

УДК 004.896

Толубко В.Б., д.т.н.; Беркман Л.Н., д.т.н.; Крючкова Л.П., д.т.н.; Ткаленко О.М., к.т.н.

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯМ

Tolubko V.B., Berkman L.N., Kriuchkova L.P., Tkalenko O.N. Application of neural network technologies for intelligent electric lighting control system. Article discusses the intellectual control system of electric lighting is considered in the conditions of inaccuracy of the initial data. Lighting networks in modern cities are complex energy-intensive objects, for the effective work of which it is necessary to create energy-saving control systems. Comparison of existing methods of control of electric lighting is carried out, as a result of which it is established that in the existing modern settlements, these methods can not ensure the adoption of the most effective solution. Priority, significant and relevant issues are the development of intelligent control systems that allow simultaneous measurement, analysis, diagnosis and reduction of electricity consumption, providing management flexibility in uncertainty of input data. Considering the presence of many random factors such as weather conditions, the change in the duration of light, the aging of fixtures, the formalization of the dependence of the power of the lighting installation on external illumination is complicated. To approximate this dependence, it is proposed to use the mathematical apparatus of neural networks, the choice of which is due to its efficiency in the field of approximation of continuous functions. The urgency of the task is to develop intelligent control systems that allow simultaneous measurement, analysis, diagnostics, reduction of electric energy consumption, and also provide variability of management. With the use of neural network technologies, the algorithm of the intelligent power supply control system for street lighting installations was developed and programmed for the first time with training on the basis of the error-reverse error propagation method. The methodology of the algorithm of regulation of electric lighting with the use of neural network technologies is presented.

Keywords: intellectual system, neural network technologies, control system.

Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Крючкова Л.П., Ткаленко О.М. Застосування нейромережних технологій для інтелектуальної системи управління електроосвітленням. У статті розглянуто інтелектуальну систему управління електроосвітленням в умовах неточності вихідних даних. Здійснено порівняння діючих методів управління електроосвітленням, в результаті чого встановлено, що в діючих сучасних населених пунктах дані методи не можуть забезпечити прийняття найбільш ефективного рішення. Актуальність задачі полягає у розробці інтелектуальних систем управління, які дозволяють одночасно проводити вимірювання, здійснювати аналіз, діагностику, зменшення споживання електричної енергії, а також забезпечувати варіативність управління. Представлено методологію функціонування алгоритму регулювання електроосвітленням з використанням нейромережних технологій.

Ключові слова: інтелектуальна система, нейромережні технології, система управління.

Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Крючкова Л.П., Ткаленко О.Н. Применение нейросетевых технологий для интеллектуальной системы управления электроосвещением. В статье рассмотрено интеллектуальную систему управления электроосвещением в условиях неточности исходных данных. Проведено сравнение действующих методов управления электроосвещением, в результате чего установлено, что в действующих современных населенных пунктах данные методы не могут обеспечить принятие наиболее эффективного решения. Актуальность задачи состоит в разработке интеллектуальных управляющих систем, которые позволяют одновременно проводить измерения, осуществлять анализ, диагностику, уменьшение расхода электроэнергии, а также гарантировать вариативность управления. Представлено методологию функционирования алгоритма регулирования электроосвещением с использованием нейросетевых технологий.

Ключевые слова: интеллектуальная система, нейросетевые технологии, система управления.

Вступ

Освітлювальні мережі в сучасних містах є складними енергоємними об'єктами, для ефективної роботи яких потрібне створення енергозберігаючих систем управління. Основним напрямком розвитку електроенергетики нашої країни є модернізація та перехід на якісно новий рівень енергетичної системи з наступним перетворенням її в інтелектуальну.

© Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Крючкова Л.П., Ткаленко О.М., 2018

Однією з найважливіших складових енергетичної системи міста, що забезпечують комфортне життя жителів міста, є система вуличного освітлення (СВО). При її несправностях збільшується кількість як дорожньо-транспортних пригод у темний час доби, так і скоюваних злочинів, що призводить до погіршення якісного рівня життя людей. СВО великих міст є енергоємними об'єктами, витрати електроенергії яких можуть становити 40% від загального енергоспоживання міста [1]. Ефективне управління енергоспоживанням системи вуличного освітлення є одним з найважливіших завдань модернізації енергетичної системи міста.

