

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ МЕРЕЖІ МАЙБУТНЬОГО ДО ДІЇ ЗОВНІШНІХ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ

В статті визначено, що підвищення якості функціонування мережі майбутнього можливо за рахунок підвищення стійкості елементів мережі. Наведено методи забезпечення стійкості елементів мережі майбутнього, таких як споруди зв'язку, обладнання зв'язку та лінії зв'язку до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів. Під стійкістю ми розуміємо здатність елементів мережі майбутнього виконувати свої функції та зберігати параметри у встановлених границях під час або після дії зовнішніх дестабілізуючих факторів. Сформовано можливість знаходження сумарної стійкості мережі майбутнього.

Ключові слова: мережа майбутнього, зовнішні дестабілізуючі фактори, стійкість, коефіцієнт важливості

Otrokh S. I., Yarosh V. O., Vlasenko V. O., Zinenko Yu. M. Methods of future network support resistance to external destabilizing factor. The article is defined that improving the quality of the future network is possible by increasing the stability of network elements. The method of ensuring the stability of the future network elements such as communication facilities, communication equipment and link to external destabilizing factors are adduced. Under the stability we mean the ability of the future network elements perform their functions and save options in established borders during or after the action of external destabilizing factors. It is determined that every element of the future network (buildings, equipment and lines) has its resistance to external destabilizing factors. Thus, the possibility of finding generated total resistance of the future network is moubded. Factor of importance (value) of future network element that determines location of a separate element in the hierarchy of future network architecture gets particular importance

Keywords: future network, external destabilizing factors, stability, rate of the importance

Вступ. В даний час велика кількість робіт присвячено розвитку теоретичних і практичних аспектів вирішення завдань підвищення якості функціонування мереж майбутнього (FN) і разом з тим побудови високонадійних і відмовостійких мереж, які були б стійкі до впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів (ЗДФ). Міжнародним союзом електрозв'язку ведеться робота з вивчення зовнішніх деструктивних впливів (L.392) на телекомунікаційні мережі [1] та відпрацьовуються рекомендації для підвищення сталості функціонування FN шляхом підвищення стійкості елементів мережі майбутнього, таких як: споруди зв'язку, обладнання зв'язку та лінії зв'язку до дії ЗДФ. У зв'язку з цим питання підвищення стійкості мережі майбутнього набувають актуальності та особливого значення.

Під стійкістю ми розуміємо здатність елементів мережі майбутнього виконувати свої функції та зберігати параметри у встановлених границях під час або після дії ЗДФ.

Основна частина. Стійкість мереж майбутнього до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів забезпечується [2]:

– вибором типу споруд об'єктів зв'язку від безпосереднього впливу потужних гармонічних електромагнітних полів, електромагнітних імпульсних полів блискавки та іонізуючого випромінювання;

– захистом обладнання систем передачі мережі зв'язку від безпосереднього впливу електромагнітних полів;

– вибором типів кабелю та параметрів їх прокладки міжстійкових з'єднань обладнання зв'язку на об'єктах кабельних систем передачі FN;

– збільшенням стійкості обладнання на об'єктах кабельних систем передачі FN до взаємодії електромагнітних полів;

– захистом обладнання зв'язку на об'єктах кабельної інфраструктури FN від комплексної взаємодії електромагнітних полів та іонізуючого випромінювання.

Розглянемо кожен пункт забезпечення стійкості мереж майбутнього окремо.

1. Стійкість мереж майбутнього до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів забезпечується вибором технічних споруд проводових засобів зв'язку, які бувають:

- споруди, в яких розміщуються вузли зв'язку, кінцеві та обслуговуючі підсилювальні (регенераційні) пункти;
- цистерни та контейнери, у яких розміщуються необслуговуючі підсилювальні і регенераційні пункти.

Споруди, в яких розміщуються вузли зв'язку та обслуговуючі підсилювальні (регенераційні) пункти являють собою будівлі чотирьох типів: *бетонні будівлі* з покриттям із залізобетону; *будівлі* з покриттям, стінами та фундаментом із залізобетону; *будівлі* з покриттям, стінами та фундаментом із залізобетону, в якості екрануючого шару застосовується фольгоізол; *цегляні будівлі*.

