

Серих С.О., к.т.н.; Гніденко М.П., к.т.н.;  
Катков Ю.І., к.т.н.; Зінченко О.В., к.т.н.

## СПОСІБ ЗМІНИ СТРУКТУРИ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ РАДІОСИСТЕМ БЛОКОВІСТЮ ЇХ КОДУВАННЯ

**Sierykh S. O., Hnidenko N. P., Katkov U. I., Zinchenko O. V. Method of changing the structure of complex signals to the radio systems by blocking their encodes.**

The method of changing the structure of complex signals of radio systems with a limited frequency band, which use spread spectrum signals to increase their noise immunity under conditions of variability of the effect of intentional interference, is investigated. Composite signals are complex signals. The composite signal uses three stages of formation of which in the first and second stages a phase-manipulated signal is used, resembling noise in the structure, and in the last stage, a signal with a change in the carrier frequency. The feasibility study of the use of block coding of each stage of the formation of the compiled Phase-manipulated noise-like signals and the last stage, where the pseudo-random tuning of the operating frequency hopping signals are used, was carried out. The features and multiplicity of block coding of each stage of the compiled signal are determined, which, due to the rational use of their structural features and the important advantages of block coding, provide the best ratio between the complexity of the signal processing device and the efficiency of its operation.

**Keywords:** signal structure, compound complex signal, phase-manipulated noise signal, pseudorandom frequency tuning signal, signal base.

**Серих С. О., Гніденко М. П., Катков Ю. І., Зінченко О. В. Спосіб зміни структури складних сигналів радіосистем блоковістю їх кодування.**

Досліджено спосіб зміни структури складних сигналів радіосистем з обмеженою смугою частот, що застосовують сигнали із розширеним спектром для підвищення їх заводо захищеності в умовах змінності впливу навмисних завад. Проведено дослідження доцільності використання блоковістю кодування кожного ступеня формування складеного ФМ ШПС та останнього ступеня, що використовує сигнали ППРЧ. Визначені особливості і кратність блоковістю кодування кожного ступеня складеного сигналу, які завдяки раціональному використанню їхніх структурних особливостей і важливих переваг блокового кодування забезпечують найкраще співвідношення між складністю пристрою обробки сигналів і ефективністю його функціонування.

**Ключові слова:** структура сигналів, складений складний сигнал, фазоманіпульований шумоподібний сигнал, сигнал із псевдовипадковою перебудовою робочої частоти, база сигналу.

**Серых С. А., Гниденко Н. П., Катков Ю. И., Зинченко О. В. Способ изменения структуры сложных сигналов радиосистем блоковостью их кодирования**

Исследован способ изменения структуры сложных сигналов радиосистем с ограниченной полосой частот, которые применяют сигналы с расширенным спектром для повышения их помехозащищенности в условиях изменчивости влияния преднамеренных помех. Проведено исследование целесообразности использования блоковости кодирования каждой ступени формирования составленного ФМ ШПС и последней ступени, где используются сигналы ППРЧ. Определены особенности и кратность блоковости кодирования каждой ступени составленного сигнала, которые благодаря рациональному использованию их структурных особенностей и важных преимуществ блочного кодирования обеспечивают наилучшее соотношение между сложностью устройства обработки сигналов и эффективностью его функционирования.

**Ключевые слова:** структура сигналов, составной сложный сигнал, фазоманипулированный шумоподобный сигнал, сигнал с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты, база сигнала.

### Вступ

Завдяки значному збільшенню на сучасному етапі розвитку мобільного телекомунікаційного обладнання радіоелектронних засобів зв'язку (РЕЗ) різноманітного призначення, що можуть зосереджуватись локально, неодмінно проявляється негативний зустрічний вплив, який є наслідком погіршення електромагнітного сумісництва (ЕМС) радіо засобів (РЗ).

У разі коли зосередження передбачене, завдяки чіткому плануванню, прогнозуванню і використанню організаційних дій вдається такий вплив мінімізувати і усунути використовуючи технічні можливості РЕЗ.

