УДК 621.396:662.072.078

Бондарчук А.П., д.т.н.; **Гайдур Г.І.,** к.т.н.; **Чумак Н.С.,**
Козачок В.А., к.т.н.; **Хмелевський Р.М.**

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Bondarchuk A.P., Gaidur G.I., Chumak N.S., Kozachok V.A., Khmelevs'kyy R.M. Research of the basic properties of modern communication systems.

Conducting research on the main features of modern communication systems and determining their characteristics enable to effectively improve the quality indicators of the telecommunication network management systems of Ukraine. The article analyzes the types of systems: static (non-inertial) and dynamic (inertial) systems. The analysis of types of systems is carried out: static (non-inertial) and dynamic (inertial) systems. Each of them as the object of research inherent in certain features that characterize different aspects of their functioning. The research of one of the most important properties of the system is presented - stability, without which the system can not exist.

Keywords: current systems of communication, static, dynamic, power, stability

Бондарчук А.П., Гайдур Г.І., Чумак Н.С., Козачок В.А., Хмелевський Р.М. Дослідження основних властивостей сучасних систем зв'язку.

Проведення досліджень основних властивостей сучасних систем зв'язку і визначення їх характеристик дають змогу ефективно підвищити показники якості систем управління телекомунікаційних мереж України. В статті наведено аналіз видів систем: статичних (безінерційних) і динамічних (інерційних). Кожній з них як об'єкту дослідження властиві певні особливості, які характеризують різні сторони їхнього функціонування. Представлено дослідження однієї із найважливіших властивостей системи - стійкість, без якої системи не можуть існувати.

Ключові слова: сучасні системи зв'язку, статичні, динамічні, властивість, стійкість

Бондарчук А.П., Гайдур Г.И., Чумак Н.С., Козачок В.А., Хмелевский Р.Н. Исследование основных свойств современных систем связи.

Проведение исследований основных свойств современных систем связи и определения их характеристик позволяют эффективно повысить показатели качества систем управления телекоммуникационных сетей Украины. В статье приведен анализ видов систем: статических (безинерционных) и динамических (инерционных). Каждой из них, как объекту исследования, присущи определенные особенности, характеризующие различные стороны их функционирования. Представлены исследования одной из важнейших свойств системы - устойчивость, без которой системы не могут существовать.

Ключевые слова: современные системы связи, статические, динамические, свойство, устойчивость

Вступ

Рівень економічного розвитку будь-якої країни на даний час визначається ступенем впровадження інноваційних технологій. Характерною ознакою глобального ринку, що формується при цьому – це проникність процесів створення, обробки та передачі інформації. Системи мобільного радіозв'язку переживають етап динамічного зросту, зумовлений не тільки вимогами інформаційного обміну, але й можливостями новітніх технологій по забезпеченню тривалої якісної роботи засобів і мереж телекомунікацій у процесі їх постійного вдосконалення та розвитку. Потрібною умовою успішних розробок складних технічних систем будь-якого призначення є розвиток і широке впровадження методів їх проектування. Відповідно набуває особливої ваги визначення та вирішення різноманітних наукових проблем і задач підвищення показників якості систем і пристроїв управління – від загальномережних та загальнооператорських задач оптимізації управління, пов'язаних з побудовою надійних, ефективних, гнучких структур до підвищення надійності, точності, швидкодії окремих компонент - систем управління та контролю їх ефективності [1].

В статті проведено аналіз видів сучасних систем зв'язку систем: статичних (безінерційних) і динамічних (інерційних). Кожній з них як об'єкту дослідження властиві певні особливості, які характеризують різні сторони їхнього функціонування. При вивченні інтегральних якостей систем важливу роль відіграє цілісність, що відображає залежність між елементами. Коли вивчається здатність системи реагувати на вхідні впливи, то визначається така властивість як причинність. Розподіл впливів на керуючі (корисні) і збуджуючі діяння (негативні) дає можливість визначити найважливіші властивості без якої системи не можуть існувати: стійкість, керованість і здатність адаптуватися. До основних структурних характеристик належать зв’язність і складність систем.

Проведення досліджень основних властивостей сучасних систем зв'язку і визначення їх характеристик дають змогу ефективно підвищити показники якості систем управління телекомунікаційних мереж України.