Захист обладнання зв'язку при взаємодії іонізуючого випромінювання (ІВ) передбачається в тому випадку, якщо рівні зовнішніх впливів ІВ, при яких планується функціонування об'єкта зв'язку, перевищують рівень стійкості обладнання. Захист обладнання зв'язку від впливу іонізуючих випромінювань може бути забезпечений тільки послабленням ІВ шарами захисних матеріалів з бетону, цегли або ґрунту. Для захисту обладнання мережі майбутнього, розташованого на вузлах зв'язку і необслуговуваних підсилювальних (регенераційних) пунктах, від впливу електромагнітних полів застосовуються будівлі зведені цілком з армованого бетону з гальванічними зв'язками між арматурою стін, підлоги та покриттям. Ці будівлі послаблюють діючі поля електромагнітних імпульсів блискавки на $55 \div 58$ дБ. Застосування таких споруд полегшує рішення загальної задачі по забезпеченню стійкості обладнання до впливу електромагнітних полів, а також до комплексного впливу різних видів ЗДФ, в тому числі і іонізуючих випромінювань. Забезпечення стійкості обладнання зв'язку до впливу ІВ досягається забезпеченням впливу на обладнання, розміщене в спорудах зв'язку, дози гамма-випромінювання, на яке обладнання повинне бути розраховане при проектуванні.

Якщо рівні гамма випромінювання поза об'єктом зв'язку перевищують рівні ІВ допустимі для обладнання, тоді необхідно послаблювати рівень гамма випромінювання. Застосування будівлі, яка обладнана суцільним металевим екраном з фольги в якості споруди зв'язку, може призвести до появи небезпечних полів вторинних електромагнітних імпульсів всередині споруди зв'язку, що впливають на станційні кабелі зв'язку. Захисні властивості споруд зв'язку при впливі електромагнітних полів гармонійного характеру також залежать від частоти.

2. Стійкість мереж майбутнього до дії ЗДФ забезпечується захистом обладнання систем передачі від безпосереднього впливу електромагнітних полів, які проникають всередину стійки або блоку обладнання. Стійкість обладнання засобів зв'язку до безпосереднього впливу електромагнітних полів, залежить від властивостей електро-радіоелементів, що входять до складу обладнання, а також від властивостей металевих корпусів стійок та блоків, в яких розміщується зазначене обладнання.

Для забезпечення захисту обладнання систем передачі від безпосереднього впливу електромагнітних полів необхідно, щоб наведена в контурі електрорухома сила була менше імпульсної електроємності елементів схеми. Якщо обладнання встановлене в будівлях і розміщується в типових стійках та блоках то його захист від безпосереднього впливу електромагнітних полів блискавки забезпечується за умови, що конструктивні елементи цих стійок і блоків прилягають один до одного з зазорами не більше 0,5 - 1,0 мм.

Допускається розміщувати обладнання в стійках, що не мають суцільного екрану, за умови укладення всіх окремих його блоків в металеві корпуси і кожухи. У цьому випадку кабелі розташовані на стійках є продовженням станційних з'єднувальних ліній та враховуються при виборі допустимої довжини з'єднувальних кабелів у станційному монтажі апаратурного комплексу.

3. Стійкість мереж майбутнього до дії ЗДФ забезпечується вибором типів кабелю та параметрів їх прокладки міжстійкових з'єднань обладнання зв'язку на об'єктах кабельних систем передачі FN. Для прокладки внутрішньостанційних з'єднувальних ліній у вузлах зв'язку і обслуговуваних підсилювальних пунктах, до обладнання в яких пред'являються вимоги по стійкості до впливу імпульсних і гармонійних електромагнітних полів, необхідно застосовувати кабелі, що мають екрануючу оболонку.

Напруга, що наводиться електромагнітними полями на станційних з'єднувальних лініях, залежать від типу кабелю, застосований в якості з'єднувальної лінії, його довжини, умов прокладки над стійками з обладнанням і екрануючих властивостей будівель, у яких обладнання розташовується. При типовому способі кабельної розводки прокладка станційних з'єднувальних ліній, на об'єктах зв'язку, здійснюється по кабельростам на висоті 0,3 - 0,5м над поверхнею стійок.

Вибір типу і довжини кабелю для станційної з'єднувальної лінії проводиться виходячи з даних до імпульсної електроємності входів обладнання. При цьому, повинен бути обраний тип споруди зв'язку з необхідними властивостями екранування.

