

комплексна архітектура яких базується на великій розмірності кіберпростору і широкому діапазоні можливостей різних напрямків передачі інформації, набула загрозливий характер для критичної інфраструктури великих корпорацій, важливих промислових об'єктів і державних установ [2]. Головними тенденціями розвитку загроз кібербезпеки є постійне збільшення не тільки інтенсивності кібератак, а й нарощення їх складності шляхом багатоступового впливу на кіберпростір. Пошук перспективних напрямків розв'язання комплексної проблеми організації ефективної системи забезпечення безпеки стимулювало появу нових, створених на загальносистемних позиціях, концептуальних підходів і наукових досліджень в сфері організації кібербезпеки підвищеної стійкості [1, 2].

В доповіді приводиться аналіз проблеми кібербезпеки в розподілених комп'ютерних середовищах орієнтованих для керування складними енергетичними об'єктами. Показано, що розв'язання проблеми захисту комп'ютерної інформації передбачає рішення комплексу взаємообумовлених задач з врахуванням особливостей топології кіберпростору та ряду характеристик пов'язаних з організацією взаємозв'язків та особливостей передачі інформації. Запропоновано, у вигляді графа, логічну структуру розподіленого комп'ютерного середовища, що адекватно відображає топологію організації електричної системи електропостачання на рівні тягових підстанцій. На основі теорії диференціальних перетворень Пухова розроблена диференціальна математична модель кібербезпеки комп'ютерного середовища динамічного керування електропостачанням яка представлена у вигляді сукупності алгебричних залежностей система диференціальних Т-рівнянь, що відкрило можливість визначення в аналітичному величин ймовірностей вузлів графа моделі кібератак на інформаційні ресурси локальної обчислювальної мережі тягової підстанції. Формалізовано критерій кібербезпеки, запропоновано принцип мінімаксу для мінімізації функціоналу у випадках найгіршого сполучення інтенсивності потоків кібератак і захисних дій.

Література

- 1 Стасюк О.І. Математична модель кібербезпеки комп'ютерно мережі керування електропостачанням тягових підстанцій// Стасюк О.І., Гришук Р.В., Гончарова Л.Л. Кибернетика и системный анализ, ISSN 0023-1274. Київ-2017. Том 53, № 3 – С 67 - 79. <http://www.kibernetika.org>, , <http://www.kiberne>.
- 2 Стасюк О.І. Математичні моделі і методи аналізу комп'ютерних мереж керування електропостачанням тяговими підстанціями залізниць// Стасюк О.І., Гончарова Л.Л. Проблемы управления и автоматизации, ISSN 0572-2691. Киев-2017, № 1 – С 93-101. <http://inform.icybcluster.org.ua>.

Трубчанінова К. А., Ковтун І. В. (УкрДУЗТ)

НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ ТА ЗБІЛЬШЕННЯ КАНАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ

В даний час виробники телекомунікаційного обладнання застосовують різні способи підвищення спектральної ефективності систем зв'язку і збільшення каналної швидкості. У статті розглядаються тенденції і перспективи використання різних підходів досягнення зазначеної мети.

Довгий час в оптичних мережах телекомунікації вдавалося збільшувати пропускну здатність при збереженні дальності передачі інформації. Важливу роль при цьому відігравав розвиток технологій завадостійкого кодування (FEC). За останні роки змінилося три покоління каналоутворюючого обладнання (від 2,5G - до 10G, 40G, 100G) з обов'язковим переходом на більш розвинену технологію FEC (HD FEC, Super FEC, Soft FEC). Одним з найостанніших досягнень в збільшенні продуктивності волоконо-оптичних систем зв'язку стали магістральні системи 100G з форматом модуляції DP-QPSK [1].

Однак постійне зростання трафіку на національному, регіональних і міських рівнях вимагає подальшого розвитку систем передачі, причому не обов'язково за рахунок підвищення продуктивності. Сьогодні в розвитку DWDM-обладнання для міських і регіональних мереж зв'язку на перший план виходять дві взаємопов'язані потреби:

- збільшення спектральної ефективності (зростання швидкості при тій же займаній спектральній смузі), навіть і з зниження максимально досяжної дальності, - для підвищення економічної ефективності використання доступного спектра;
- збільшення каналної швидкості (зокрема, надання клієнту інтерфейсів 400 Гбіт / с, 1 Тбіт / с) - в зв'язку з потенційною стандартизацією і впровадженням клієнтських каналів 400G Ethernet і 1TEthernet.

Збільшення спектральної ефективності досягається головним чином за рахунок переходу до більш складним форматам модуляції - 8QAM, 16QAM, 64QAM. При тій же максимальній амплітуді сигналу ускладнення формату модуляції веде до більш щільному розташуванню станів сигналу. Чим ближче один до одного різні стани, які повинен розрізнити приймач, тим менше допустимий рівень шуму в лінії (отже, менше і допустима дальність передачі). Таким чином, підвищення формату модуляції веде до суттєвого обмеження дальності, що, не є істотним недоліком для мереж міського та регіонального масштабів. На практиці для використання в

регіональних і міських системах зв'язку розглядаються формати DP-16QAM і DP-64QAM [2]. Перший з них при виконанні ряду умов (поліпшення необхідного OSNR, зменшення довжини прольотів) зможе використовуватися і на магістральних мережах.