Викладення основного матеріалу дослідження

Виділяють дві основні вимоги, що пред'являються до СВО - енергоефективність та регламентованість відповідним нормативним документам. Основними напрямками заходів по підвищенню енергоефективності систем вуличного освітлення [2] є: установка енергоефективних ламп з високими світлотехнічними характеристиками; розробка та впровадження енергоефективної системи управління вуличним освітленням. В рамках даної роботи не розглядається енергетична ефективність самих ламп, а проводяться дослідження з розробки автоматизованих енергоефективних систем управління.

Енергоефективною системою управління вуличним освітленням будемо вважати таку систему, яка підтримує нормативний рівень освітленості доріг і тротуарів при найменших витратах електроенергії, забезпечуючи при цьому якісний рівень життя людей.

Існуючі на теперішній час системи управління вуличним освітленням за критерієм способу управління можна розділити на наступні групи:

1. Системи ручного управління. Включення і відключення освітлювальних установок в таких системах виробляється вручну обслуговуючим персоналом.

2. Системи управління по заданому часовому графіку. В таких системах задається графік включення/виключення освітлювальних установок і система автоматично управляє освітлювальними установками у відповідності з цим графіком. На теперішній час в нашій країні в основному використовується даний спосіб управління освітлювальними установками [3].

3. Системи управління по освітленості. Регулювання потужністю в таких системах здійснюється згідно жорсткому алгоритму по показникам датчика освітленості. Даний спосіб управління тільки почали поступово впроваджувати в системи управління вуличним освітленням [4].

Проведемо порівняльний аналіз перерахованих вище способів управління за наступними критеріями: енергоефективність; простота - даний критерій враховує наскільки складна система при розробці і в процесі управління освітлювальними установками; надійність - критерій, що характеризує ймовірність відмови або помилкової роботи системи; гнучкість - під даним критерієм розуміємо можливість вдосконалення, модернізації програмно-апаратної частини системи управління, а також інтегрованість програмного забезпечення з апаратною частиною СВО; адаптивність - адаптивною будемо вважати систему, яка може самоналаштуватися в залежності від зміни умов (погодні умови, непередбачені, випадкові фактори).

Результати аналізу представлені у табл.1.

Як видно з таблиці 1, найбільш ефективним методом з розглянутих є управління по показникам датчика освітленості. Але, системи автоматичного управління, які існують на теперішній час, і які використовують інформацію з датчиків освітленості працюють, як правило, по жорстким алгоритмам, закладеним на етапі проектування системи, в результаті чого ці системи не можуть враховувати вплив різних випадкових чинників, яким може піддаватися система вуличного освітлення в процесі роботи [5]. Відповідно, в умовах великих міст при істотному впливі випадковості та невизначеності зовнішніх факторів, вони не можуть забезпечити прийняття найбільш ефективного рішення. У зв'язку з цим виникає необхідність у створенні якісно нових систем управління, які відповідають технічним

реаліям сьогодняшнього дня і які відповідають пріоритетному напрямку в інноваційному розвитку електроенергетики, а саме - застосуванню інтелектуальних технологій в електроенергетиці.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз існуючих систем управління вуличним освітленням

Критерії	Системи управління вуличним освітленням		
	Ручне управління	Управління по часовому графіку	Управління по освітленості
Енергоефективність	Низька	Низька	Середня
Простота	Проста	Проста	Проста
Надійність	Середня	Висока	Середня
Гнучкість	Не залежить від апаратної частини	Не залежить від апаратної частини	Залежить від апаратної частини
Адаптивність	Низька	Низька	Середня

Основною функціональною залежністю системи управління вуличним освітленням є залежність потужності освітлювальної установки від природної освітленості $P=f(E)$. Для отримання цієї залежності необхідно визначити залежність освітленості, яка створюється на дорожньому покритті освітлювальною установкою, від її потужності $E_{осв} = f(P)$. На вигляд цієї залежності будуть впливати крива сили світла світильника, його конструктивні параметри, а також погодні фактори. Освітленість на дорожньому покритті можна представити як суму освітленості, яка створюється освітлювальною установкою, і природною освітленістю $E_{д.п.} = E_{осв} + E$. Для знаходження кожного з доданків цієї суми необхідно знати силу світла джерела освітлення і кут падіння його променів на розрахункову площину. І якщо для штучного джерела освітлення ці параметри можуть бути розраховані, то для природного освітлення вони будуть залежати від багатьох факторів, включаючи такі випадкові фактори як хмарність, тривалість світлового дня і місце знаходження сонця на небі в даний момент часу. Потім, приймаючи рівень освітленості на дорожньому покритті рівним нормованому і приймаючи природну освітленість за незалежну змінну, можна визначити залежність $P=f(E)$.