Входи електроживлення стійок обладнання з'єднуються з пристроями електроживлення через токорозподільчу мережу (ТРМ). При типовому виконанні ТРМ являє собою токорозподільчу лінію з магістральними та місцевими ділянками. Магістральна ділянка має вертикальну і горизонтальну частини, виконані шинами з перетином 10 на 100 мм. Місцева ділянка також має горизонтальну частину, виконану шинами перетином 5 на 60 мм то вертикальну частину довжиною близько 0,5м.

Напруга, що впливає на входи живлення стійок апаратурного комплексу, формується наведеннями полів електромагнітних імпульсів (ЕМІ) по всій довжині ТРМ. Через малий омичний опір і сильну неузгодженість з навантаженнями на високих частотах, наведена напруга має характер затухаючих коливань з малим декрементом затухання. Вертикальна частина магістральної ділянки ТРМ застосовується для проведення струмів електроживлення між поверхами будівлі. Напруга, що наводиться полями ЕМІ на цю частину ТРМ, визначається вертикальною складовою напруженості електричного поля електромагнітного імпульсу під час дії. При відсутності у ТРМ вертикальної складової частини магістральної ділянки наведена напруга по всій ТРМ значно зменшується (у два-три рази, в залежності від довжини вертикальної частини).

Для зменшення наведень на ТРМ довжину вертикальних ділянок магістральної частини ТРМ слід обирати мінімальної довжини та розміщувати ці ділянки в екрановані шахти, застосовуючи для цих цілей сталеві труби діаметром понад 0,5м. Коефіцієнт ослаблення поля ЕМІ в екранованій шахті досягає величини більше 30 дБ і наведена на ТРМ напруга при цьому практично визначаються горизонтальними її частинами.

4. Стійкість мереж майбутнього до дії ЗДФ забезпечується збільшенням стійкості обладнання на об'єктах кабельних систем передачі FN до взаємодії електромагнітних полів.

Стійкість обладнання об'єктів FN до впливу дестабілізуючих факторів визначається збереженням її працездатності під час і після впливу. Працездатність обладнання визначається здатністю забезпечувати передачу сигналів з заданими спотвореннями.

Обладнання необслуговуваних підсилювальних пунктів розташовується на об'єктах зв'язку, що представляють собою цистерни та контейнери. Амплітуда магнітної складової поля всередині цистерни і контейнера зменшується більш ніж на 35дБ при впливі різних видів полів ЕМІ, що при вибраних критеріях працездатності обладнання, забезпечує її стійкість до впливу зовнішніх електромагнітних полів. Для апаратурного комплексу необслуговуваних підсилювальних пунктів, які розташовуються в цистерні або контейнері, що знаходяться в ґрунті, вплив електромагнітних полів проявляється тільки через наведення на магістральні кабелі.

Оцінка стійкості обладнання вузла зв'язку або обслуговуваного підсилювального пункту проводиться з урахуванням того, що електромагнітні поля впливають на обладнання проводового зв'язку декількома шляхами. Оцінка стійкості обладнання на об'єкті зв'язку до впливу електромагнітних полів оцінюється окремо за кожним з таких шляхів впливу: *наведень* на магістральні кабелі; *безпосереднього* впливу полів ЕМІ на обладнання; *наведень* на станційні з'єднувальні кабелі.

Стійкість комплексу обладнання до впливу напруги, яка виникає внаслідок дії полів ЕМІ на станційних з'єднувальних лініях, залежить від імпульсної електроміцності станційних входів апаратури і напруги *наведень* на станційних кабелях. Забезпечення захисту обладнання від впливу полів ЕМІ по даному шляху полягає в тому, щоб *наведення* на станційних з'єднувальних лініях не перевищували імпульсну електроміцність відповідних входів обладнання.

Оцінка стійкості обладнання до впливів *наведень* полів ЕМІ на станційні кабелі проводиться в наступній послідовності:

- визначається тип будівлі, в якій розташоване обладнання;
- складається перелік обладнання;
- для апаратурного комплексу який проектується, проводиться попереднє проектування розстановки стійок з обладнанням в ЛАЦ та вибір марок з'єднувальних кабелів;
- для існуючих апаратурних комплексів складається перелік з'єднувальних ліній та їх довжин;
- далі проводиться зіставлення даних, що містять відомості про *наведену* на станційні кабелі напругу, з даними імпульсної електроміцності станційних входів обладнання систем передачі.

