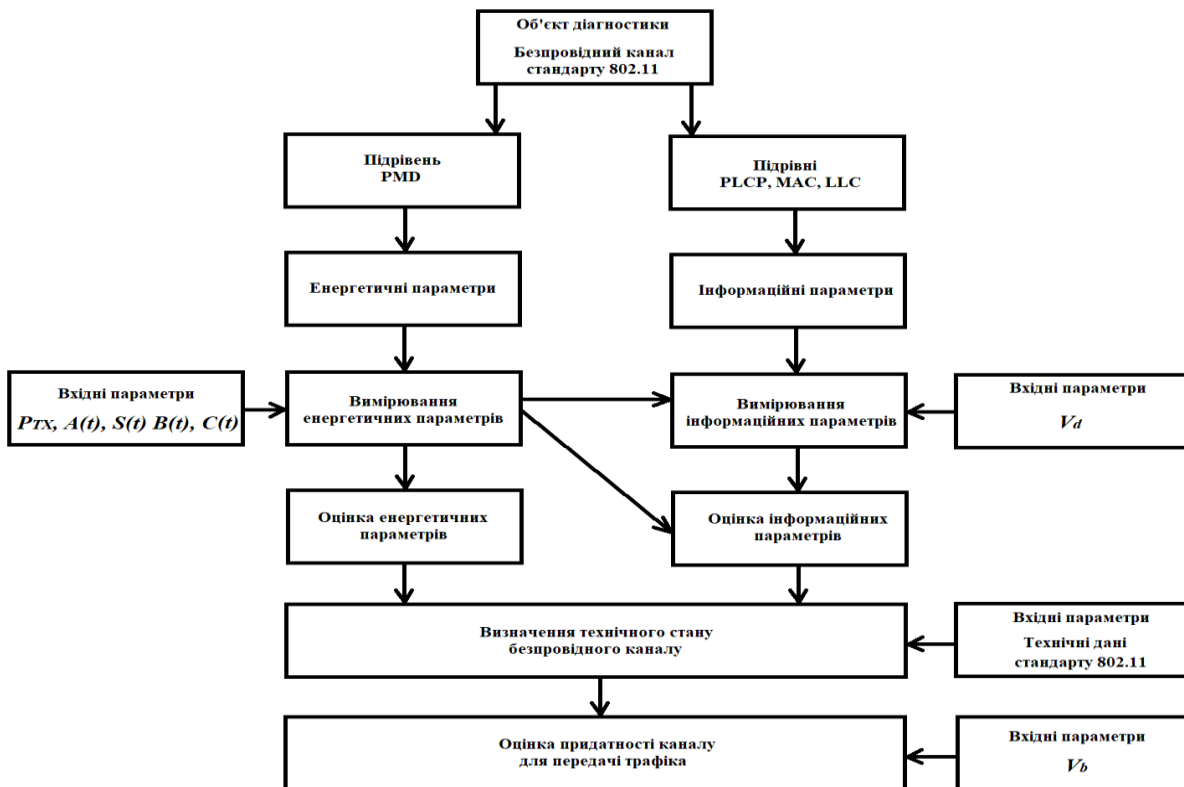


Рисунок 2 – Структурно-наслідкова діагностична модель для безпроводного каналу стандарту 802.11

Також, тут можуть застосовуватись різні додаткові радіотехнології для підвищення ефективності випромінювання та поширення радіохвиль. Тому, до енергетичних параметрів можна віднести: потужність випромінювання передавача P_{TX} , потужність сигналу на вході приймача P_{RX} , коефіцієнт шуму, коефіцієнт інтерференції, діапазон частот, смуга каналу, чутливість тощо. Інформаційні параметри з'являються у каналі на етапі перетворення бітової швидкості у кадри [8] та визначаються підрівнями PLCP для пропускну здатності каналу V_{pl} і каналним рівнем (підрівні MAC, LLC) разом із додатками прикладного рівня для визначення параметра V_{eff} . Розширеною діагностикою інформаційних параметрів буде оцінка кількості переданих та отриманих кадрів, кількість кадрів із помилками, кількість циклів перезапиту, кількість втрачених кадрів, характеристики зміни параметрів V_{pl} і V_{eff} від довжини каналу тощо.