Виклад основного матеріалу дослідження

Статичні системи. Система S вважається статичною (безінерційною) тоді й тільки тоді, коли значення її вихідної величини $y(t)$ в будь-який момент часу залежать виключно від поточного значення вхідного впливу $x(t)$ і стану $z(t)$, з якого почалася еволюція системи [2]. При цьому, якщо знімаються вхідні впливи $x(t)$, коли $z_0(t) \equiv 0$, така система негайно переходить у стан рівноваги. З використанням логічних операцій статична система визначається виразом

$$(x, y) \in S \Leftrightarrow \exists z_0 \ , \quad \forall t y(t) = K_t(z_0, x(t), \tag{1}$$

що інтерпретується в такий спосіб: система, у якої визначені значення входів і виходів (x і y) буде тоді й тільки тоді статичною системою S, коли існує початковий стан Z_0, який належить до множини можливих початкових станів Z_0 і для всіх моментів часу t вихідна реакція $y(t)$ визначається початковим станом Z_0 і вхідними впливами $x(t)$, які забезпечують відображення K_t в цю вихідну реакцію $y(t)$.

Інакше кажучи, статична система S є безінерційною. У ній відсутні перехідні режими при впливі на систему збуджуючих діянь на вході. Не слід плутати зі статичним врівноваженим станом інерційної або динамічної системи, що перебуває в стані спокою після перехідних процесів. Статичні системи є певною абстракцією реальних систем, яким властиві інерційність і динамічні перехідні режими. Часто статичні системи є одночасно й системами без пам'яті, тобто системами, у яких початковий стан Z_0 однаковий й відповідно $K_t(z_0, x(t)) = K_t(x(t))$.

*Динамічні системи.*Динамічною вважається інерційна (не статична) система, у якої визначені функції переходу станів $f(t)$ і вихідної реакції $g(t)$. Це можуть бути в загальному випадку функціонали [1, 3].

Стаціонарні динамічні – це клас динамічних систем, стан і структура яких не залежить від того, у який момент часу буде розглядатися вплив. Про них говорять, що ці системи інваріантні відносно часового здвигу

$$\forall t' F^t(x(t, t') = F^t(x(t' - t)), \tag{2}$$

тобто для кожного моменту часу t' можна визначити оператор зрушення часу F^t такий, що реакція системи на вхідний вплив у момент часу t' залежить тільки від розходження між часом його початку й поточним часом, а не від поточного часу, при цьому $t \le t' \Leftrightarrow t' - t \ge 0$.

Для стаціонарної системи $S \subset XxY$, де $x \in X$, $y \in Y$ - впливи й реакції є стаціонарними, якщо

$$\begin{cases}(\forall t)(X_t = F^t(X)) \\ (\forall t)(Y_t = F^t(Y))\end{cases}. \quad (3)$$

Важливою властивістю стаціонарних (інваріантних у часі) систем є те, що функцію перехідного стану для будь-якого моменту часу можна одержати як результат застосування оператора здвигу до початкової реакції системи.

Адекватним описом математичної моделі динамічної системи є диференціальне рівняння

$$\frac{dx(t)}{dt} = F(x(t), t, u(t)), x(0) = x_0, \quad (4)$$

де $x(t) \in X$ - множина станів системи; $u(t) \in U$ - множина збуджуючих впливів. Перша похідна $dx(t)/dt$, яка характеризує швидкість зміни станів системи, може дорівнювати нулю, що відповідає стану спокою системи, вона може дорівнювати негативній або позитивній величині, тому що це рівняння може мати праву частину, яка змінюється

$$\frac{dx(t)}{dt} = Fx(t), x(0) = x_0. \quad (5)$$

При $F > 0$ система поводиться збуджено, нестабільно, при $F < 0$ вона повертається в стан спокою, її поведінка стабільна

$$x(t) = x_0 e^{-Ft}. \quad (6)$$

Очевидно, при $F \equiv \infty$ динамічна система стає статичною, при відліку від ∞ до 0 інерційність зростає, при $F \equiv 0$ система стає нерухливою, у стані спокою.

Тому, теорія диференційних рівнянь може бути застосована в теорії динамічних систем і цей математичний апарат є досить продуктивним, добре відпрацьованим. Проаналізуємо лише деякі положення цієї теорії. Так диференціальне рівняння першого порядку типу (5) з вільним членом у вигляді збудженого зваженого білого Гауссівського шуму $\xi(t)$ - це стохастичне рівняння стану і записується

$$\frac{dx(t)}{dt} = F(x(t)) + G(x(t), t)\xi(t), x(0) = x_0, \quad (7)$$

де $G(\bullet)$ - коефіцієнт збурювання, що впливає на величину дисперсії стану $x(t)$ даної динамічної системи.