Для з'єднувальних ліній, на яких *наведена* на кабелях напруга перевищує імпульсну електроміцність входів обладнання, необхідно провести наступні заходи:

- зменшити довжину з'єднувального кабелю шляхом перестановки стійок, які даний кабель з'єднує;
- вибрати інший тип з'єднувального кабелю;
- застосувати додаткове екранування даного кабелю за допомогою металевих рукавів, труб, обплетень, використовуючи дані по внесеному цими екранами ослабленням *наведень* на з'єднувальні лінії;
- застосувати для зменшення *наведень* екранування будівлі фольгоізолом.

Для оцінки стійкості апаратури до впливу імпульсних напруг на входи електроживлення необхідно зіставити амплітуди *наведені* на ТРМ напруги з імпульсною електроміцністю цих входів.

У разі застосування ТРМ, *наведені* амплітуди напруг які перевищують імпульсну електроміцність, що живлять вхід стійок апаратурних комплексів, необхідно провести наступні заходи:

- застосувати екранування ТРМ за допомогою металевих рукавів, використовуючи дані по внесеному ослабленні *наведень*;
- застосувати для зменшення *наведень* екранування будівлі фольгоізолом;
- застосувати додаткові пристрої захисту, що встановлюються на входах обладнання електроживлення.

При розробці заходів по збільшенню стійкості комплексу апаратури до впливу електромагнітних полів у разі, коли забезпечення стійкості обладнання може досягатися за допомогою різних заходів, слід вибирати ті з них, які вимагають менших матеріальних і тимчасових витрат.

Вплив на лінії та обладнання зв'язку електромагнітних полів частотою 50Гц проявляються *наведеними* в лініях зв'язку напругами і струмами, величини яких можуть

становити небезпеку як для лінійних споруд, так і для підключеного обладнання кабелів зв'язку. Короточасні небезпечні напруги і струми можуть виникати в ланцюгах зв'язку, які мають зближення з лініями високої напруги при коротких замиканнях фази на землю в трифазних високовольтних лініях з заземленою нейтраллю, при коротких замиканнях контактної мережі електрозалізниць.

Час дії небезпечних напруг, індукованих в лініях зв'язку при їх зближенні з високовольтною лінією (ВЛ), знаходиться в межах від 0,15 до 1,5 с. Тривалі небезпечні напруги і струми можуть виникати при зближенні ліній зв'язку з повністю несиметричними ВЛ, а також з трифазними ВЛ з ізольованою нейтраллю при короткому замиканні на землю однієї з фаз.

Забезпечення стійкості обладнання від дії струмів затікання з металопокриттів лінійних кабелів досягається застосуванням заземлень металопокриттів при введенні кабелю в техбудинок. При цьому конструкція заземлення повинна забезпечувати опір струму затікання не більше 5 - 7 Ом в діапазоні частот від 0 до 10 МГц.

5. Стійкість мереж майбутнього до дії ЗДФ забезпечується захистом обладнання зв'язку на об'єктах кабельної інфраструктури FN від комплексної взаємодії електромагнітних полів та іонізуючого випромінювання.

При комплексному впливі різних видів електромагнітних полів проводиться зіставлення захисних заходів для кожного впливу і вибираються ті заходи, які забезпечують стійкість апаратури від найбільш небезпечного електромагнітного впливу. При одночасному впливі полів з частотою 50 Гц і імпульсних полів ЕМІ спеціальних заходів захисту обладнання проводити немає необхідності якщо заходи забезпечення захисту окремо прийняті як від впливу полів 50Гц, так і від впливу імпульсних електромагнітних полів.

У разі впливу імпульсних гамма-випромінювань на обладнання зв'язку, необхідно враховувати вплив вторинного електромагнітного імпульсу, що виникає у замкнених об'ємах. Для забезпечення стійкості обладнання до впливу вторинного електромагнітного імпульсу необхідно виконувати монтаж міжблокових з'єднань в стійках обладнання екранованими кабелями. В іншому випадку рівнів електромагнітних полів достатньо, щоб наводка на станційних входах обладнання стала небезпечною для чутливих елементів схем.

У випадку застосування в якості екрануючих елементів будівлі об'єкта зв'язку фольгоізола, станційні входи обладнання піддаються впливу наведень вторинного електромагнітного імпульсу на станційні кабелі. Рівні наведених напруг на станційні з'єднувальні лінії порівняні з рівнями наведень від ЕМІ блискавки.