На етапі вибору параметрів виникає компромісна задача – яку кількість параметрів необхідно обрати. Чим більша кількість параметрів моніторингу, тим вища достовірність діагностики, але за меншої кількості параметрів зменшується час отримання результатів. Тому, вирішення такої задачі залежить від початкових цілей: швидка діагностика з похибкою або діагностика з високою достовірністю та значним періодом спостереження.

Після вибору необхідного виду діагностики здійснюється етап вимірювання діагностичних параметрів. Вимірювання передбачає наявність вхідних параметрів та здійснюється на основі алгоритмів моніторингу. Точність вимірювання буде залежати від параметрів приймального пристрою, достовірності алгоритмів програмних засобів відтворення та періоду спостереження [7]. У безпроводному каналі діють різного роду дестабілізуючі фактори, що і будуть вхідними параметрами при вимірюванні енергетичних параметрів (див. рис. 1). Інше питання діагностика інформаційних параметрів. Параметр V_{pl} визначається на основі схеми MCS тоді як параметр V_{eff} можна оцінити за допомогою

додатків прикладного рівня створенням тестового передавання інформації з вхідним параметром V_d .

Після отримання статистичних вимірювальних результатів основних параметрів каналу виконується етап оцінки параметрів діагностики за допомогою математичних моделей та методів, які враховують вплив дестабілізуючих факторів, параметри середовища передачі, умови проведення моніторингу, встановлені обмеження, взаємозв'язок діагностичних параметрів тощо. [3, 7, 18, 19, 21].

Далі, виконуючи порівняння отриманих діагностичних параметрів з технічними даними стандарту 802.11, визначається технічний стан безпроводного каналу стандарту 802.11. На даному етапі здійснюється оцінка інформаційної та енергетичної ефективності каналу [18]. Як додатковий етап технічної діагностики є оцінка придатності каналу для передачі трафіка, що передбачає порівняння бітової швидкості з отриманими даними технічної діагностики. Це є актуальним за сучасних тенденцій підвищення якості інфокомунікаційних послуг, що значно підвищує вимоги до пропускної здатності каналів.

Враховуючи те, що базова побудова стандарту 802.11 є незмінною, то отримана діагностична модель є справедливою для будь-яких каналів (як існуючих так і майбутніх) з різними смугами частот та з різних частотних діапазонів.

Отже, у статті запропоновано модель технічної діагностики для будь-якого каналу стандарту 802.11. Така модель є основою для побудови концепції методології. Тут застосовується як методологічний підхід до проведення досліджень безпроводних каналів, так і отримуються нові знання про роботу цих каналів під дією явищ, що існують у середовищі передачі. Згідно з [22], методологію можна визначити за наступними критеріями:

- поставлена мета даної статті реалізована запропонованою структурно-діагностичною моделлю технічної діагностики. Для цього було уточнено терміни та поняття, що дозволяє визначити місце діагностики та контролю безпроводних каналів стандарту 802.11 у галузі науки;
- технічний стан безпроводного каналу визначається теоретичним аналізом каналного та фізичного рівнів для отримання знань про взаємозв'язок основних параметрів та можливий вплив різних способів, підходів та методів на підвищення ефективності;
- визначення поточного стану безпроводного каналу із використанням емпіричних методів досліджень. Тут отримуються знання про динамічні процеси та явища під час експлуатації безпроводних каналів. Для цього застосовуються методи радіомоніторингу, моніторингу та прямі і непрямі вимірювання;
- оцінка та статистична обробка теоретичних і емпіричних досліджень надає нову інформацію про роботу безпроводних каналів під дією різного роду дестабілізуючих факторів та явищ. Створення бази знань про вплив таких факторів на параметри безпроводних каналів дає можливість створення логіко-аналітичного інструмента для підвищення ефективності безпроводних мереж на етапах проектування та експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Толюпа С.В. Метод багатокритеріального аналізу ефективності функціонування та забезпечення інформаційної безпеки інфокомунікаційних систем / С.В. Толюпа // Захист інформації. – 2012. – № 3(56), Т.14. – С. 81–86. DOI: 10.18372/2410-7840.14.3371.
2. Стеценко І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс]. / І. В. Стеценко // Черкас. держ. технол. ун-т, Черкаси : ЧДТУ. – 2010. – 399 с.
3. Михалевський Д.В. Оцінка параметрів безпроводного каналу передачі інформації стандарту 802.11 Wi-Fi / Д.В. Михалевський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 6/9 (72). – С. 22–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.31666.
4. Юдицкий С. Основы диагностики сети / С. Юдицкий, В. Борисенко, О. Овчинников // LAN/журнал сетевых решений. – 1998. – № 12.