Більш складною задачею є протидія навмисним завадам від РЗ, застосування яких має на меті пригнічення як окремих РЕЗ так і порушення роботи радіосистем (РС) в цілому, рівень впливу від яких і час застосування є випадковим процесом. Саме тому комплекси РЕЗ забезпечуються обладнанням протидії, пристроями завадозахисту, щоб застосовувати організаційно-технічні заходи і забезпечити надійне функціонування РС в змінних умовах заводої обстановки. Заходи безпеки передбачають комплексні технічні міри від енергетичних, таких як адаптивна зміна потужності передавача РЗ, перебудова за діапазоном чи радіохвилями РС, заміна антен (принцип МІМО) і формування відповідної діаграми спрямованості з нульовим рівнем по відношенню до напрямку завади, так і структурні, що полягають у зміні методу модуляції, структури сигналу, кодуванні.

Дослідження ефективності способів підвищення завадозахисту РЕЗ [1, 4] показує, що застосування енергетичних мір значно ускладнює як обладнання РЗ так і організаційні алгоритми перебудови та налаштування їх в РС. Крім того час адаптації до змінних умов заводої обстановки -  $T_{ад}$ , складатиме від 1 сек до 10 сек, що значно перевищує час  $T_{рк}$  - реакції комплексу постановки завод на визначення енергетичних параметрів розвідкою і застосування мір протидії [5].

Зміна методу модуляції і використання змінного кодування суттєво ускладнюють модеми та кодеки РЕЗ підвищуючи значення  $T_{ад}$ , за рахунок організаційної складової при узгодженні роботи засобів в РС.

Один із найбільш дієвих і поширених способів підвищення завадостійкості сучасних РЕЗ спирається на використання складних сигналів [7]. Аналіз можливостей постановників навмисних завод [1, 3], та способів боротьби з потужними прицільними заводами [4] вказує на необхідність застосування в РЗ складних сигналів із великою  $10^6 \dots 10^7$  одиниць базою  $B_c$ . Але подальшому збільшенню  $B_c$  перешкоджає низка обмежень. Передусім ідеться про обмеження смуги частот виділеної РС в якій цей засіб працює. Ще одне обмеження пов'язане з постійним намаганням підвищувати пропускну здатність РЕЗ і, відповідно, швидкість обміну інформаційними повідомленнями.

Проте головне обмеження постає через труднощі в реалізації пристрою обробки (ПО) складного сигналу, які зростають пропорційно до збільшення  $B_c$ .

Досягти істотного спрощення в реалізації ПО сигналів із великою  $B_c$  можна, скориставшись особливостями складних сигналів [6], їх складовою структурою. Як з'ясувалось найбільший вигравш щодо співвідношенні ускладненість–ефективність забезпечують складові структури фазоманіпульованих шумоподібних (ФМ ШПС) сигналів [11]. При цьому їхня ефективність залишається пропорційною до розміру  $B_c$ , а спрощення підвищується на три–чотири порядки. Річ у тім, що база складового складного (СС) сигналу дорівнює добутку баз  $B_n$  несучої та  $B_m$  модулюючої послідовностей, які формують сигнал. Через це база кожної складової на три–чотири порядки менша за кількість елементів, що накопичуються, наприклад, у регістрах зсуву пристроїв їх обробки. Утім далі підвищувати (більш двох) кількість ступенів обробки сенсу немає, оскільки це призводитиме до погіршення [7, 11] кореляційних властивостей СС сигналу.

Варто відмітити, що врахування структурних складових окрім спрощення ПО забезпечує й додаткові переваги, поліпшуючи, наприклад, режим адаптації РЕЗ до змінюваних параметрів та видів завод, які діють на нього. Ще більших переваг вдається досягти, скориставшись не лише СС сигналів ФМ ШПС, а й додатковою зміною виду сигналу, коли в першому ступені ПО застосовуються сигналів з псевдовипадковою перебудовою робочих частот (ППРЧ). У такому разі сигнал РЕЗ набуває підвищеної енергетичної скритності з миттєвою зміною частоти  $f_i$  випромінювання, що належить ансамблю  $N_f$ .

Таким чином змінність значення  $B_n$  та  $B_m$  ФМ ШПС і застосування ППРЧ як додаткового ступеня із змінним значенням  $N_f$  визначають динамічний діапазон рівнів адаптації до змінних умов завадової обстановки.