При комплексному впливі іонізуючих випромінювань і електромагнітних полів захисні заходи зводяться до забезпечення стійкості обладнання від впливу кожного окремо. При цьому слід враховувати, що деякі заходи щодо забезпечення стійкості обладнання до дії електромагнітних полів можуть вплинути на стійкість обладнання до впливу ІВ.

Для визначення показників стійкості, можуть використовуватися широко відомі методи, як аналітичний метод вірогідного розрахунку так і метод статистичних випробувань.

Метою цих методів являється визначення числових характеристик закону розподілення вихідного параметра підсистеми N_j , якщо відомі статистичні данні про залежність параметрів елемента мережі, тобто $q_i(R)$, і відповідні показники стійкості [3].

Розглянемо постановку задачі та можливі шляхи її рішення. Для простоти міркування припустимо, що підсистема характеризується вихідними параметрами N_j і відома їх аналітична залежність від значень електричних параметрів електро – радіоелементів q_{i1} , де $i = 1, 2, \dots$; I – число параметрів i -го типу елемента; $l = 1, 2, \dots, L$ – число типів елементів мережі в підсистемі

$$N_1 = F_1(q_{i1}); N_2 = F_2(q_{i1}), \dots, N_k = F_k(q_{i1}).$$

Кожен i – й електричний параметр елемента мережі FN l – го типу при фіксованому значенні рівня ІВ являється випадковою величиною. Нехай для всіх параметрів відомі функції ймовірності $P_{il}(q_{il})$, а спільна щільність вірогідності для всіх $I \cdot L$ параметрів (вхідні змінні) $P(q) = P(q_{11}, q_{21}, \dots, q_{I1}; q_{12}, q_{22}, \dots, q_{I2}; q_{1L}, q_{2L}, \dots, q_{IL})$. Якщо припустити, що всі вихідні змінні незалежні, то вона дорівнює добутку одновимірних щільностей, тобто

$$P(q) = P_1(q_{11}) P_2(q_{12}) \dots P_T(q_{IL}), T = IL.$$

Значення N_1, N_2, \dots, N_k знаходиться в певних межах, встановлених вихідними обмеженнями, до того ж Γ_N – область допустимих значень цих змінних. Тоді для розрахунку вірогідності збереження працездатності конкретної схеми слід проігнорувати спільну щільність вірогідності вхідних змінних по області, заданої вихідними обмеженнями та межами допусків на вхідні змінні, тобто

$$P(N \in N_{\text{доп}}, R) = \int_{\Gamma_{N,q}} P(q, R) dp = \int_{\Gamma_{N,q}} P(q) dp$$

при фіксованому значенні R .

Для обчислень прийнято використовувати методи нормальної апроксимації, згортки, прямого відображення і статистичного моделювання (Монте-Карло). Суть методу нормальної апроксимації, зводиться до використання розкладання в ряд Тейлора функції багатьох змінних:

$$N_j = F_j(q_1, q_2, \dots, q_{IL}) = \sum_{K=0}^{\infty} \frac{1}{K!} \left[(q_1 - m_{q_1}) \frac{\partial}{\partial q_1} + (q_2 - m_{q_2}) \frac{\partial}{\partial q_2} + \dots + (q_{TL} - m_{q_{TL}}) \frac{\partial}{\partial q_{TL}} \right]^K \cdot F_j(q_1, q_2, \dots, q_{TL}),$$

Де всі похідні обчислюються в точці $(q_1, q_2, \dots, q_{TL}) = (m_{q_1}, m_{q_2}, \dots, m_{q_{TL}})$.

Якщо вхідні змінні кореговані та мають нормальний розподіл, то і щільність ймовірності для N_j буде нормальною із середнім значенням $m_N = F_j(m_{q_1}, m_{q_2}, \dots, m_{q_{TL}})$ і дисперсією $S_{N_S}^2 = \sum_{i=0}^n B_i^2 \sigma_{q_i}^2$. Тоді ймовірність збереження N_j у встановлених межах $N_{j \text{ доп}}$ при взаємодії R може бути легко знайдена за допомогою таблиць нормального розподілу.