На рис. 1 наведена структурна схема формуючого фільтра, процес на виході якого відповідає стану динамічної системи, аналогічної (7), але замість $F(x(t), t)$ і $G(x(t), t)$ враховані відповідно $F(t)$ і $G(t)$.

Стан динамічної системи легко моделюється за допомогою ЕОМ, де рівняння стану (7) відтвориться в рекурсивному виді

$$X(k+1) = \Phi(k, k+1)x(k) + \Gamma(k, k+1)\xi(k), \quad (8)$$

де $\Phi(k, k+1)$ і $\Gamma(k, k+1)$ так, як і для стану з безперервним параметром (7), називають коефіцієнтами відповідно стану та збурювання. Їх аналітичний вид

$$\Phi(k, k+1) = \exp(-\alpha|\tau|), \quad (9)$$

$$\varGamma(k,k+1)=\sqrt{\sigma^2\varPhi(k,k+1)(1-\varPhi(k,k+1))^2}\ , \qquad (10)$$

де α, τ - інтервал кореляцій випадкового стану системи.

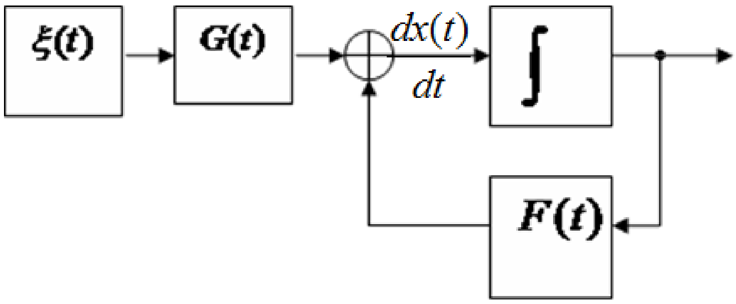

Рис. 1. Структурна схема формуючого фільтра

Стійкість є одним із найважливіших властивостей системи, без якої системи не можуть існувати. Для простих систем характерні пасивні форми стійкості. [2,3] Вони пов'язані з такими властивостями, як міцність, збалансованість, гомеостатизм (повернення в рівноважений стан при виході з нього). Для складних організаційно-технічних систем, у тому числі систем зв'язку, характерні активні форми стійкості: надійність, живучість, завадозахист. Очевидно, активні форми стійкості варто розглядати з погляду уразливості системи під впливом зовнішніх впливів. При цьому впливу може піддаватися як окремий елемент (група елементів), так і відповідні зв'язки між елементами системи. Стійкість, що визначається при впливі на відповідні зв'язки між елементами, характеризує властивості зв’язності цієї системи.

Виходячи із причинно-наслідкового аспекту зв'язків, стійкість трактують як властивість незначних модифікацій причин викликати відповідно незначні модифікації наслідків. Тобто система вважається стійкою, якщо незначні вхідні впливи викличуть незначні вихідні її реакції. З даного визначення витікає, що стійкість характерна для динамічних систем, які змінюються з часом і (або) у просторі. Тому іноді говорять про стійкість руху системи.

Для стійких систем характерна наявність врівноважених станів, до яких система приходить внаслідок надходження або зняття зовнішніх впливів. Для складних систем, у тому числі систем зв'язку, визначення таких рівноважних станів відіграє принципову роль, оскільки ці стани характеризують можливості систем вирішувати свої задачі після надходження зовнішніх впливів. До таких врівноважених станів відносяться:

- ентропійний, до нього система приходить внаслідок витрат наявного запасу ресурсів або руйнування своєї структури;
- гомеостатичний, що припускає збереження структури системи при будь-яких зовнішніх впливах;
- морфогенетичний, пов'язаний з перебудовою структури системи під час будь-яких впливів для збереження необхідних властивостей.

Очевидно, що стійкість системи залежить від її типу[4], і, у першу чергу, від її властивостей:

- незначне відхилення від деякого руху при незначних збурюваннях початкового стану системи (іноді незначні збурювання початкового стану беруться не довільно, а за деяких додаткових умов; іноді незначні збурювання й відхилення визначається лише деякими параметрами);
- зберігати деякі риси фазового стану при незначних змінах закону руху ("зрушення" системи);
- у процесі руху залишатися в обмеженій зоні фазового простору;
- у процесі руху майже повертатися до свого початкового стану.

