

УДК 621.396

Л.Б. Макаров, С.В. Хуторненко, О.І. Федюшин, Д.А. Семенець

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

КОНЦЕПТУАЛЬНІ НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ І ПОБУДОВА ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ І ЗВ'ЯЗКУ КХ, ДХ-СХ, НДХ РАДІОДІАПАЗОНІВ В УМОВАХ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ПРОТИДІЇ

Запропоновано шляхи та принципи удосконалення існуючих та розробки перспективних систем управління та зв'язку НДХ, ДХ та СХ – діапазонів в умовах радіоелектронної протидії.

Ключові слова: завадозахищеність, радіоканал низькочастотного діапазону, база сигналів, суперканал, вузькополосний шумоподібний сигнал, формування та селекція частот, кварцовий генератор, дискретний шумоподібний сигнал, функції Уолша, паралельні складові сигнали.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасний стан розвитку загальнодержавної інфраструктури будується на єдиній концепції, що полягає в узгодженому поетапному розвитку і взаємодії різних систем і засобів зв'язку, телекомунікаційних мереж з метою ефективного забезпечення достовірним і надійним зв'язком максимального числа користувачів. Розвиток інформаційних технологій більш орієнтується на масового користувача. Але поряд з цим існує важливий сегмент розвитку інформаційних технологій, націлений на розробку і вдосконалення завадозахищених та надійних каналів управління і зв'язку, особливо радіоканалів, орієнтованих головним чином на державні, силові відомства і організації. При цьому поряд з супутниковим зв'язком важливу роль в створенні завадозахищених засобів передачі інформації відіграють земні радіоканали зв'язку низькочастотних діапазонів.

Вказані проблеми вирішені для одного з перспективних напрямків створення на базі завадозахищених суперканалів низькочастотних (частотно-обмежених) радіодіапазонів для надійного, таємного, оперативного управління підводними об'єктами спеціального призначення: підводними човнами і т. ін.

Впровадження таких засобів в системах радіозв'язку потребує сучасних норм стабілізації частоти для радіотехнічних пристроїв, що приводить до вимог короткочасної стабілізації частоти на рівні 10^{-9} ... 10^{-11} та зниження фазових шумів до рівня 3...10 дБн/Гц [1]. При цьому для кварцових генераторів та фільтрів на цьому рівні стабілізації частоти суттєвий вклад в рівень шумів приладів вносять напівпровідникові елементи керування частоти – варикапи. Другим суттєвим фактором є вимоги до збільшення перестроювання резонансної частоти генераторів та фільтрів до рівня 10^{-4} , що потребує розробки радіотехнічних пристроїв формування та селекції частот на основі кварцових резонаторів з безпосереднім управлінням резонансних частот останніх.

Аналіз публікацій. Загальним недоліком існуючих систем управління і зв'язку „земних” каналів є недостатні (низькі) частотні й енергетичні ресурси радіозасобів, що не дозволяє одержати потрібну завадозахищеність і швидкість передачі інформації в умовах РЕП, а отже, у цілому не в повній мірі забезпечуються вірогідність-часові характеристики доведення сигналів управління особливими і стратегічно важливими мобільними об'єктами.

Вважається, що в умовах складних завад у радіоканалах, що створюється, у тому числі, і за рахунок засобів радіоелектронної протидії (РЕП), тільки супутникові системи і мережі зв'язку (ССМЗ) здатні сьогодні забезпечити високі вірогідно-часові характеристики доведення сигналів управління і здійснення цифрового зв'язку, телебачення й ін. Це, а також введення в експлуатацію ефективних радіонавігаційних систем типу GPRS, Глонас стимулювало в останні десятиліття інтенсивний розвиток ССМЗ. Не відкидаючи необхідність розвитку і вдосконалення супутникових систем управління і зв'язку представляється доцільним більш узагальнений підхід до проблеми існуючих і побудови перспективних систем зв'язку і управління мобільними об'єктами спеціального призначення, у тому числі підводного і підземного базування на основі використання „земних” радіоканалів, до яких відносяться ННЧ, СХЧ, ДХ-СХ і КХ радіоканали.

