

УДК 621.391

С.В. Озеров, А.А. Артеменко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ОСНОВАННОЙ НА МИМО-ТЕХНОЛОГИИ С МНОЖЕСТВОМ ХАОТИЧЕСКИХ НЕСУЩИХ

*В работе проведен анализ способов повышения надежности радиотехнической системы передачи информации основанных на применении многоканальной МИМО-технологии с множеством хаотических несущих. Показано, что синтезированный метод передачи бинарных сообщений в многоканальной МИМО-системе передачи данных с использованием хаотической несущей позволяет повысить надежность системы за счет увеличения числа каналов передачи информации в заданном диапазоне частот.*

**Ключевые слова:** МИМО-технология, надежность, структурная схема надежности, вероятность безотказной работы.

### Введение

В последнее время в вооруженных силах ведущих зарубежных стран наметился переход от строго вертикальной системы управления к глобальным сетевым сетевым сетям управления.

Составляющей таких сетей, так называемым «информационным нервом», является система передачи информации, которая должна обеспечивать стойкую, непрерывную и достоверную передачу данных.

Одним из путей обеспечения качества передачи информации является повышение надежности радиотехнических систем передачи информации (РТС ПИ).

Под надежностью следует понимать свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [1].

Одним из перспективных способов повышения надежности РТС ПИ является резервирование, которое в частном случае можно представить как применение МИМО-технологии (МИМО – от англ. множественный вход, множественный выход) с множеством хаотических несущих [2]. Другими словами повышение надежности происходит за счет применения не одного канала передачи информации, а нескольких. Применение данной технологии с позиции повышения надежности существующих и перспективных РТС ПИ, в настоящее время является достаточно актуальным.

Поэтому целью данной работы является анализ возможностей повышения надежности, за счет применения множества хаотических несущих в многоканальных РТС ПИ.

### Основная часть

МИМО-технология на хаотической несущей, предложенная в работах [2, 3] представляет собой РТС ПИ, где в качестве несущего сигнала использу-

ется хаотический процесс с разными начальными условиями  $x_0$  для каждого подканала  $h$ , которая состоит из  $n$  МИМО-подканалов (радиоканалов).

На рис. 1 приведена структурная схема МИМО РТС ПИ на хаотической несущей с  $n$ -подканалами, которая будет использоваться для анализа.

Для расчета показателей надежности РТС ПИ необходимо установить тип объекта, а также особенности и условия его функционирования, интересующие нас при данных расчетах. Данный объект является восстанавливаемым, т.е. рассматриваемая РТС ПИ является ремонтируемой и после отказа и устранения неисправности вновь способна выполнять требуемые функции с заданными количественными показателями надежности и все элементы, входящие в его состав также являются восстанавливаемыми. После установления нужной информации об объекте, как правило, составляется структурная схема надежности (ССН).

Один канал передачи данных представляет собой нерезервированную систему. Согласно [4]: нерезервированная система – это система состоящая из минимально необходимых для выполнения заданных функций средств и (или) возможностей, т.е. в такой системе отсутствует избыточность. А ССН нерезервированной системы – представляет собой последовательное соединение  $M$  структурных единиц (устройств входящих в состав канала). Поэтому при отказе любой структурной единицы канала весь канал переходит в неработоспособное состояние.

Параллельное соединение (структурными единицами которого являются цепочки последовательно соединенных элементов рассмотренные выше) в данном случае представляет собой постоянное общее резервирование, при котором используется нагруженный резерв. Следует пояснить, что в случае отказа любого элемента в резервируемой группе, выполнение объектом необходимых функций обеспечивается без переключения элементов, которые остались.