5. Методы тестирования и диагностирования компьютерных сетей / [А.Л. Моисеев, Р.Р. Моисеева, В.В. Шаров, Ю.Н. Зацаринная] // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – № 1, Т.12. – С. 315–316.
6. Хлапонін Ю.І. Аналіз та моніторинг телекомунікаційної мережі на основі інтелектуальних технологій / Ю.І. Хлапонін, Г.Б. Жиров // Papers of the XVI International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security" (ITS 2016). Kyiv, Ukraine. – 2016. – С. 32–39.
7. Mykhalevskiy D. Development of a spartial method for the estimation of signal strength at the input of the 802.11 standard receiver / D. Mykhalevskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – 2017. – № 4/9 (88). – P. 29–36. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.106925.
8. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications--Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz., in IEEE Std 802.11ac(TM)-2013 (Amendment to IEEE Std 802.11-2012, as amended by IEEE Std 802.11ae-2012, IEEE Std 802.11aa-2012, and IEEE Std 802.11ad-2012), P.1–425, 18 Dec. 2013. DOI: [10.1109/IEEESTD.2013.7797535](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2013.7797535).
9. Михалевський Д.В. Оцінка ефективної швидкості передачі інформації для сімейства стандартів 802.11x у діапазоні 2.4 ГГц / Д.В. Михалевський, О.С. Городецька // Сборник научных трудов Sword. – 2015. – № 3(40). Т.3. – С.43–47.
10. Моніторинг / Ред. кол. Ю.С. Шемшученко та ін. // [Юридична енциклопедія](#): [у 6 т.] К. : Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана. – 2001. Т. 3, 792 с. [ISBN 966-7492-03-6](#).
11. Гузій М.М. Аналіз технологій моніторингу комп'ютерних мереж / М.М. Гузій, О.В. Станіславова, М.В. Кадет // Наукоємні технології. – 2009. – № 1, Т.1. – С. 44–45. DOI: [10.18372/2310-5461.1.5091](https://doi.org/10.18372/2310-5461.1.5091).
12. Моніторинг об'єктів в умовах апріорної невизначеності джерел інформації. Монографія / [Ю.Я. Бобало, Ю.Г. Даник, Л.О. Комарова, О.О. Лук'янов та ін.] // Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів, 2015. – 360 с. ISBN 978-617-642-188-7.
13. Техническая диагностика современных цифровых сетей связи. Основные принципы и технические средства измерений параметров передачи для сетей PDH, SDH, IP, Ethernet и ATM; под ред. М.М. Птичникова / [И.И. Власов, Э.В. Новиков, М.М. Птичников, Д.В. Сладких] – М.: Горячая линия–Телеком, 2012. – 480 с. ISBN 978-5-9912-0195-7.
14. Рембовский А.М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. – [4-е изд., испр.] / Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 640 с. ISBN 978-5-9912-0479-8.
15. Киселев Д.Н. Радиомониторинг и распознавание радиоизлучений: учеб. пособ. [для вузов] / Д.Н. Киселев, О.Ю. Перфилов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 90 с. ISBN 978-5-9912-0490-3.
16. Ільницький А.І. Статистичні характеристики інформаційних ознак джерел випромінювання при радіомоніторингу телекомунікаційних мереж / А.І. Ільницький, О.І. Бурба, О.О. Пасічник // Управляющие системы и машины. – 2016. – № 6. – С. 48–58.
17. Сахно Є.Ю. Менеджмент сервісу: теорія та практика: навч. посіб. / Є.Ю. Сахно, М.С. Дорош, А.В. Ребенок. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 328 с. ISBN 978-966-364-948-1.
18. Mykhalevskiy D.V. Development of information models for increasing the efficiency of evaluating wireless channel parameters of 802.11 standard / D.V. Mykhalevskiy, V.M. Kuchak // Latvian journal of physics and technical sciences. – 2019. – № 2. – P. 41-51. DOI: 10.2478/lpts-2019-0009.
19. Михалевський Д.В. Дослідження передачі інформації в умовах суміщеного та сусіднього інтерференційного каналів для стандарту 802.11n / Д.В. Михалевський, В.В. Номировська, О.М. Постернак // Вимірjувальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 155–159.
20. CWAP Certified Wireless Analysis Professional Official Study Guide: Exam PW0-270 / D. A. Wescott, D.D. Coleman, P. Mackenzie, B. Miller // Wiley Technology Pub., 2011. – 712 p.
21. Mykhalevskiy D.V. Investigation of wireless channels of 802.11 standard in the 5GHz frequency band / D.V. Mykhalevskiy // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2019. – № 1. – P. 41–51. DOI: 10.2478/lpts-2019-0004.
22. Зацерковний В.І. Методологія наукових досліджень : навч. посіб. / Зацерковний В.І., Тішаєв І.В., Демидов В.К. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2017. – 236 с. ISBN 978-647-527-156-8.