Аналізуючи ці характеристики, доходимо висновку: у разі обмеженої  $B_c$  рівень завадозахисту сучасних РЕЗ не має достатнього запасу щодо вірогідності безпомилкового прийому інформаційних повідомлень у складній завадовій обстановці, особливо до умов комплексного впливу навмисних і ненавмисних енергетично потужних завад. Тому завдання з пошуку й аналізу дій, спрямованих на вдосконалення обладнання РЕЗ, передусім їхніх ПО, а зрештою, на значне підвищення завадостійкості сигналів, забезпечуване без істотних додаткових енергетичних витрат, слід розглядати як беззаперечно актуальне.

**Постановка задачі.** Підвищення структурної ефективності сигналів, за рахунок переобладнання блоків їх формування та обробки - підхід раціональний і найменш витратний, оскільки він слабо впливає на енергетичний компонент і, відповідно, не потребує кардинальної зміни характеристик приймачів і передавачів РЕЗ. Окрім того, як показують дослідження, блоковості кодування СС сигналів дає вищий ефект, аніж збільшення їхньої М-ковості, бо таке збільшення впливає на зміну модуляції сигналів, а отже, на реконструкцію енергетичного блока РЕЗ. Метою статті є розкриття особливостей методу синтезу СС сигналу, який при обмеженні загального значення  $B_c$  дозволяє провести розподіл баз у кожному ступені формування і обробки на прикладі ФМ ШПС і збільшити кількість режимів адаптації у разі застосування блоковості кодування проміжних структур (ФМ ШПС). Зміна блоковості у свою чергу підвищує структурну скритність сигналів, що повинно забезпечити  $T_{ад} < T_{рк}$ .

### Виклад основного матеріалу дослідження

На початковому етапі аналізу необхідно визначитись із місцем використання блоковості кодування складних складових ФМ ШПС-ППРЧ для підвищення завадостійкості радіолінії, узявши до уваги простоту реалізації ПО зазначеного сигналу.

Застосовувати блоковість кодування в тій складовій сигналу, яка відповідає зміні частот ППРЧ, сенсу не має, бо тоді обмежується кількість  $N_f$  та частота їх зміни, що істотно впливає на розвідзахист системи [5], де задіяний РЕЗ. Це, у свою чергу, дає змогу постановникові завад адекватно реагувати на зміну параметрів сигналу і з імовірністю, що наближається до одиниці, оптимально застосовувати ефективну в пригніченні ФМ ШПС-ППРЧ заваду.

Для забезпечення узгодженої фільтрації сигналів з великими базами пропонується раціональний підхід до синтезу пристроїв, що ґрунтується на використанні складової структури пристроїв обробки і відповідно складових складних ДФМС, як найбільш завадостійких [8]. Складовий сигнал формується шляхом фазової маніпуляції несучого коливання бінарною послідовністю, що утворена логічним кодуванням або перемноженням двох вихідних кодів. Алгоритм формування пояснюється часовими діаграмами рис. 1.

В складовій послідовності ДФМС можна умовно виділити модулюючу  $S_m$  і несучу  $S_n$  послідовності (рис. 1 б, в). При цьому складова послідовність може бути утворена з протилежних (рис.1в) або ортогональних (рис.1г) НП, що змінюються відповідно з МП протилежного (рис.1 б) або ортогонального сигналу, який для спрощення рисунку не показаний.

Смуга частот, що займає такий сигнал, пропорційна  $\sim 1/\tau_n$ , де  $\tau_n = \tau_e$  - тривалість елементарного імпульсу НП. Тоді  $B_c$  такого сигналу дорівнює:

$$B_c = T_c \Delta F_c = N_m \tau_m \Delta F_c = \tau_e N_m N_n \Delta F_c = N_m N_n = N_c. \quad (1)$$

Отримане значення  $B_c$  дозволяє оцінити максимальний рівень завадозахисту, який за умовами адаптації використовується в самий складний період – найгіршого стану, коли діє прицільна завада при визначенні усіх параметрів ФМ ШПС і при отриманні дозволу перевищити визначену РС обмежену вимогами ЕМС смугу частот.