Загальними об'єднуючими ознаками вказаних фізичних каналів є їх частотна обмеженість, „тіснота” ефіру і велика схожість статистики завад.

Додатковою серйозною проблемою на шляху вдосконалення існуючих і побудови перспективних систем управління і зв'язку в найближчі роки буде значне обмеження фінансових ресурсів на ці заходи.

Принципи побудови завадозахищених «земних» фізичних каналів повинні бути єдиними для всіх користувачів різного базування. Розробка єди-

них принципів побудови пристроїв формування й обробки складних сигналів для заводозахисних каналів зазначених діапазонів дасть можливість провести стандартизацію й уніфікацію найбільш складної низькочастотної частини устаткування, що формує перешкодозахищеність каналів, в особливості, модемів, кодуєчих і декодуєчих пристроїв, пристроїв заводозахисту, контролерів доступу в ширококомовних каналах, пристроїв фазової, тактової, циклової синхронізації й інших.

Поряд з уніфікацією і стандартизацією низькочастотної частини заводозахисних каналів, у відомих межах можливі також уніфікація і стандартизація устаткування високочастотної частини фізичного каналу різних діапазонів, зокрема, лінійного тракту передавальних, приймаючих пристроїв, синтезаторів частот, пристроїв управління і контролю і т. ін.

Рішення задачі стандартизації й уніфікації устаткування заводозахисних каналів КХ, ДХ-СХ, НДХ діапазонів значною мірою полегшить, поперше, проведення дослідно-конструкторських робіт, по-друге, серійне виготовлення, і, нарешті, по-третє, експлуатацію систем управління і зв'язку. Усе це дасть можливість у підсумку вирішувати задачу подальшого розвитку систем управління і зв'язку при обмежених фінансових ресурсах.

Задачі, що розв'язуються в роботі. Метою публікації є обґрунтування наукових положень створення перспективних суперканалів частотно обмежених радіодіапазонів для заводозахисного управління спеціальними об'єктами, в тому числі підводного базування.

Задачі, що розв'язуються:

1. Вдосконалення розроблених принципів та методів створення перспективних заводозахисних каналів НЧ радіодіапазонів.

2. Розробка структур сигналів ВШПС, ДШПС, що забезпечують квадратичний та кубічний ефект росту бази від смуги частот в частотно-обмежених радіоканалах, значно збільшуючи їх заводозахисність.

3. Розробка теорії і техніки реалізації ВЕПС та ДШПС на основі сучасних методів формування і обробки складних сигналів із застосуванням програмно-апаратних засобів.

Основна частина

Суть пропонованого підходу в розвитку систем управління і зв'язку полягає в обґрунтуванні і розробці єдиних методів (способів), єдиних принципів (тобто в цілому єдиної методології) побудови пристроїв формування й обробки складних сигналів для заводозахисних фізичних каналів КХ, ДХ-СХ; НДХ діапазонів, заснованих на врахуванні, по-перше, частотної обмеженості,

„тісноти” і завантаженості „ефіру” і, по-друге, статистики завод.

В даний час промисловими організаціями накопичений досвід побудови заводозахисних каналів радіоуправління ДХ-СХ діапазонів на основі використання ширококутових шумоподібних сигналів (ШСС). Існуючі ШСС формуються на основі застосування лінійних або нелінійних рекурентних послідовностей разом з фазовою маніпуляцією. Ширококутові шумоподібні сигнали мають ряд переваг у порівнянні з вузькокутовими елементарними (ВЕ) сигналами, використовуваними в більшості існуючих систем радіозв'язку. Зокрема, якщо база ВШПС $\gg 1$, то ШСС мають визначну структурну й енергетичну скритність, тобто властивість, необхідну для здійснення ефективного радіомаскування. Це утрудняє радіорозвідку, а, отже, і радіоподавлення каналів управління.