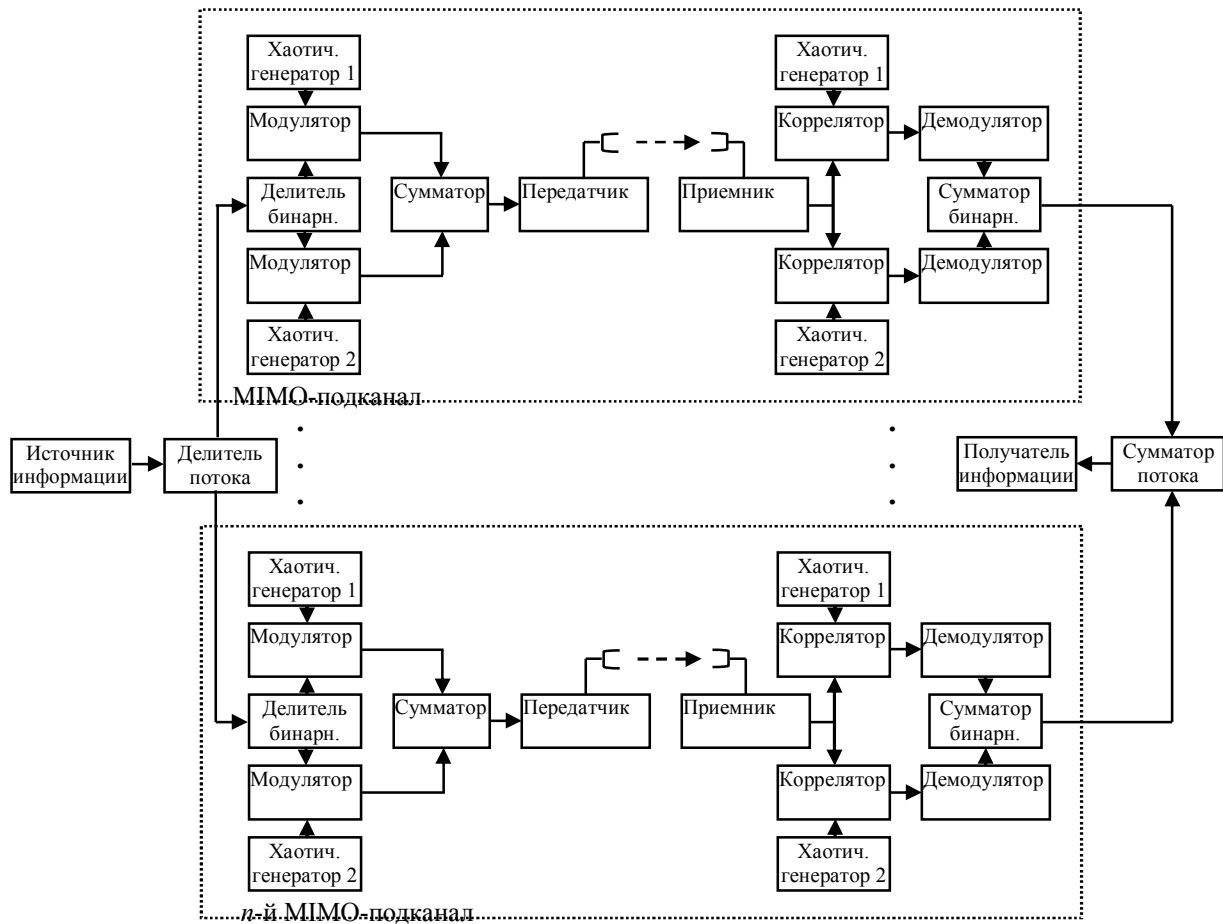


Рис. 1. Структурная схема МІМО-радіотехнічної системи передачі інформації на хаотическій несучій с  $n$ -подканалами

Следует отметить, что данное отображение РТС ПИ не совсем корректно отображает принцип функционирования МІМО РТС ПИ, так как при работе этой системы делитель потока данных (рис. 1) разделяет информацию на все  $N$  каналов, а сумматор потока данных, в свою очередь, также суммирует информацию, принятую со всех каналов, соответственно одновременно используются все  $N$  каналов, причем загружены они тоже одинаково.