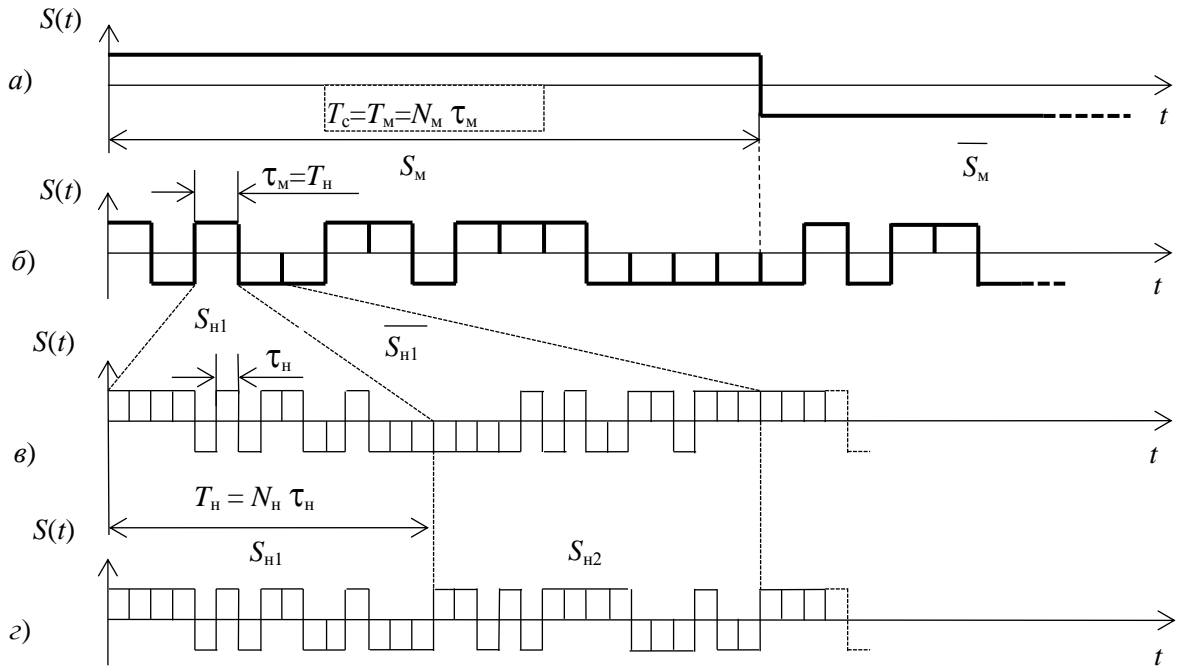


Рис. 1. Часові діаграми, що пояснюють алгоритми формування складних сигналів ФМ ШПС: а) інформаційна послідовність; б) послідовність протилежних МП ФМ ШПС; в) послідовність протилежних НП ФМ ШПС; г) послідовність ортогональних НП ФМ ШПС

У разі коли рівень завад значно менший максимального, щоб не перевищувати надану смугу частот базу однієї чи двох ступенів необхідно зменшити. Це і досягається блоковістю кодування. Так на рис. 2 показані часові діаграми на яких зображено, що не одному елементу МП ставиться у відповідність НП, а п'ятьом. Тобто блоковість кодування  $K$  у другій ступені формування складатиме  $K = 5$ .

Це дозволяє зменшити базу ступені, підвищити  $\tau_H$  і тим самим звузити  $\Delta F_c$ . Обмеження, яке при цьому виступає є неможливість застосовувати протилежні НП, а тільки ортогональні, чисельність яких складає  $2^5$  видів. Як показують дослідження блоковість, що знаходить застосування в РЕЗ може складати 3, 5, 7, 9, 11, 32 елементів.

Аналогічним чином можливо показати блоковість  $D$  формування на першому ступені, коли у відповідність не одному а пропорційно  $D$  - блоковості кількості інформаційних символів ставиться у відповідність ортогональна МП.

Тоді у відповідності до (1) можливо записати таке:

$$B_c = T_c \Delta F_c = N_m \tau_m \Delta F_c / K = \tau_c N_m N_H \Delta F_c / KD = N_m N_H / KD = N_c / KD . \quad (2)$$

Аналіз (2) свідчить, що для реалізації адаптації до заводових вимог і забезпечення параметрів смуги РС вибором значень  $K$  і  $D$  досягаються необхідні значення  $B_c$ .