На загальносистемному рівні звичайно формалізують поняття стійкості підмножини простору станів. Так, якщо $\hat{d} \in D$ і $\hat{e} \in E$ відповідають причині й наслідку деякого явища й існує відображення F, $F(\hat{d}) = \hat{e}$, то пара: $(\hat{d}, \hat{e})$, вважається стійкою відносно заданих сімейств підмножин D і E (Θ_D і Θ_E) тільки в тому випадку, коли

$$(\forall \alpha \in \overline{N}(e))(\exists \beta \in \overline{N}(\alpha))(\forall \alpha)(\alpha \in \beta \to F(\alpha) \in \alpha), \tag{11}$$

де $\overline{N}(\hat{e}) \subset \Theta_E$ і $\overline{N}(\hat{d}) \subset \Theta_D$ - системи обхідних точок $\hat{e}$ и $\hat{d}$ відносно Θ_E і Θ_D відповідно.

Стан (11) відповідає для одержання ряду більш конкретних понять стійкості систем, наприклад, стійкість реакції, стійкість ізольованої траєкторії та ін.

У теорії систем часто використовують поняття структурної стійкості, що тісно пов'язане з морфологією системи.

Тип поводження системи $e \in E$ є структурно стійким тільки в тому випадку, коли для кожного $\hat{d} \in D$ при $\hat{e} = F(\hat{d})$, справедливо

$$(\exists \beta \in \overline{N}(\hat{\alpha}))(\forall \alpha)(\alpha \in \beta \Rightarrow F(a)) = \hat{e}. \tag{12}$$

Інакше кажучи, допускається, що поточний стан структурно стійкої системи залишається якісно незмінним при досить незначній модифікації деякого параметра. Наприклад, система зв'язку структурно стійка в тому випадку, коли в ній забезпечується обмін інформацією з потрібною якістю при виході з ладу окремих елементів або порушенні зв'язків між ними.

Інтерпретація поняття стійкості залежить від класу системи. Так, для лінійних систем, які описуються звичайними диференціальними рівняннями, найчастіше використовують поняття стійкості й асимптотичної стійкості по Ляпунову. Наприклад, для системи, що описується диференціальними рівняннями

$$x_i(t) = f_i(t, x_1, ..., x_n), i = 1, n, x_i(t_0) = x_{i0}, \frac{dx}{dt} \overset{\wedge}{\equiv} x(t), \tag{13}$$

Рух вважається стійким по Ляпунову стосовно змінних y_{i0}, які визначають відхилення (варіації) величини x_i, якщо при будь-якому довільно заданому позитивному числі ε, яким би маленьким воно не було, можна вибрати інше таке позитивне число $\delta(\varepsilon)$, коли при будь-яких збурюваннях y_{i0}, які задовольняють умові

$$\sum_{i=1}^{n} y^2{}_{i0} \le \delta, \tag{14}$$

і при будь-якому $t \ge t_0$ буде виконуватися нерівність

$$\sum_{i=1}^{n} x^2{}_i \le \varepsilon. \tag{15}$$

Якщо ж рух стійкий по Ляпунову й при цьому будь-який вплив при досить незначних початкових збурюваннях наближається до незрушеної системи, тобто

$$\lim_{t\to\infty} x_i(t) = 0, \tag{16}$$

то такий рух називається асимптотично стійким по Ляпунову [3].

Стійкість по Ляпунову це, загалом кажучи, локальна стійкість (стійкість у вузькому розумінні). У науково-технічній літературі часто використовуються поняття стійкості в широкому розумінні й у цілому. Так, стан рівноваги системи називають стійким у широкому розумінні тоді, коли множина можливих у даній системі відхилень цілком належить множині початкових станів (відхилень), при яких забезпечується стійкість по Ляпунову.

У свою чергу, якщо така область охоплює весь простір станів, то відповідну стійкість називають стійкістю в цілому.