Відомі ШСС не можуть вирішувати більшість проблем побудови ефективних систем управління і зв'язку ДХ-СХ діапазонів у силу ряду факторів, до числа найважливіших з яких варто віднести:

– велику витрату частотних ресурсів і виникаючі при цьому проблеми електромагнітної сумісності засобів радіоуправління і зв'язку;

– низьку швидкість передачі інформації, неприпустиму в умовах безупинно зростаючих потоків інформації і жорсткості вимог по скороченню часу передачі приказів і сигналів управління;

– низький коефіцієнт направленої дії (КНД) передавальних антенно-фідерних пристроїв (сягаючи значення 3...10 і нижче), у силу чого радіоканали мають недостатній енергетичний потенціал (випромінювану потужність) з наслідками, що звідси випливають по забезпеченню необхідної заводозахисності і дальності зв'язку;

– великі габарити радіопередавального устаткування, особливо радіопередаючих антенних пристроїв, що приводить до зниження мобільності рухливих пунктів управління й у цілому до зниження живучості комплексів радіоуправління і зв'язку.

Відомо, що база двійкових ШСС визначається тривалістю сигналу T_0 і ефективною шириною спектра сигналу $\Delta F_{\text{ШСС}}$. При заданій фіксованій швидкості передачі інформації для досягнення необхідної енергетичної скритності (розвідзахисності) і заводозахисності в цілому, необхідно збільшувати ШСС. Однак надмірне розширення спектра сигналу приводить до падіння КНД передавального антенно-фідерного тракту і випромінюваної потужності, росту габаритів антенних пристроїв і енергоспоживання з негативними явищами, що впливають, щодо мобільності рухливих і захищеності стаціонарних комплексів. Також значне підвищення $\Delta F_{\text{ШСС}}$ можливо тільки в дуже широких НКХ радіоканалах, наприклад, супутникових.

Основні недоліки існуючих заводозахищених каналів радіоуправління ДХ-СХ діапазонів, побудованих із застосуванням відомих ШСС, є наслідком передачі сигналів з надмірно широкою смугою частот у відносно вузькополосних і «тісних» радіодіапазонах, що приводить до порушення умов узгодження характеристик сигналів і каналів. В результаті цього обмін потужності на смугу частот супроводжується істотними необоротними втратами, що позначається на всіх характеристиках і параметрах каналів радіоуправління (тактичних, інформаційних, енергетичних і інших). При цьому здійснення радіомаскування на основі використання складної структури ШСС, що забезпечують структурну й енергетичну скритність, не може компенсувати недоліки, зв'язані з втратою енергетичного потенціалу радіолінії.

Починається освоєння СДХ (ННЧ) діапазону для передачі команд радіоуправління з використанням заводозахищених каналів. Однак, якщо процес передачі команд виконувати також, як і в каналах ДХ-СХ діапазону, тобто з використанням традиційно ШСС, то не слід сподіватися на одержання високий спеціальних ймовірностно-часових характеристик каналів радіоуправління. Наприклад, в СДХ діапазоні забезпечення дальності порядку 10 000 км, а, виходить, необхідного енергетичного потенціалу можливо при смузі пропущення прийомо-передавального й антенно-фідерного тракту порядку 100 Гц. Отже, у цьому випадку навіть при швидкості передачі інформації 1 біт/с база двійкових ШСС, побудованих з використанням рекуррентних послідовностей, $V_{шсс} = 100$ ($10 \lg V_{шсс} = 20$ дБ), що явно недостатньо для забезпечення необхідної заводозахищеності. Таким чином, не повною мірою будуть вирішені як питання енергетичної таємності (отже, і розвідзахищеності), так і стійкості від дії навмисних перешкод. Додаткове збільшення бази сигналів за рахунок розширення смуги частот неминуче приведе до зниження енергетичного потенціалу радіолінії, і дальності передачі радіоуправління. Та й сам діапазон СДХ дуже вузький – всього 27 кГц для скільки-небудь серйозного збільшення $\Delta F_{шсс}$.