Зауважимо, що із застосуванням блоковості кодування на першому ступені обробки ФМ ШПС, тобто для обробки несучої послідовності (НП), яка здебільшого реалізується аналоговими узгоджувальними фільтрами (АУФ) на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) [9], реалізація ПО значно ускладнюється - як за рахунок кількості, якості і довжини кристалів УФ на ПАХ так і за рахунок необхідних для роботи фільтру високочастотних комутаційних пристроїв у регістрі зсуву. Тому застосовувати блоковість кодування доцільно на другому ступені обробки сигналів моделюючої послідовності (МП) складового ФМ ШПС і на першому ступені формування самої МП.

Також слід визначити, що хоча зменшення  $B_m$ ,  $B_H$  і відповідно  $B_c$  зменшує заводозахист СС сигналу, але підвищує ентропійну невизначеність сигналу змінністю структур ортогональних сигналів.

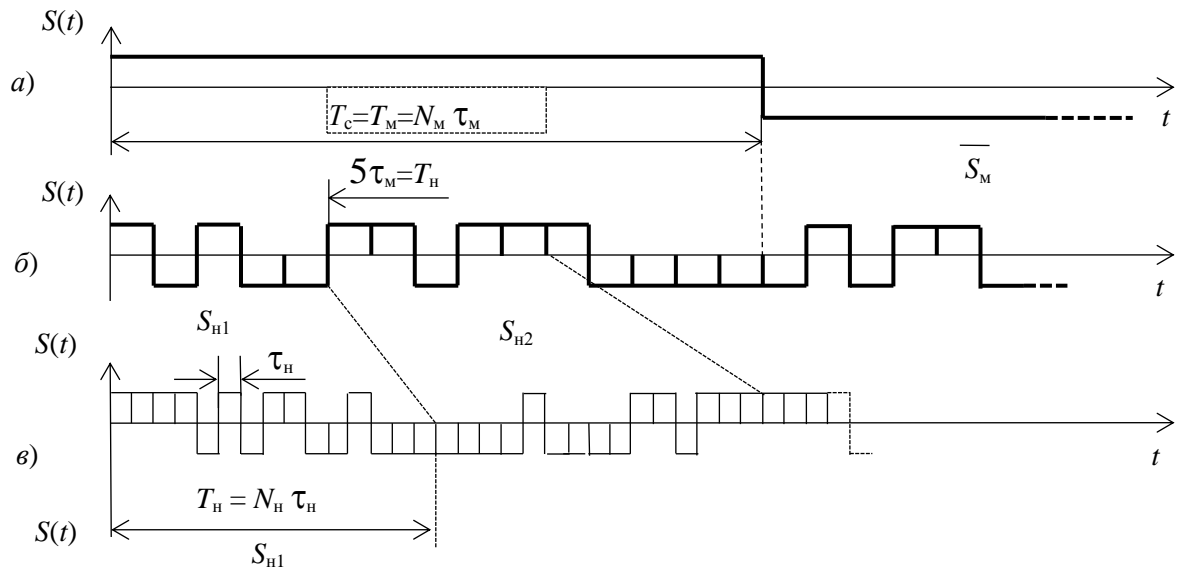


Рис. 2. Часові діаграми, що пояснюють алгоритми формування ФМ ШПС при блоковості кодування 5 у другій ступені формування: а) інформаційна послідовність; б) послідовність протилежних МП ФМ ШПС; в) послідовність ортогональних НП ФМ ШПС

Крім того за необхідність адаптивність до  $\Delta F_c$  може бути забезпечена змінністю кількості  $N_M$  та  $N_H$  послідовностей.

Окрім того, слід враховувати, що ФМ ШПС мають більшу ефективність в боротьбі з поширеними завадами, аніж ППРЧ [11]. Тому досягнення максимальної  $B_c$  доцільно забезпечувати саме з використанням СС сигналів. Разом з тим застосування ППРЧ підвищує розвідзахист сигналу, а реалізаційні обмеження в базі ФМ ШПС дозволяють визначити кількість доцільних для стрибків за частотою сигналів.

За результатами досліджень проведених в [12] визначаємо, що збільшення кратності блоків не повинна перевищувати 32. Проте за співвідношенням ускладнення ПО-ефективність в боротьбі із завадами використання довгих блоків за рахунок збільшення кратності більш 9 також недоцільне, бо крім ускладнення ПО призводить до погіршення кореляційних властивостей СС сигналу, що рівносильно додаванню ще одного ступеня ФМ ШПС. При використанні СС сигналів із великою  $B_M$  застосування блоковості кодування стає зовсім недоцільним.