Відносно до нелінійних систем звичайно використовують поняття абсолютної стійкості. Так, нелінійна система вигляду

$$\begin{cases} \hat{x} = Ax + b\xi \\ \xi = \varphi(\delta) \\ \sigma = C^T x \end{cases} \tag{17}$$

де *x* - *n*-мірний вектор стану; *A*- постійна ($n\times n$) матриця; *C*- постійний *n*-мірний вектор; $\varphi(\sigma)$ - деяка нелінійна функція, вважається абсолютно стійкою на заданому рівні функцій $\varphi(\bullet)$ у тому випадку, коли її положення рівноваги стійке в цілому при будь-якій нелінійній функції $\varphi(\bullet)$ заданого рівня.

У реальних умовах функціонування багатьох систем здійснюється при впливі великої кількості різноманітних факторів, які слабко контролюються, у тому числі й непередбачених, випадкових, взаємодія яких має складний характер. Наприклад, щодо системи зв'язку до числа таких факторів відносять радіоелектронний вплив інших систем, несправності й відмови радіоелектронних засобів, відхилення їхніх конструктивних параметрів, зміна стану зовнішнього середовища та ін. Однією з важливих причин неповноти інформації є затримка, викликана проміжком часу, необхідного для проведення спостережень і обробки результатів.

Для визначення стійкості такого виду систем використовується ймовірнісний підхід. У багатьох випадках, наприклад, для систем, які задаються стохастичними диференційними рівняннями виду

$$dx(t) = f(t, x(t)) + b(t, x(t))d\xi, t \ge 0,$$

$$x(0) = x_0, x \in R_n,\ \xi \in R_m, \tag{18}$$

де x_0 - детермінований або випадковий вектор початкових умов, вектор-функція $f(t,x) \in R_n$ і матриця $b(t, x(t))$ вимірності $(n\times m)$ задані, ξ - стандартний векторний вінеровский процес, питання про стійкість деякого руху, як і звичайно в теорії стійкості, може бути зведено до дослідження стійкості тривіального рішення рівняння (18).

Під стійкістю тривіального рішення рівняння (18), розглядається його властивість незначно змінюватися при невеликій модифікації початкових умов. Залежно від конкретного розуміння виразу "незначна модифікація рішення" можливі різноманітні визначення стійкості. Зокрема, тривіальним рішення рівняння (18) вважається:

а) слабко стійким по ймовірності, якщо $\forall\varepsilon > 0, \forall\delta > 0$ і найдеться така $\eta(\varepsilon,\delta) > 0$, що при $t > t_0$ і $|x_0| < \eta(\varepsilon,\delta)$ виконується нерівність

$$P\{|Xt_0, x_0(t)| > \varepsilon\} < \delta\,, \tag{19}$$

де $P\{\ \}$ - міра ймовірності; $Xt_0, x_0(t)$ - рішення рівняння (18) при $t > t_0$ з початковою умовою;

б) асимптотично незначно стійким по ймовірності, коли рішення постійно незначне по ймовірності і, крім того, для $\forall\varepsilon > 0$ виявиться таке $\eta(\varepsilon) > 0$, що при $|x_0| < \eta(\varepsilon)$ має місце відношення

$$P\{|Xt_0, x_0(t)| > \varepsilon\} \to 0\,,\ t \to \infty; \tag{20}$$

в) асимптотично незначно стійким по ймовірності в цілому, якщо рішення асимптотично слабко постійне по ймовірності і, крім того, для $\forall x_0 \forall\varepsilon_1 > 0$ справедлива рівність

$$\lim_{t\to\infty} P\{|Xt_0, x_0(t)| > \varepsilon_1\} = 0; \tag{21}$$

г) *P*- стійким (*P*> 0) у випадку існування для $\forall\varepsilon > 0$ такого $\eta(\varepsilon) > 0$, що при $|x_0| < \eta(\varepsilon)$ виконується нерівність

$$MX_{t_0, x_0(t)}\Big|^{P} \le \varepsilon, t \to \infty\,, \tag{22}$$

де $M|\bullet|$ - позначення математичного очікування;

д) асимптотично *P*- стійким, якщо рішення *P* - стійке і, крім того, для $|x_0| \le \eta$ при деякому $\eta > 0$ має місце співвідношення

$$\lim_{t\to\infty} I\left|X_{t_0, x_0(t)}\right|^{P} = 0 \tag{23}$$

(асимптотичну *P* - стійкість при *P*= 2 ще називають стійкістю в середньоквадратичному);