При переходе одного из каналов в неработоспособное состояние, на передающей стороне информация уже разделяется на  $N-1$  каналов, аналогично и на приемной стороне используется  $N-1$  канал. Но для расчета показателей надежности такое представление можно использовать и в дальнейших расчетах будем допускать, что ССН РТС ПИ является восстанавливаемой системой с постоянным общим резервированием.

Данное допущение целесообразно, потому что при уменьшении числа работоспособных каналов уменьшается эффективность функционирования РТС ПИ вследствие уменьшения скорости передачи информации. В данной статье эта проблема рассматриваться не будет, т.к. скорость передачи информации относится к показателям назначения, а не к рассматриваемым показателям надежности.

Для оценки повышения надежности данной РТС ПИ необходимо сравнить её показатели надежности с аналогичными показателями надежности классической одноканальной РТС ПИ и на основе данного анализа сделать соответствующие выводы.

Для проведения сравнительного анализа предлагается использовать показатели надежности типа: "вероятность" и "наработка", как наиболее часто применяемые на практике, а в частности вероятность безотказной работы (ВБР) –  $P(t)$  и среднюю наработку на отказ  $T_0$ . Где  $P(t)$  и  $T_0$  – в более узком смысле являются показателями безотказности.

Рассмотрим порядок расчета  $P(t)$  и  $T_0$  для случая последовательной ССН, т.е. классической одноканальной РТС ПИ не имеющей в своём составе избыточных элементов.

Для анализа возьмем РТС ПИ аналогичную представленной на рис. 1 только являющуюся одноканальной. Для представления одного канала в виде ССН все структурные единицы канала, независимо от порядка их подключения между собой на структурной схеме, необходимо представить как последовательное их соединение, т.к. при отказе хоть одного из них весь канал становится неработоспособным. Делитель потока данных и сумматор потока данных в одноканальной РТС ПИ отсутствуют.

Аналогічним способом можна побудувати ССН і для будь-якої другої одноканальної РТС ПИ, но для підтвердження підвищення рівня надійності многоканальної РТС ПИ відносно одноканальної за рахунок збільшення числа каналів розглянемо те РТС ПИ в яких в якості несущого сигналу використовується хаотический процес (рис. 2).

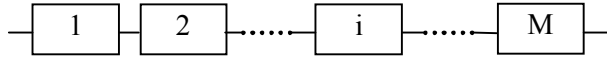


Рис. 2. Структурна схема надійності одноканальної РТС ПИ

Для цього випадку ВБР РТС ПИ визначається співвідношенням

$$P(t) = \prod_{i=1}^M [1 - F_i(t)] = \prod_{i=1}^M P_i(t), \quad (1)$$

де  $F_i(t)$  – функція розподілення наработки на отказ  $i$ -ї структурної одиниці одноканальної РТС ПИ;  $M$  – кількість структурних одиниць в РТС ПИ;  $P_i(t)$  – ВБР  $i$ -ї структурної одиниці РТС ПИ.

В розглянутому частині випадку одноканальна РТС ПИ складається з 15 структурних одиниць  $M=15$ . Стационарне значення середньої наработки на отказ нерезервированной системи, буде визначатися мінімальним значенням випадкових наработок елементів РТС ПИ [5].

Якщо передположити що зміною інтенсивності отказів елементів послідовної ССН можна пренебріть, то випадкові наработки між отказами підчиняються експоненціальному розподіленню, а співвідношення для розрахуку  $T_0$  приймає вигляд

$$\frac{1}{T_0} = \sum_{i=1}^M \frac{1}{T_{0i}}, \quad (2)$$

де  $T_{0i}$  – мінімальне значення випадкової наработки на отказ  $i$ -го елемента одноканальної РТС ПИ.