СДХ, ДХ-СХ радіодіапазони є найбільш наочними прикладами вузькосмуговості, „тісноти” і обмеженості частотних ресурсів. Однак частотнообмеженим може виявитися й УКХ діапазон, якщо значно зростають вимоги до швидкості передачі інформації. Так, наприклад, для передачі сигналів цифрової телефонії швидкість передачі інформації складає 10...15 кбит/с. У цьому випадку, якщо смуга пропущення лінійного тракту каналу УКХ радіозв'язку складає навіть величину 1 МГц, то відомі двійкові ШСС забезпечують $V_{шсс} = 100$ (20 дБ), що явно недостатньо за сучасними вимога-

ми заводозахищеності, тобто повторюється ситуація для СДХ діапазону.

Частотнообмеженими є КХ радіоканали. Якщо в СДХ, ДХ-СХ діапазонах використовуються ШСС разом з фазовою маніпуляцією, то в КХ діапазоні для підвищення заводозахищеності використовують тільки гармонійні коливання з радіочастотою, що перебудовується.

При смузі пропускання лінійного тракту (СПЛТ) порядку 12...40 кГц прийнятна заводозахищеність забезпечується лише при швидкостях 50...100 Бод.

Питання побудови заводозахищеного каналу КХ діапазону для швидкостей передачі інформації 1200...2400 Бод залишаються відкритими як з погляду теорії, так і технічної реалізації.

Таким чином, проблема „тісноти” ефіру характерна для всіх „земних” каналів і систем радіозв'язку – СДХ (ННЧ) ДХ-СХ, КХ і УКХ діапазонів. Поки що можна умовно вважати широкосмуговими супутникові канали зв'язку, однак, з ростом швидкості передачі інформації і ці канали можуть виявитися частотнообмеженими. При фіксованій швидкості передачі інформації обмеження по смузі частот обмежує базу сигналів і, отже, заводозахищеність.

Під перешкодозахищеністю систем управління і зв'язку розуміється здатність їх виконувати задачі в умовах РЕП.

У загальному випадку РЕП містить у собі два найважливіших етапи дій — радіотехнічну розвідку і радіопротидію. Для зниження ефективності радіотехнічної розвідки необхідно підвищувати розвідзахищеність систем, зокрема, енергетичну і структурну скритність. Енергетична і структурна скритність залежать від бази й ансамблю використовуваних сигналів.

Як кількісна міра перешкодозахищеності приймається вірність передачі наказів (сигналів) в умовах впливу як природних, так і навмисних перешкод. Оскільки при оптимальних методах прийому складних сигналів заводостійкість і заводозахищеність визначаються відношенням сигнал/перешкода і базою сигналів, то в якості кількісної міри перешкодозахищеності може використовуватися також і база сигналів.

Таким чином, від бази сигналів залежить як розвідзахищеність так і стійкість від радіопротидії, тобто в цілому перешкодозахищеність систем управління і зв'язку в умовах радіоелектронної протидії.

Приведений аналіз дозволяє сформулювати суть наукового напрямку удосконалювання існуючих і розробки перспективних систем управління і зв'язку в умовах радіоелектронної протидії. Він полягає в розробці теорії і техніки побудови опти-

мальних (квазіоптимальних) систем управління і зв'язку в умовах РЕП при наявності жорстких обмежень смуги пропускання сигналів зв'язку. „Оптимальна система управління і зв'язку” розуміється в тому сенсі, що при фіксованій швидкості передачі інформації (часу доставки повідомлення), потужності сигналу і ефективної смуги пропускання каналу зв'язку забезпечується потенціал значення перешкодозахищеності при впливі на сигнал як природних (флюктуаційних і імпульсних, характерних для „земних” каналів) і навмисних (організованих) перешкод.