е) експотенціально *P* - стійким, коли виявляться такі постійні C_0 і C_1, що

$$M\left|X_{t_0, x_0(t)}\right|^{P} \le C_0 |x_0|^{P} \exp(-C_1(t - t_0))\,; \tag{24}$$

ж) стійким у цілому, якщо рішення асимптотично *P* - стійке та для $\forall x_0$ справедливе співвідношення

$$\lim_{t\to\infty} M\left|X_{t_0 x_0(t)}\right|^{P} = 0\,; \tag{25}$$

з) стійким по ймовірності, коли для $\forall \ge t_0$, $\forall\varepsilon > 0$ виконується співвідношення

$$\lim_{t\to\infty} P\left\{\sup_{t>s}\left|X_{t_0 x_0(t)}\right| > \varepsilon\right\} = 0\,; \tag{26}$$

к) асимптотично постійним по ймовірності, якщо рішення постійно по ймовірності

$$\lim_{x_0\to\infty} P\{\lim_{t\to\infty} X_{t_0 x_0(t)} = 0\} = 1\,; \tag{27}$$

л) асимптотично постійним по ймовірності в цілому, коли рішення постійно по ймовірності і для $\forall t_0$, $\forall x_0$ має місце співвідношення

$$P\left\{\lim_{t\to\infty} X_{t_0 x_0(t)} = 0\right\} = 1. \quad (28)$$

Крім наведених понять використовується також поняття стійкість по ймовірності 1. Розуміємо таку стійкість, при якій стійкими є всі траєкторії системи (крім, можливо, множини траєкторій нульової ймовірності).

Із *P*-стійкості тривіального рішення рівняння (18) випливає його слабка стійкість по ймовірності, а з асимптотичної *P*-стійкості - асимптотично слабка стійкість по ймовірності. Стійкість по ймовірності значно сильніша слабкої стійкості і означає, що траєкторії процесу, які починаються в момент t_0 із точки в *n*-мірному просторі, завжди залишаються в кожній наперед заданій близькості до тривіального рішення з імовірністю, що наближається до одиниці, коли $x_0 \to 0$. У визначеній стійкості стохастичних систем найцікавішим, є дослідження стійкості по ймовірності й *P*-стійкості.

Висновки

В статті представлено дослідження однієї із найважливіших властивостей систем зв'язку - стійкість, без якої системи не можуть існувати. Для стійких систем характерна наявність врівноважених станів, до яких система приходить внаслідок надходження або зняття зовнішніх впливів. Для складних систем зв'язку, визначення таких рівноважних станів відіграє принципову роль, оскільки ці стани характеризують можливості систем вирішувати свої задачі після надходження зовнішніх впливів.

Список використаної літератури

1. Методи оптимізації: Підручник для вищих навчальних закладів за напрямом «Телекомунікації»/ В.Б. Толубко, Л.Н. Беркман – ДУТ, 2016. – 442 с.

2. Стеклов В.К., Костік Б.Я., Беркман Л.Н. Сучасні системи управління в телекомунікаціях. За заг.ред. В.К. Стеклова. – К.: Техніка, 2005.- 400 с.

3. Поповський В.В Математическое моделирование сложных систем. – Л.: ВАС, 1990. – 156 с.

4. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Бріцький О.І. Теорія автоматичного управління.- – К.: Техніка, 2002. - 688 с.

Автор статті

Бондарчук Андрій Петрович - доктор технічних наук, доцент, декан факультету Інформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Гайдур Галина Іванівна - кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Інформаційної та кібернетичної безпеки, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Чумак Надія Степанівна - старший викладач кафедри Інформаційної та кібернетичної безпеки, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Козачок Валерій Анатолієвич - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Інформаційної та кібернетичної безпеки, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Хмелевський Ростислав Миколайович - старший викладач кафедри Інформаційної та кібернетичної безпеки, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Bondarchuk Andriy Petrovych - doctor of Science (technic), assistant professor, head of the Faculty of Information technologies, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Gaydur Galyna Ivanivna - candidate of Science (technic), associate professor, head of the Department of Information and cyber security, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Chumak Nadiya Stepanivna - senior lecturer of the Department of Information and cyber security, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Kozachok Valeriy Anatoliyevych - candidate of Science (technic), associate professor, associate professor of the Department of Information and cyber security, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Khmelevs'kyy Rostyslav Mykolayovych - senior lecturer of the Department of Information and cyber security, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 05.10.2018 р. Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Вишнівський