Інший спосіб збільшення пропускної здатності - підвищення символної швидкості - обмежений фізичними можливостями електроніки (в даний час в обладнанні використовуються модулятори на швидкості 30 ГБод, тестуються модулятори 45 і 60 ГБод). Альтернативою є ущільнення каналів при тій же символній швидкості (наприклад, передача 30 ГБод в смузі не 50 ГГц, а 33 ГГц). Підвищення символної швидкості в заданій смузі (або скорочення смуги при тій же швидкості) також призводить до деякого зниження дальності.

В даний час активно розвивається ще один спосіб збільшення каналної швидкості - використання декількох піднесних (суперканалів, під суперканалом розуміється набір з декількох оптичних піднесних, яким можна керувати в оптичному тракті як єдиним цілим). Він не призводить до зростання ефективності використання спектра, але дозволяє надати клієнтові будь-яку необхідну каналну швидкість.

Таким чином існують три незалежні шляхи збільшення каналної швидкості систем зв'язку - підвищення символної швидкості, ускладнення формату модуляції і використання декількох піднесуть. Канальна швидкість розраховується як добуток значень за всіма трьома напрямками, при цьому необхідно передбачити ще деякий запас для реалізації завадостійкого кодування FEC. Наприклад, системи 100G: символна швидкість 30 ГБод, символна ефективність чотири біта на Бод (формат QPSK з використанням двох поляризацій), одна несна в смузі 50 ГГц; системи 400G по двом піднесним: символна швидкість 30 ГБод, символна ефективність вісім біт на Бод (формат 16QAM з використанням двох поляризацій), дві несні в загальній смузі 100 ГГц; системи 400G по одній несній: символна швидкість 60 ГБод, символна ефективність вісім біт на Бод (формат 16QAM з використанням двох поляризацій), одна несна в смузі 100 ГГц.

Список використаних джерел

3. Кобышев В. А. Рекордная производительность систем 100G как маркер перехода к эволюционному развитию ВОСП. [Текст] / В.А. Кобышев, А.В. Леонов, О.Е. Наний, В.Н. Трешиков, Р.Р. Убайдуллаев // Первая миля. - 2015. - № 6. - с. 40-43.
4. Трешиков В. Н. Разработка DWDM-системы ёмкостью 25 Тбит/с. [Текст] / В.Н. Трешиков // Фотон-Экспресс. - Март 2013. - №2(106). - с. 24-28.

Слізаренко А. О. (УкрДУЗТ),

Слізаренко І. О. (ХФ УДЦР)

УДК 656.254.16

ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ РАДІОТЕХНОЛОГІЙ НА МЕРЕЖАХ РУХОМОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Вступ. В системах технологічного радіозв'язку залізниць періодично проводились роботи з модернізації та удосконалення технічних засобів радіозв'язку та розширення сфер їх застосування. Всі технічні засоби належали до однієї радіотехнології – радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби.

Подальший розвиток мереж залізничного технологічного радіозв'язку передбачає впровадження цифрових радіозасобів з освоєнням нових смуг частот в ультракороткохвильових діапазонах радіохвиль. Причому в науково – технічній літературі розглядають три найбільш перспективні цифрові радіо технології, які принципово різняться:

- радіозасоби цифрового відкритого стандарту мобільного радіозв'язку DMR;

- системи стільникового радіозв'язку GSM-R, на основі найбільш поширеного стандарту цифрового мобільного зв'язку загального користування GSM;

- широкосмугові системи радіозв'язку стандарту LTE.

Процес впровадження нових радіозасобів є багатограним і стосується усіх ланок управління рухом поїздів. В зв'язку з цим необхідна розробка концепції та програми побудови цифрових мереж технологічного радіозв'язку на основі новітніх радіотехнологій.

Постановка проблеми. Порівняльний аналіз основних техніко-експлуатаційних характеристик радіозасобів різних технологій та особливості їх застосування на мережах технологічного радіозв'язку залізниць.

Основні результати. Радіотехнології розглядають, як сукупність методів формування, передачі, прийому радіосигналів, які складають єдиний технологічний процес роботи радіозасобів.

У 2005 році Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (ETSI), був розроблений стандарт DMR (Digital Mobile Radio - цифрове мобільне радіо), як єдиний відкритий загальноєвропейський стандарт цифрового мобільного радіозв'язку [1]. Він забезпечує задачі «цифровізації» систем конвенціонального радіозв'язку і дозволяє модернізувати вже існуючі аналогові мережі шляхом поступової заміни аналогового обладнання на цифрове, без порушення діючих систем технологічного радіозв'язку з частковим використанням існуючої інфраструктури.