REFERENCES:

1. Tolyupa S.V. Metod bagatokriterialnogo analizu effektivnosti funkczionuvannya ta zabezpechennya informacijnoyi bezpeki infokomunikacijnikh sistem. Zakhist informacziyi, 2012, № 3(56), Т.14. p. 81–86. DOI: 10.18372/2410-7840.14.3371.

2. Steczenko I.V. Modelyuvannya sistem: navch. posib. [Elektronnij resurs]. Cherkas. derzh. tekhnol. unt, Cherkasi : ChDTU, 2010. 399 s.
3. Mikhalevskiy D.V. Oczinka parametriv bezprovidnogo kanalu peredachi informacziyi standartu 802.11 Wi-Fi. Skhidno-Yevropejskij zhurnal peredovikh tekhnologij, 2014. № 6/9 (72). P. 22–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.31666.
4. Yudiczkiy S., Borisenko V., Ovchinnikov O. Osnovy diagnostiki seti. LAN/zhurnal setevykh reshenij, 1998. № 12.
5. Moiseev A.L., Moiseeva R.R., Sharov V.V., Zaczarinnyaya Yu. N. Metody testirovaniya i diagnostirovaniya kompyuternykh setej. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2017. № 1. T.12. P. 315–316.
6. Khlaponin Yu.I., Zhiron G.B. Analiz ta monitoring telekomunikacijnoyi merezhi na osnovi intelektualnikh tekhnologij. Papers of the XVI International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security" (ITS 2016), 2016, Kyiv, Ukraine. P. 32–39.
7. Mykhalevskiy D. Development of a spartial method for the estimation of signal strength at the input of the 802.11 standard receiver. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. № 4/9 (88). P. 29–36. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.106925.
8. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications--Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz., in IEEE Std 802.11ac(TM)-2013 (Amendment to IEEE Std 802.11-2012, as amended by IEEE Std 802.11ae-2012, IEEE Std 802.11aa-2012, and IEEE Std 802.11ad-2012). P.1–425, 18 Dec. 2013. DOI: [10.1109/IEEESTD.2013.7797535](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2013.7797535).
9. Mikhalevskij D.V., Gorodeczka O.S. Oczinka effektivnoyi shvidkosti peredachi informacziyi dlya simejstva standartiv 802.11x u diapazoni 2.4 Gcz. Sbornik nauchnykh trudov Sword, 2015. № 3(40). T.3. P.43–47.
10. Monitoring / Red. kol. Yu. S. Shemshuchenko ta in. Yuridichna encyklopediya : [u 6 t.] K. : Ukrayinska encyklopediya im. M. P. Bazhana. T. 3. 2001. 792 s. ISBN 966-7492-03-6.
11. Guzij M.M., Stanislavova O.V., Kadet M.V. Analiz tekhnologij monitoringu komp'yuternykh merezh. Naukoyemni tekhnologiyi, 2009. № 1. T.1. P. 44–45. DOI: [10.18372/2310-5461.1.5091](https://doi.org/10.18372/2310-5461.1.5091).