У зв'язку з цим формалізація задачі по знаходженню залежності $P=f(E)$ в аналітичному вигляді стає складною з огляду на її нелінійність та залежність від випадкових факторів. Але, маючи значний обсяг експериментальних даних, можна здійснити апроксимацію цієї функції. Одним з найбільш ефективних способів апроксимації безперервних нелінійних функцій є використання методів штучної нейронної мережі (НМ) [6].

Розроблений алгоритм управління вуличним освітленням на основі нейромережних технологій програмно реалізує роботу системи управління вуличним освітленням у двох режимах: навчання НМ; керування освітлювальною установкою. Основними завданнями в режимі навчання є експериментальне визначення множини навчальних пар, а в режимі керування освітлювальною установкою - визначення відносної потужності освітлювальної установки в залежності від зовнішньої освітленості, при якому освітленість на дорожньому покритті на поточний момент часу буде дорівнювати нормативній.

Для вирішення цих завдань була обрана архітектура НМ у вигляді трьохшарового перцептрона з одним нейроном у вхідному і вихідному шарах і 10 нейронами у прихованому шарі. В якості функції активації використовується бінарна сигмоїдальна функція:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

Вибір даної функції обумовлений простотою знаходження її похідної і, як наслідок, зменшенням витрат процесорного часу під час навчання НМ.

Навчання нейронної мережі виробляється методом зворотнього розповсюдження помилки. Перевагами даного методу є його висока ефективність, а також простота реалізації. Для даного методу навчання необхідно мати сукупність векторів вхідних значень

освітленості $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ і відповідних їм вихідних значень потужності $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, при яких робота системи управління вважається ефективною. На початковому етапі роботи відомості про елементи навчальної вибірки відсутні, що ускладнює процес навчання мережі. Тому, у розробленому алгоритмі передбачається навчання НМ в процесі роботи системи управління. При розробці алгоритму навчання НМ для системи управління вуличним освітленням виділено наступні операційні дії:

1. Ініціалізація нейронної мережі.

Система управління зраховує з датчика значення природної освітленості E і запам'ятовує його як вхідний сигнал навчальної вибірки. Дане значення надходить на вхід нейронної мережі і в режимі прямого розповсюдження обчислюються значення вихідних сигналів кожного з нейронів і мережі в цілому:

$$Y_i = f \left(\sum_{k=1}^a w_{k,i} \cdot Y_k \right), \quad (2)$$

де k – номер нейрону у попередньому шарі;

i – номер нейрону у поточному шарі;

w – вага відповідного зв'язку;

Y – значення на виході нейрону попереднього шару;

a – кількість нейронів у поточному шарі.

В результаті на виході НМ формується відносне значення потужності освітлювальної установки. На даному етапі відносне значення потужності освітлювальної установки, при якому досягається нормоване значення освітленості дорожнього покриття, невідоме, тому система переходить до його пошуку експериментальним шляхом.

2. Пошук елемента навчальної вибірки в процесі роботи системи управління.

Включення освітлювальної установки відбувається при відносному значенні потужності, яке отримане на попередньому етапі. Після цього відбувається зчитування значення освітленості $E_{д.п.}$ з датчика, встановленого безпосередньо на дорожньому покритті і його порівняння із наперед заданим значенням $E_{норм.}$. Якщо ці значення не збігаються, то система здійснює коригування рівня потужності освітлювальної установки P до того моменту, поки не буде дотримуватися умова $0,95 \cdot E_{норм.} \leq E_{д.п.} \leq 1,05 \cdot E_{норм.}$. Таким чином, система отримує пару: значення зовнішньої освітленості E і відповідне цій освітленості значення відносної потужності освітлювальної установки P , при якому на дорожньому полотні досягається заданий рівень освітленості.