### Висновки

Спосіб адаптації структури складних сигналів радіосистем до протидії рівню навмисних завад за рахунок блоковості її кодування є дієвим інструментом забезпечення визначеного рівня завадозахисту складних складових сигналів, який дозволяє за рахунок зміни зворотних зв'язків реєстрів зсуву швидко підлаштовувати параметри пристрою обробки до змінної структури сформованого на передачу сигналу від РС кореспондента. Швидка зміна параметрів ФМ ШПС при його формуванні і обробці повинна забезпечити головну вимогу до часу адаптації, коли  $T_{ад} < T_{рк}$ .

**Напрямки подальших досліджень.** Наведений метод адаптації структури складного складового сигналу до рівня навмисних завад потребує проведення оцінки ефективності блоковості кодування сигналу і відповідно визначення кратності блоковості, що забезпечить оптимізацію за критерієм ускладнення пристрою формування та обробки РЕЗ - ефективність методу в боротьбі із завадами.

**Список використаної літератури**

1. Харкевич А.А. Борьба с помехами / А.А. Харкевич.-М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.-280 с.
2. Стеклов В.К. Теорія електричного зв'язку / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман.: «Техніка», 2006.-552 с.
3. Соловьев В. Р., Серых С. А., Богуш В. В. К вопросу о влияниях радиоэлектронных помех на современные перспективные радиоэлектронные системы связи // Зв'язок.— 2008.— №2.— С. 69–73.
4. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба в войнах и вооруженных конфликтах /Под ред. И.В. Филиппова, Д.В. Гордиенко. – М.: ВАГШ, 2007. 357с.
5. Серих С. О. Оцінка можливостей постановників завод та впливу їх енергетичних показників на функціонування засобів зв'язку / С.О. Серих, Ю.І. Катков // Сучасний захист інформації.- 2017. – №1. – С.66-72.
6. Соловьев В.Р., Серых С.А., Соловьева М.В., Остапук А.И. Методика выбора составного фазоманипулированного ШПС для мобильных систем CDMA // Зв'язок. – 2003. – №2.– с.60-62.
7. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин.-М.: Радио и связь, 1985.-384с.
8. Серих С.О. Проблеми заводостійкості радіоліній з складними сигналами в умовах активних завод. // ЗВ'ЯЗОК. — 2013.-- № 4, с .
9. Фильтры на поверхностных акустических волнах/ Под ред. Меттьюза Г. – М.: Радио и связь, 1981 – 472с.
10. В.Я. Кислов и др., Корреляционные свойства шумоподобных сигналов, генерируемых системами с динамическим хаосом. Радиотехника и электроника, 1997, том 42, № 11, с.1341-1349.
11. Волков Л.Н. Сравнение помехозащищенности и характерных особенностей методов ППРЧ и ШПС. – Специальная техника средств связи, сер. ТРС, вып. 5, 1984. – с.3-10.
12. Вишнівський В.В., Гайдур Г.І., Серих С.О. Підвищення схованості повідомлень мереж із радіодоступом адаптованим блоковим кодуванням, Інформаційна безпека. – 2017. – №1 (25) №2(26). – С.85-89.

**Автори статті**

**Серих Сергій Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри Комп'ютерних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Гніденко Микола Петрович** – кандидат технічних наук, професор кафедри Комп'ютерних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Катков Юрій Ігорович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Комп'ютерних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Зінченко Ольга Валеріївна** - кандидат технічних наук, доцент кафедри Комп'ютерних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Authors of the article**

**Sierykh Sergiy Aleksandrovich** - candidate of Science (technic), Associate Professor, Department of Computer Science, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Hnidenko Nikolay Petrovich**- candidate of Science (technic), professor of computer science department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Katkov Yuriy Igorovich** – candidate of Science (technic), associate professor, associate professor of Computer Science Department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Zinchenko Olha Valeriivna** - candidate of Science (technic), Associate Professor, Department of Computer Science, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 16.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., с.н.с. В.В. Вишнівський