При такій постановці проблема побудови оптимальних у смислі К. Шенона, систем зв'язку, коли розглядаються лише флюктуаційні перешкоди, є окремим випадком вище названої проблеми.

Разом з тим, розробка шляхів побудови систем управління оптимальних по Шенону є необхідною умовою розробки систем радіоуправління і зв'язку, оптимальних в умовах РЕП.

Тому на першому етапі досліджень вирішується проблема обґрунтування структур сигналів, що забезпечують як завгодно близьке наближення до межі Шенона при передачі інформації з частотнообмеженням каналів зв'язку в умовах дії природних перешкод, далі проводиться обґрунтування способів формування й обробки складних сигналів, систем, що забезпечують потенційну перешкодозахищеність радіоуправління і зв'язку в умовах впливу навмисних перешкод.

Суть рішення зазначеної проблеми полягає в наступному. Для існуючих ШСС, сформованих за допомогою рекурентних послідовностей у сполученні з фазовою маніпуляцією, справедливе співвідношення

$$\frac{E}{N_n} = \frac{P_c}{P_n} V_{\text{ШСС}}, \quad (1)$$

де база $V_{\text{ШСС}} \sim \Delta F_{\text{ШСС}} T_0$ залежить лінійно від смуги частот $\Delta F_{\text{ШСС}}$, E/N_n – витрата енергетики на один біт інформації; P_c/P_n – співвідношення потужності сигналу та перешкоди.

При фіксованому значенні співвідношення потужності сигналу та перешкоди база $V_{\text{ШСС}}$ кількісно визначає розвідзахищеність, зокрема, енергетичну і структурну скритність і стійкість щодо навмисних (структурних і зосереджених) перешкод.

Домогтися істотного росту розвідзахищеності і стійкості щодо навмисних перешкод, тобто у цілому росту перешкодозахищеності на основі застосування відомої ШСС при фіксованій швидкості передачі інформації $R_n=1/T_0$ можна за рахунок істотного росту смуги частот $\Delta F_{\text{ШСС}}$.

ШШС, що забезпечують лінійний ріст бази в залежності від ефективної ширини спектра, знай-

шли своє застосування в існуючих каналах радіоуправління, їхнє використання варто визнати доцільним тільки як перший етап побудови завадозахищених систем управління і зв'язку.

Пропонований шлях рішення проблеми удосконалювання існуючих і побудови перспективних систем управління і зв'язку, що базують на частотнообмежуваних каналах, полягає в розробці таких структур сигналів, що забезпечують замість лінійного росту бази від ефективної смуги частот більш швидкий ступеневий ріст, зокрема, квадратичний, кубічний ефект росту бази від смуги частот сигналу.

Основна проблема – перебороти вузькість діапазону, що не дозволяє нарощувати значення бази за рахунок більшого збільшення їх спектру ΔF_c . Окремо, якщо передачу сигналів управління в СДХ діапазоні здійснити традиційним способом, то, наприклад, при швидкості передачі інформації $R_i=1$ біт/с і ефективній ширині спектру 100 Гц база $V_{\text{ШСС}}=100$.

Завадозахищеність, що дорівнює 100, в сучасних умовах явно недостатня.

Розроблено два типи ефективних для таких умов сигналів:

1. Вузькосмугові шумоподібні сигнали (ВШПС);
2. Дискретні широкосмугові шумоподібні сигнали (ДШШС).

ВШС формуються на основі паралельних складових сигналів (ПСС) у сполученні з надлишковим кодуванням.

В якості паралельних складових сигналів зручно використовувати ансамблі функцій Уолша. ВШС, на відміну від ШСС, не мають частотної надлишковості, не мають часової надлишковості базисних функцій. ВШС використовують дві ступені свободи – амплітуду і фазу (полярність) і дозволяють як завгодно близько підійти до реалізації оптимальних за Шеноном систем передачі дискретної інформації.