3. Навчання нейронної мережі по отриманій експериментальній вибірці.

Отримане значення E подається на вхід мережі і за формулою (2) обчислюються значення виходів всіх нейронів. На виході нейронної мережі формується деяке значення $P_{вих.}$. Для вихідного шару знаходиться значення градієнту помилки:

$$\delta_{вих} = (P_{вих} - P) \cdot \frac{dP_{вих}}{ds}, \quad (3)$$

де $s = \sum wk$ – зважена сума вхідних сигналів вихідного нейрону.

Розраховується значення зміни вагів, які зв'язують нейрони прихованого шару з вихідним нейроном:

$$\Delta w_{i,вих} = -\eta \cdot \delta_{вих} \cdot Y_i. \quad (4)$$

Далі для всіх нейронів прихованого шару знаходиться значення:

$$\delta_i = (\delta_{вих} \cdot w_i) \cdot \frac{dY_i}{ds_i} \quad (5)$$

і розраховується значення зміни вагів, які зв'язують вхідний нейрон з нейронами прихованого шару:

$$\Delta w_{ex,i} = -\eta \cdot \delta_i \cdot Y_{ex}. \quad (6)$$

Ваги зв'язків нейронів коректуються за формулою:

$$\Delta w_{i,j}^t = w_{i,j}^{t-1} + \Delta w_{i,j}^t, \quad (7)$$

де t – номер ітерації навчання.

4. Перевірка критерію закінчення навчання.

Якщо помилка навчання досягає заздалегідь заданої величини або не зменшується протягом заздалегідь заданої кількості циклів навчання, то навчання припиняється. В іншому випадку система переходить до п.1 і здійснює наступну ітерацію навчання. Слід зазначити, що на наступній ітерації навчання здійснюється в пакетному режимі з урахуванням отриманих раніше пар вхідних та відповідних їм вихідних значень. У даному режимі на вхід нейронної мережі пред'являються всі елементи навчальної вибірки і для кожного з них по формулам (4-6) обчислюється значення відповідної корекції вагів $\Delta w_{i,j}^{(n)q}$, де n - номер шару нейронної мережі, q - номер прикладу з навчальної вибірки для якого проводиться розрахунок. Потім обчислюються сумарні корекції ваг за формулою:

$$\Delta w_{i,j}^n = \sum_{q=1}^p \Delta w_{i,j}^{n(q)}. \quad (8)$$

Далі ваги зв'язків коригуються за формулою (7) і система знову проводить перевірку критерію закінчення навчання.

Слід зазначити, що при кожній наступній ітерації навчання використовуються не тільки знову отримані дані, але і вся інформація, накопичена до цього моменту, що істотно прискорює процес навчання НМ у пакетному режимі [7].

Для апробації алгоритму проведена його програмна реалізація. Для розробки програми використовувалася об'єктно-орієнтована мова програмування С#, яка володіє широкими можливостями для обробки і зберігання інформації. В ній найпростіше реалізована можливість спілкування з СОМ-портами, що є необхідною умовою для інтеграції програми з апаратною частиною СВО. Розроблена програма працює відповідно до описаного вище алгоритму і має можливість зміни значення освітленості дорожнього покриття $E_{\text{норм}}$ в процесі роботи, що робить систему управління більш гнучкою, дозволяючи їй функціонувати з різними вимогами до освітленості дорожнього покриття. Також програма робить запис знайдених на другій операційній дії алгоритму пар значень навчальної вибірки у табличному вигляді для їх подальшої обробки та аналізу ефективності роботи системи.

Апробація системи управління вуличним освітленням, яка створена на основі нейронної мережі, здійснювалася на розробленій експериментальній установці, що складається із п'яти світлодіодних моделей-опор вуличного освітлення [8]. В ході експерименту було проведено навчання нейронної мережі та здійснено тестування програми. В результаті були отримані діаграми зміни природного освітлення та потужності освітлювальної установки в ранкові та вечірні години. Час експерименту був вибраний з урахуванням часу сходів і заходів, щоб найбільш адекватно відобразити динаміку роботи системи при зміні природної освітленості.