12. Bobalo Yu.Ya., Danik Yu.G., Komarova L.O., Lukyanov O.O. ta in. Monitoring obyektiv v umovakh apriornoyi nevznachenosti dzherel informacziyi. Monografiya. Nacz. un-t "Lviv. politehnika". Lviv, 2015. 360 s. ISBN 978-617-642-188-7.
13. Vlasov I.I., Novikov E.V., Ptichnikov M.M., Sladkikh D.V. Tekhnicheskaya diagnostika sovremennykh czifrovyykh setej svyazi. Osnovnye princzipy i tekhnicheskije sredstva izmerenij parametrov peredachi dlya setej PDH, SDH, IP, Ethernet i ATM : Pod red. M.M. Ptichnikova. M.: Goryachaya liniya–Telekom, 2012. 480 s. ISBN 978-5-9912-0195-7.
14. Rembovskij A.M., Ashikhmin A.V., Koz'min V. A. Radiomonitoring: zadachi, metody, sredstva. 4-e izd., ispr. M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2015. 640 s. ISBN 978-5-9912-0479-8.
15. Kiselev D.N., Perfilov O.Yu. Radiomonitoring i raspoznavanie radioizluchenij. Uchebnoe posobie dlya vuzov. M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2015. 90 s. ISBN 978-5-9912-0490-3.
16. Illiczkij A.I., Burba O.I., Pasichnik O.O. Statistichni kharakteristiki informacijnykh oznak dzherel viprominyuvannya pri radiomonitoringu telekomunikacijnykh merezh. Upravlyayushhie sistemy i mashiny, 2016. № 6. P. 48–58.
17. Sakhno Ye.Yu., Dorosh M.S., Rebenok A.V. Menedzhment servisu: teoriya ta praktika. Navchalnij posibnik. K.: Czentr uchbovoyi literaturi, 2010. 328 s. ISBN 978-966-364-948-1.
18. Mykhalevskiy D.V., Kychak V.M. Development of information models for increasing the efficiency of evaluating wireless channel parameters of 802.11 standard. Latvian journal of physics and technical sciences, 2019. № 2. P. 41–51. DOI: 10.2478/lpts-2019-0009.
19. Mykhalevskiy D.V., Nomyrovskaya V.V., Posternak O.M. Doslidzhennia peredachi informatsii v umovakh sumishchenoho ta susidnogo interferentsiinoho kanalikv dlia standartu 802.11n. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh, 2015. № 2. P. 155–159.
20. Wescott D.A., Coleman D.D., Mackenzie P., Miller B. CWAP Certified Wireless Analysis Professional Official Study Guide: Exam PW0-270. Wiley Technology Pub., 2011. 712 p.
21. Mykhalevskiy D.V. Investigation of wireless channels of 802.11 standard in the 5GHz frequency band Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. 2019. № 1. P. 41-51. DOI: 10.2478 / lpts-2019-0004.
22. Zaczerkovnij V.I., Tishayev I.V., Demidov V.K., Zaczerkovnij V.I. Metodologiya naukovykh doslidzhen : navch. posib. Nizhin : NDU im. M. Gogolya, 2017. 236 s. ISBN 978-647-527-156-8.

DOI 10.33243/2518-7139-2020-1-2-111-120