База таких сигналів визначається виразом

$$V_{\text{ВШПС}} = V_{Y_0} V_K, \quad (2)$$

де V_{Y_0} – база ПСС (базисних функцій Уолша);

$V_K = \frac{2kd^*}{n}(1-\rho)$ – база коректуючого коду. Значення V_{Y_0} і V_K знаходяться, як правило, в межах: $V_{Y_0} = 130 \dots 250$, $V_K = 10 \dots 30$.

Таким чином, $V_{\text{ВШПС}}$ може досягнути величин порядку 4 000...7 500, тобто наближатися до прийнятних величин (35..40) дБ.

Основні параметри і характеристики вузькосмугових елементарних сигналів (ВЕС), ФМШШС, ПСС та ВШПС для порівняння приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики вузькосмугових елементарних сигналів (ВЕС), ФМШШС, ПСС та ВШПС

Параметри	ВЕС	ФМШШС	ПСС	ВШПС
Ефективна ширина спектру, Гц	$\Delta F_{C2} = \frac{1}{T_0}$	$\Delta F_{\text{ШШС}} = \frac{1}{T_e} = \frac{n}{T_0} = n\Delta F_{C2}$	$\Delta F_{\text{ПСС}} = \frac{1}{2T_0} = \frac{1}{2}\Delta F_{C2}$	$\Delta F_{\text{ВШПС}} = \frac{n}{k} \cdot \frac{1}{2T_t} = 2\Delta F_{\text{ПСС}}$
Швидкість модуляції, Бод	$V_2 = \frac{1}{T_0}$	$V_{\text{ШШС}} = \frac{1}{T_e} = nV_2$	$V_{\text{ВШПС}} = V_{\text{ПСС}} = \frac{1}{T_0} = V_2$	$V_{\text{ВШПС}} = V_{\text{ПСС}} = \frac{1}{T_0} = V_2$
Швидкість передачі інформації, біт/с	$R_{\text{И}} = V_2 \log_2 M = V_2$	$R_{\text{И}} = V_2$	$R_{\text{И}} = V_2$	$R_{\text{И}} = \frac{k}{n} V_2$
Питома швидкість передачі інформації, біт/(с·Гц)	$\alpha_R = \frac{R_{\text{И}}}{\Delta F_{C2}} = \frac{V_2}{\Delta F_{C2}} = 1$	$\alpha_R = \frac{R_{\text{И}}}{\Delta F_{\text{ШШС}}} = \frac{1}{n} \ll 1$	$\alpha_R = \frac{R_{\text{И}}}{\Delta F_{\text{ПСС}}} = 2$	$\alpha_R = \frac{R_{\text{И}}}{\Delta F_{\text{ВШПС}}} = 2 \frac{K}{n}$
Питома затрата смуги частот, Гц·с/біт	$\alpha_f = \frac{\Delta F_{C2}}{R_{\text{И}}}$	$\alpha_f = \frac{\Delta F_{\text{ШШС}}}{R_{\text{И}}} = \frac{\Delta F_{\text{ШШС}}}{V} = n$	$\alpha_f = \frac{\Delta F_{\text{ПСС}}}{R_{\text{И}}} = \frac{\Delta F_{C2}}{2V_2} = 0,5$	$\alpha_f = \frac{\Delta F_{\text{ВШПС}}}{R_{\text{И}}} = \frac{2n}{K}$
База сигналів	$B_e = (1-\rho)$	$B_e = \Delta F_{\text{ШШС}} T_0 \times (1-\rho) = n(1-\rho)$	$B_{Y0} = n(1-\rho) = 2\Delta F_{\text{ПСС}} T_0$	$B_{\text{УШПС}} = B_{Y0} B_K$
Завадостійкість на фоні білого шуму, $P_{0\text{ш}} = 1 - F \sqrt{\frac{E}{N_0}}$	$\frac{E}{N_0} = \frac{P_C T_0}{N_0} B_e = \left(\frac{P_C}{\rho_{\text{ш}}}\right) (1-\rho)$	$\frac{E}{N_0} = \frac{P_C T_C}{N_0} (1-\rho) = \frac{P_C}{P_{\text{ШШС}}} (1-\rho) = \frac{P_C}{P_{\text{ШШС}}} B_{\text{ШШС}}$	$\frac{E}{N_0} = \frac{P_{C\text{У}}}{P_{\text{ШСС}}} n(1-\rho) = \frac{P_{C\text{У}}}{P_{\text{ШСС}}} B_{Y0}$	$\frac{E}{N_0} = \frac{P_{C\text{У}}}{P_{\text{ШСС}}} B_{Y0}$