Проведемо розрахуки для розглянутої РТС ПИ. Не маючи конкретних значень ВБР на конкретні образці техніки, передположимо, що  $P_i(t)$  для кожного елемента схеми буде однаковою і рівнятися 0.95. Другими словами  $P_i(t)$  – ймовірність того що на протязі заданої наработки  $t$  не відбудеться отказ  $i$ -го об'єкта ССН. (Для порівняння послідовної і паралельної ССН не має значення величини ВБР, головне їх взяти однакоовими для обох ССН). Зная величини  $M$  і  $P_i(t)$  по співвідношенню (1) знайдемо ВБР одноканальної РТС ПИ:  $P(t)=0,463$ , що може не задовольняти замовника такої продукції. В такому випадку для підвищення ВБР вдаються або до установки більш надійних і відповідно більш дорогостоящих елементів, або до зменшенню призначених часових показників, в загальному випадку означених

як  $t$ . В даній статті цю проблему пропонується вирішити введенням додаткових каналів.

Середня наработка на отказ, як уже згадувалось вище, визначається мінімальним значенням випадкових наработок елементів РТС ПИ. Численні значення в цій статті розглядати не будемо, т.к. діапазон змінення наработки на отказ різних об'єктів достатньо широкий, а в випадку необхідності конкретні значення можна підставити в відповідні розрахункові співвідношення.

Покажемо порядок розрахуку аналогічних показників надійності для паралельної ССН. Для початку розглянемо схему зображену на рис. 3.

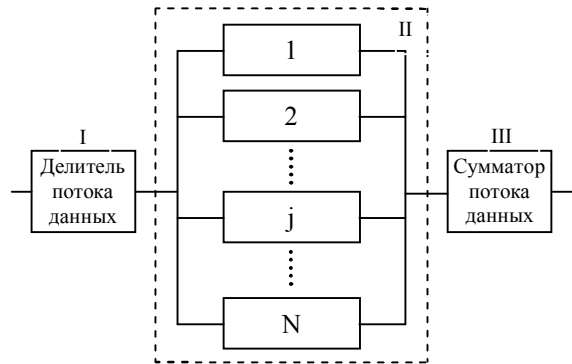


Рис. 3. Структурна схема надійності многоканальної РТС ПИ

Пунктирною лінією зображено паралельне з'єднання розглянутих вище  $N$  елементів, представляючих собою послідовні ССН, і все це з'єднання стоїть представити як один еквівалентний елемент послідовної, трьохелементної (I, II, III) ССН. Делитель потоку даних і суматор потоку даних слідует також представити основними елементами цієї схеми і додати їх в початку і в кінці відповідно.

Розрахуємо показники надійності для системи паралельно з'єднаних елементів [5]. ВБР такої системи визначається співвідношенням

$$P_{II}(t) = 1 - (1 - P(t))^N. \quad (3)$$

Из вираження (3) видно що  $P_{II}(t) > P(t)$ , а это значит что многоканальная система надежнее одноканальной.

Зная  $P(t)$ , розрахуємо вигриш в надійності от внедрения многоканальной схемы аналогічно с предыдущими расчетами, предположив что количество каналов ММО РТС ПИ  $N=5$ . Подставив числовые значения в выражение (3) получим  $P_{сист}(t)=0,956$ . Средняя наработка на отказ рассчитывается по соотношению

$$T_{0сист} = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^N \frac{1}{j}, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов одного канала.

По аналогії з предыдущими расчётами (1) для последовательных ССН ВБР всей РТС ПИ будет представлять собой произведение ВБР трёх её элементов, и рассчитываться по соотношению

$$P(t) = P_I(t) \cdot P_{II}(t) \cdot P_{III}(t) = P_I(t) \cdot P_{\text{сист}}(t) \cdot P_{III}(t), \quad (5)$$

где  $P_I(t)$ ,  $P_{II}(t)$ ,  $P_{III}(t)$  - ВБР I-го, II-го, III-го элемента схемы (рис. 3).