Якщо n вхідних змінних кореговані, тоді для випадку лінійної функції можна знайти спільну щільність вірогідності з подальшими обчисленнями вірогідності збереження всіх N_j у встановлених межах:

$$P_j(N_1, N_2, \dots, N_S) = P(q_1, q_2, \dots, q_{TL}) / |I|,$$

де

$$|I| = \begin{vmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial N_1}{\partial q_{TL}} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial N_j}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial N_j}{\partial q_{TL}} \end{vmatrix} - \text{якобіани.}$$

Однак для цього необхідно знати коваріації між q_1 і q_2 , q_1 і q_3 , ..., q_i і q_j , i та j у всьому діапазоні рівнянь ІВ, що практично не можливо.

Отже, можливо впевнено стверджувати про те, що кожен елемент мережі майбутнього (споруди, обладнання та лінії зв'язку) має свою стійкість до дії ЗДФ.

Таким чином, сумарна стійкість мережі майбутнього визначається як сума показників стійкості споруд зв'язку, обладнання зв'язку та ліній зв'язку, а саме:

$$W = k_1 \sum_0^n P_{\text{сп}} + k_2 \sum_0^n P_{\text{обл}} + k_3 \sum_0^n P_{\text{лз}},$$

де, $k_{1...3}$ – коефіцієнт важливості (цінності) елемента мережі майбутнього, $P_{\text{сп}}$ – стійкість споруд зв'язку, $P_{\text{обл}}$ – стійкість обладнання зв'язку, $P_{\text{лз}}$ – стійкість ліній зв'язку.

Коефіцієнт важливості визначає місце окремого елемента в ієрархічній структурі архітектури мережі майбутнього. Зазначений коефіцієнт (k) може приймати значення від 0 до 1.

Висновки. В статті наведено методи забезпечення стійкості елементів мережі майбутнього, таких як споруди зв'язку, обладнання зв'язку та лінії зв'язку до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів. Визначено, що кожен елемент мережі майбутнього (споруди, обладнання та лінії зв'язку) має свою стійкість до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів. Таким чином, сформовано можливість знаходження сумарної стійкості мережі майбутнього. Особливого значення набуває коефіцієнт важливості (цінності) елемента мережі майбутнього, який визначає місце окремого елемента в ієрархічній структурі архітектури мережі майбутнього.

Список використаної літератури

1. Disaster management for improving network resilience and recovery with movable and deployable information and communication technology (ICT) resource unit // Recommendation ITU-T L.392. – 2016.
2. Рекомендации по обеспечению стойкости аппаратных комплексов объектов проводной электросвязи к воздействию дестабилизирующих факторов // РД 45.083-99.
3. Мырова Л. О., Чепиженко А. З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям // Радио и связь. – 1988. – С. 296.

References

1. Disaster management for improving network resilience and recovery with movable and deployable information and communication technology (ICT) resource unit // Recommendation ITU-T L.392. – 2016.
2. Recommendations for ensuring the durability of hardware complexes of wire telecommunication facilities to the effect of destabilizing factors // РД 45.083-99.
3. Myrova L. O., Chepizhenko A. Z. Ensuring the durability of communication equipment to ionizing and electromagnetic radiation // Radio i svyaz. – 1988 - S.296

Автори статті

Отрох Сергій Іванович – доцент кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 93 439 89 32. E-mail: sotrokh@ukrtelecom.ua

Ярош Володимир Олександрович – аспірант кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 93 439 89 32. E-mail: vovayarosh@yandex.ru.

Власенко Вадим Олександрович – аспірант кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 63 413 10 18. E-mail: v.vlasenko@dut.edu.ua

Зіненко Юрій Миколайович – аспірант кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 63 234 01 64. E-mail: u96mode@ukr.net

Authors of the article

Otrokh Serhii Ivanovych – candidate of science (technic), associate professor of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 91 114 02 49. E-mail: sotrokh@ukrtelecom.ua

Yarosh Volodymyr Oleksandrovych – post-graduate student of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 93 439 89 32. E-mail: vovayarosh@yandex.ru.

Vlasenko Vadym Oleksandrovych – graduate student of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +38(097)241-94-88. E-mail: v.vlasenko@dut.edu.ua.

Zinenko Yurii Mykolayovych – graduate of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +38(063)234-01-64. E-mail: u96mode@ukr.net.

Дата надходження
в редакцію: 27.04.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор В. Ф. Заїка
Державний університет телекомунікацій, Київ