Основні розрахункові співвідношення мають вид:

$$B = \Delta F_C T_C \text{ або } B = 2\Delta F_C T_C; \quad (3)$$

$$h_0^2 = \frac{F_C}{N_0} = \frac{P_C}{P_{\text{Ш}}} B; \quad (4)$$

$$B_{Y0} = n = 2\Delta F_{\text{ПСС}} T_C = \Delta F_{C2} T_C; \quad (5)$$

$$B_K = kd_2/n; \quad (6)$$

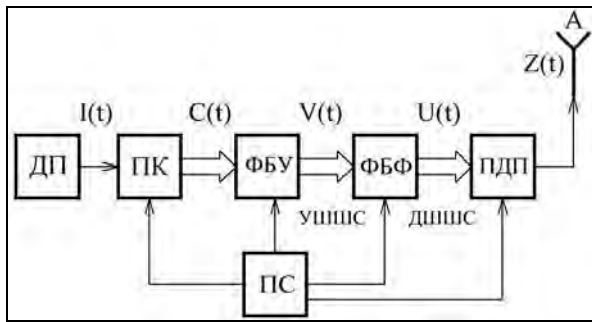
$$B_{\text{ВШПС}} = B_{\text{ПСС}} B_K = B_{Y0} B_K = n B_K. \quad (7)$$

Як слідує з наведеного аналізу параметрів і характеристик ВЕС, ФМШШС і ПСС, останні ні в чому серйозно не поступаються першим, а де в чому

перевершують їх, наприклад, в величинах α_R , α_f , $P_{0\text{ш}}$. При цьому ПСС, ВШПС здатні забезпечити значну величину бази (35...40) дБ в вузьких смугах і без втрати швидкості передачі. Це спрощує побудову каналів радіоуправління і зв'язку, зокрема, високочастотного устаткування. Даний фактор особливо важливий для побудови розгалуженої мережі, пакетних радіомереж.

Структурна схема передавального устрою з формуванням ВШПС і ДШШС представлена на рис. 1.

При використанні ДШШС в НЧ радіоканалах можливо забезпечення зростання величини бази таких сигналів пропорційно $B_{\text{ШШС}}^2$ або $B_{\text{ШШС}}^3$ і відповідне зростання завадозахищеності.



ДП – джерело повідомлень; ПК – пристрій кодування (корегуюче кодування); ФБУ – формувач бази Уолша (УШПС); ФБФ – формувач бази Фур'є (ДШПС); ПДП – передавальний пристрій; ПС – пристрій синхронізації; А – антена

Рис. 1. Структурна схема передавального пристрою з формуванням ВШПС і ДШПС

Таким чином, на основі застосування просторово-часових способів формування сигналів з підвищеною спектральною густиною випромінювання з урахуванням використання всіх ступенів їх свободи, а також часовою (ВШПС) та частотною (ДШПС) надмірністю сигналів та їх структурною скритністю, можна здійснити приріст завадостійкості спеціальних систем управління та зв'язку НДХ, ДХ-СХ, КХ частотообмежених радіодіапазонів в умовах РЕП, які наближаються як завгодно близько до потенціального значення, що сягає $V_{\text{ШПС}}^4$. Розроблені теорія і техніка реалізації ВШПС і ДШПС, що використовує цифрові методи побудови пристроїв формування й обробки складних сигналів.