Следует отметить, что внедрение многоканальной РТС ПИ влечет за собой появление двух новых элементов (I и III), которые являются общими для всех каналов, соответственно требования к показателям надежности этих элементов должны быть самыми высокими по сравнению с остальными элементами схемы, так как при выходе из строя одного из них вся система переходит в неработоспособное состояние.

Исходя из вышесказанного допустим, что величины ВБР за наработку  $t$  сумматора и делителя потока данных равны между собой

$$P_I(t) = P_{II}(t) = 0,98.$$

Подставив числовые значения в (5) получим  $P(t) = 0,918$ , что в значительной мере выше аналогичного показателя одноканальной РТС ПИ, и вполне может применяться в системах с повышенными требованиями надежности в частности в связи.

Средняя наработка на отказ такой системы также определяться минимальным значением случайных наработок элементов I – III между отказами (рис. 3), при этом случайная наработка между отказами элемента II значительно возрастает по сравнению с одноканальной РТС ПИ за счет введения избыточности.

## Выводы

В статье рассмотрены одноканальная и многоканальная радиотехнические системы передачи информации с точки зрения их надежности, приведены их структурные схемы надежности и соотношения для расчета их вероятностей безотказной работы и средних наработок на отказ. Проведен сравнительный анализ этих систем и по его результатам можно сказать, что применение многоканальной (MIMO) системы передачи информации значительно повышает надежность этой системы.

## Список литературы

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт.
2. Метод повышения пропускной способности и скрытности системы радиосвязи путем применения MIMO-технологии на хаотических несущих / К.С. Васюта, С.В. Озеров, Ф.Ф. Зоц, Н.А. Глуценко // Системи управління, навігації і зв'язку. – К: ДП ЦНДІ Н і У, 2012. – Вип. 3(23). – С. 223-227.
3. Васюта К.С. Анализ пропускной способности и скрытности MIMO-системы радиосвязи на хаотической несущей / К.С. Васюта, С.В. Озеров, Ф.Ф. Зоц // Системи обробки інформації. – Х: ХУПС, 2012. – Вип. 9(107). – С. 20-23.
4. Ланецький Б.М. Основи теорії надійності, експлуатації та ремонту засобів зенітних ракетних систем. Ч. 1 / Б.М. Ланецький, В.С. Жуков, О.С. Алексеев. – Х.: ХУПС, 2009. – 509 с.
5. Надежность технических систем. Справочник. / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

Поступила в редколлегию 26.07.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.В. Потий, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ЗАСНОВАНОЇ НА MIMO-ТЕХНОЛОГІЇ З БЕЗЛІЧЧЮ ХАОТИЧНИХ НЕСУЧИХ

С.В. Озеров, А.А. Артеменко

У роботі проведений аналіз способів підвищення надійності радіотехнічної системи передачі інформації заснованої на застосуванні багатоканальної MIMO-технології з безліччю хаотичних несучих. Показано, що синтезований метод передачі бінарних повідомлень в багатоканальній MIMO-системі передачі даних з використанням хаотичних несучих дозволяє підвищити надійність системи за рахунок збільшення числа каналів передачі інформації в заданому діапазоні частот.

**Ключові слова:** MIMO-технологія, надійність, структурна схема надійності, ймовірність безвідмовної роботи.

## RELIABILITY ANALYSIS OF TRANSMISSION RADIO SYSTEM INFORMATION IS BASED ON MIMO-TECHNOLOGY WITH MULTIPLE CHAOTIC CARRIER

S.V. Ozerov, A.A. Artemenko

The analysis of methods of increase of reliability of the radio engineering system of passing of information of the multichannel MIMO-technologies based on application of process conducted with in a number of the chaotic bearings. It is rotined that the synthesized method of passing of binary messages in the multichannel MIMO-system of communication of data with the use of the chaotic bearing allows to promote a failsafety due to the increase of number of ductings of passing of information in the set range of frequencies.

**Keywords:** MIMO-technologies, reliability, reliability block diagram, the probability of failure-free operation.