Після двох днів роботи в режимі навчання система управління була протестована в режимі керування освітлювальною установкою. Результати тестування представлені на рис.1, крива 1. Як видно з наведеної діаграми, система управління адекватно реагує на зміну зовнішнього освітлення і може працювати в режимі керування освітлювальною установкою.

Відзначимо, що міське освітлення в цей день було відключене о 8:45, до цього моменту часу воно працювало на повну потужність – рис.1, крива 2. Енергоефективність інтелектуальної системи управління визначалася як різниця площ фігур, обмежених відповідними кривими зміни відносної потужності, рис1. Результати розрахунку по отриманим табличним даним показали, що економія електроенергії в даний проміжок часу складає 6,3%.

Таким чином, інтелектуальна система управління вуличним освітленням, яка працює по розробленому алгоритму є більш енергоефективною у порівнянні з існуючими системами. При зміні апаратної частини системи вуличного освітлення, нейронна мережа може перенавчатися для роботи з новим обладнанням, що дозволяє забезпечити критерії гнучкості,

модульності також на більш високому рівні у порівнянні з існуючими. Використання нейромережних технологій у програмній реалізації алгоритму інтелектуальної системи управління електропостачанням установок забезпечує адаптивність системи, за допомогою таких можливостей мережі як самонавчання та самоналаштування.

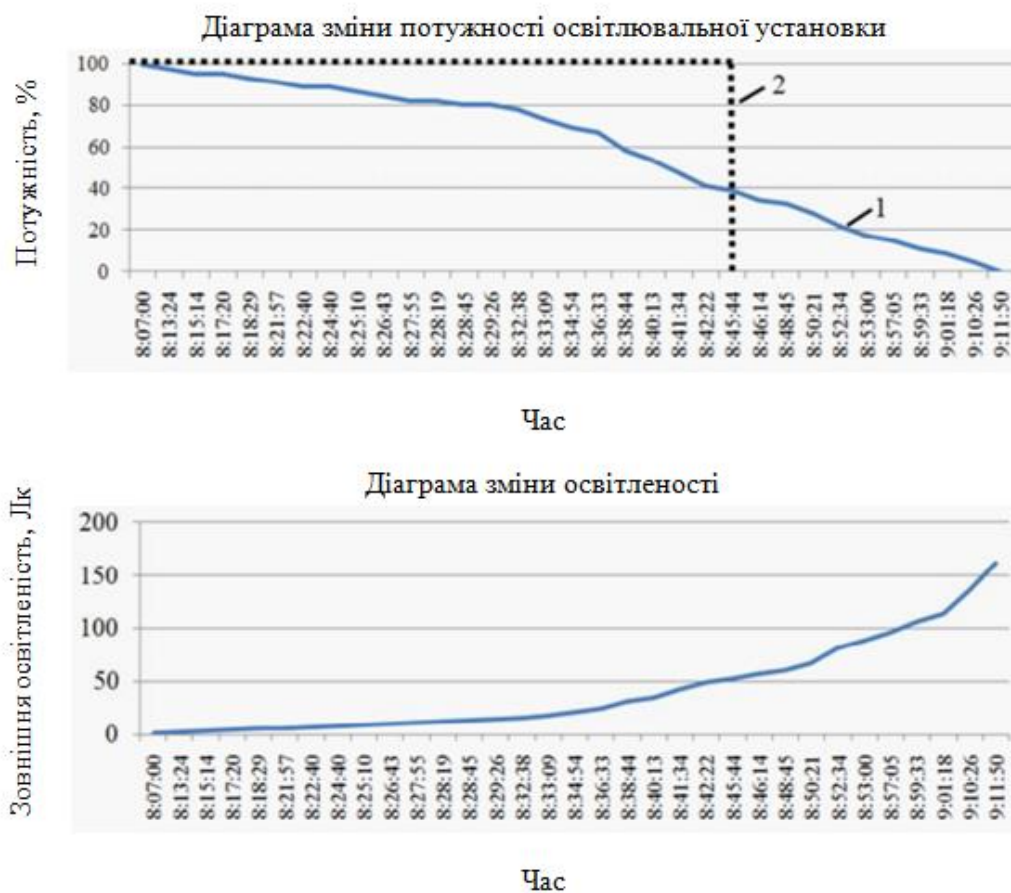


Рис. 1. Результати перевірки роботи системи управління вуличним освітленням. 1 – крива зміни потужності освітлювальної установки при інтелектуальному регулюванні, 2 – крива зміни потужності при регулюванні по заданому графіку