Висновки

1. Інноваційним аспектом розробки теорії і методів її реалізації є перша спроба створення завадозахищеного управління не на ширококутових УКХ радіосистем або оптичних лініях зв'язку, а саме, в

низькочастотних ННЧ, СХЧ, ДХ-СХ радіоканалах.

2. Вирішена з теоретичної точки зору задача побудови оптимальних завадозахищених каналів НДХ, ДХ-СХ, КХ діапазонів.

3. На основі розроблених методів визначені загальні контури розробки єдиних принципів побудови пристроїв формування й обробки сигналів завадозахищених каналів КХ, ДХ-СХ, НДХ діапазонів для різних варіантів устаткування спеціальних об'єктів управління.

Перспективами подальших досліджень є:

1. Уніфікація принципів синтезу завадозахищених радіоканалів усіх частотообмежених діапазонів, що дозволить значно скоротити фінансування на їхню побудову;

2. Реалізація принципів формування і обробки ДШПС і ВШПС.

Список літератури

1. Каталог продукції ЗАО «Укрпьеzo», Україна: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrpiezo.by.ru/PHINO/BERN/>
2. Битченко А.Н. Помехозащищенность и развитие понятия «база» сигналов [Текст] / А.Н. Битченко, Л.Б. Макаров, А.А. Подорожняк // Збірник наукових праць ХУПС ім. І. Кожедуба. – 2008. – Вип. 2(17). – С. 60-63.
3. ГОСТ В 23609-86 (СТ 8 СЭВ 0217-86).
4. Носик А.М. Оцінка завадостійкості синтезованих ансамблів складних сигналів [Текст] / А.М. Носик // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – № 2(18). – С. 106-108.
5. Кокотов О.В. Загрози інформаційній безпеці систем безпроводного зв'язку в умовах інформаційної боротьби відповідно до критеріїв захищеності інформації [Текст] / О.В. Кокотов, А.С. Шевченко // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2010. – №1. – С. 35-40.

Надійшла до редколегії 7.06.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Сахацький, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПОСТРОЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ КВ, ДВ-СВ, СДВ РАДИОДИАПАЗОНОВ В УСЛОВИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Л.Б. Макаров, С.В. Хуторненко, А.И. Федюшин, Д.А. Семенец

Предложены пути и принципы усовершенствования существующие и разработки перспективных систем управления и связи СДВ, ДВ и СВ – диапазонов в условиях радиоэлектронного противодействия.

Ключевые слова: помехозащищенность, радиоканал низкочастотного диапазона, база сигналов, суперканал, узкополосный шумоподобный сигнал, формирование и селекция частот, кварцевый генератор, дискретный шумоподобный сигнал, функции Уолша, параллельные составные сигналы.

CONCEPTUAL DIRECTIONS OF PERFECTION EXISTING AND CONSTRUCTION OF PERSPECTIVE CONTROL THE SYSTEM AND CONNECTION OF SW, LW-MW, SLW OF RADIO DIAPASONS IN THE CONDITIONS OF RADIO ELECTRONIC COUNTERACTION

L.B. Makarov S.V. Khutornenko, A.I. Fedyushin, D.A. Semenev

Ways and principles of improvement are offered existing and development of perspective control the system and connection of SW, LW-MW, SLW– ranges in the conditions of radio electronic counteraction.

Keywords: protecting from hindrances, radio channel of low frequency range, base of signals, superchannel, narrow-band similar to noise signal, forming and selection of frequencies, quartz generator, discrete similar to noise signal, functions of Walsh, parallel component signals.