Висновки

Оснований на інтеграції способу управління по освітленості і методу штучного інтелекту розроблений спосіб управління вуличним освітленням відрізняється від існуючих раніше: адаптивністю, що отримана за рахунок застосування технології нейронних мереж, яка дозволяє системі вуличного освітлення самоналаштовуватися в залежності від зміни умов зовнішнього середовища (погодні умови, непередбачені, випадкові фактори); гнучкістю, за рахунок можливості вдосконалення, модернізації системи вуличного освітлення та її застосування з різними типами світильників на вулицях з різними вимогами до освітленості; точністю (достовірністю), яка забезпечується в процесі навчання нейронної мережі; енергоефективністю за рахунок того, що система реагує на зміни зовнішніх факторів в режимі реального часу.

Представлена методологія функціонування алгоритму управління вуличним освітленням на основі нейромережних технологій, яка включає в себе наступні операційні дії: ініціалізація нейронної мережі, пошук елемента навчальної вибірки в процесі роботи системи управління, навчання нейронної мережі по отриманій експериментальній вибірці, перевірка критерію закінчення навчання. Енергоефективність інтелектуальної системи управління вуличним освітленням у порівнянні з регулюванням по заданому графіку складає 6,3%.

Список використаної літератури

1. Эннс О. Интеллектуальные системы уличного освещения / О. Эннс // Энергосбережение. – 2008. – №1. – С. 58-62.
2. Валиуллин К.Р. Анализ способов управления уличным освещением по различным критериям. Электроэнергетика глазами молодежи: науч. тр. V междунар. техн. конф., Т.2., г. Томск, 10-14 ноября 2014 г./ Мин-во образования и науки РФ, Томский политехнический университет. – Томск: 2014, с 275-279.
3. Гурьев А. В. Системы автоматизированного управления наружным освещением / А. В. Гурьев, Е. А. Букварев // Электротехника. – 2001. – № 5. – С.4.
4. Киричок А.И. Автоматизация наружного освещения как инструмент энергосбережения / А. И. Киричок // Мир дорог.-2012.- №63.-С. 38-40.
5. Казаринов Л. С. Разработка проектов энергоэффективных систем уличного освещения на основе инновационного техникоэкономического механизма возвратно-целевого усиления бюджетного финансирования / Л. С. Казаринов, Т. А. Барбасова // Вестник ЮУрГУ Серия Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника.– 2011.– Вып. 14. № 23 (240).– С. 92-97.
6. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории / А. И. Галушкин. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2012. – 496 с.
7. Матвеев М.Г. Модели и методы искусственного интеллекта. Применение в экономике: учеб. пособие / М. Г. Матвеев, А. С. Свиридов, Н. А. Алейникова. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2008. – 448 с.
8. Валиуллин, К.Р. Стенд автоматического регулирования уличного освещения / К.Р. Валиуллин // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: состояние, проблемы, перспективы» – Оренбург: ОООИПК «Университет», 2014. – С. 32-35.

Автори статті

Толубко Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, ректор Державного університету телекомунікацій, Київ, Україна.

Беркман Любов Наумівна – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Крючкова Лариса Петрівна – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри Систем інформаційного та кібернетичного захисту, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Ткаленко Оксана Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Інформаційних систем та технологій, Київ, Україна.

Authors of article

Tolubko Volodymyr Borysovych - doctor of Science (technic), professor, rector of the State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Berkman Lyubov Naumivna - doctor of Science (technic), professor, vice-rector for scientific and pedagogical work, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Kriuchkova Larisa Petrivna - doctor of Science (technic), associate professor, professor of the Department of Systems of information and cybernetic protection, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Tkalenko Oksana Mykolayivna – candidate of Science (technic), associate professor, associate professor of department of Information systems and technologies, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 01.10.2018 р.

Рецензент: д.т.н., доцент К.П. Сторчак