

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ КАНАЛА РАДИОСВЯЗИ ЕДИНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Рассмотрены вопросы оценки мощности и параметры беспроводной райсовской модели канала передачи информации, создаваемой Единой автоматизированной системой контроля радиационной обстановки в Украине, с целью последующего обеспечения его эффективной работы и системы в целом. Показано, что применение современных технологий беспроводной связи, имеющей цифровой канал передачи информации, дает существенный выигрыш в обеспечении качества и достоверности полученной информации в сложных системах, которая менее подвержена искажению, что допустимо к применению в рассматриваемой системе.

Ключевые слова: ГСЧС Украины, эффективность функционирования радиоканала, вероятность ошибочного приема, пропускная способность, достоверность передачи информации.

Постановка проблемы. С каждым годом в мире все больше применяются ядерные технологии для получения энергии. Этот процесс связан с усовершенствованием самих технологий, модернизацией ядерных реакторов, а также с уменьшением и дороговизной добываемых и перерабатываемых углеводородов. Для безопасности и постоянного функционирования, а также контроля радиационной обстановки на ГП "НАЭК Энергоатом", в научно-исследовательских и учебных заведениях Украины, деятельность которых связана с использованием ядерных установок, на ГП "Барьер", создается Единая автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО)[1]. Информация, полученная от системы, будет передаваться на создаваемые объекты структуры, а также в областные гидрометеорологические службы ГСЧС Украины. Пространственный размах АСКРО определяет необходимость использования в её составе различных физических сред и устройств передачи, приема и обработки информации. В ряде случаев возможно использование только радиоканала и соответственно применение соответствующих радиотехнических устройств. В данном случае к ним предъявляются определённые требования (технические характеристики, показатели качества) по достоверности, надёжности, задержкам сообщений, по пропускной способности и скрытности передачи информации, по обеспечению оперативного контроля состояния радиоканала, отвечающих технологическим требованиям системы в целом. Построение радиоканала должно решаться с учётом свойств самой АСКРО и принятых критериев оптимальности функционирования и анализа эффективности её работы в целом.

Анализ последних исследований и публикаций. Про необходимость данного направления развития каналов радиосвязи свидетельствуют дискуссии, которые продолжаются в научной среде. Так, в работе [2] рассмотрены вопросы повышения эффективности работы канала с учетом применения системы декаметрового радиосвязи при различных алгоритмах работы ретранслятора. Кроме

того, применение современных средств связи в постоянно меняющейся подвижной среде дают крупномасштабные замирания[3], представляющие собой ослабление мощности сигнала или потери на трассе, описываемой многолучевой моделью с явлениями переотражения, рассеивания и дифракции. В научной работе [4] для эффективного функционирования беспроводной системы передачи информации предлагают применение дублирующих каналов радиосвязи, что в свою очередь влечет за собой дополнительные финансовые вложения.

Постановка задачи и ее решение. АСКРО представляет собой сложную систему, свойства которой определяются не только свойствами отдельных элементов, но и характером взаимодействия между ними. Радиоканалы, по которым будет передаваться информация, состоят из элементов, которые, в свою очередь, являются самостоятельными техническими средствами. В связи с возрастанием требований к объему, достоверности и скорости передачи информации от сложных систем к органам управления и контроля, становится актуальной научно-технической задачей применение новых технологий беспроводных средств связи. Предлагается рассмотреть применение сетей связи нового поколения на основе технологий LTE (Long Term Evolution). На рис. показана схема радиоканала, которая применима для АСКРО.

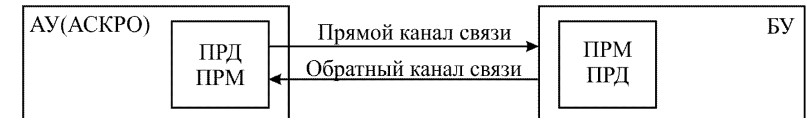


Рис. Схема радиоканала: АУ – абонентное устройство, БУ – базовое устройство, ПРД – передающее устройство, ПРМ – приемное устройство

В данной схеме мы будем рассматривать райсовскую модель канала, в котором характерно, когда кроме нескольких не прямых траекторий распространения сигнала, существует также траектория распространения по линии прямой видимости [5]. В качестве характеристики данного канала связи применяется коэффициент K , который определяется следующим образом[6]:

$$K = P_{np} / P_{om}, K > 1,$$

где: P_{np} – мощность доминирующего сигнала, P_{om} – мощность отраженных сигналов.

В качестве критерия эффективности функционирования радиоканала можно применить отношение сигнал/шум по мощности и выходе приемных устройств БУ и АУ при выполнении требований по достоверности[7].

$$\frac{E_s}{N_o} \geq \left(\frac{E_s}{N_o} \right)_{mp} |P_{oui} \leq P_{oui}^{mp}, \quad (1)$$

где: $\frac{E_s}{N_o}, \left(\frac{E_s}{N_o} \right)_{mp}$ – соответственно сигнал/шум на входе приемных устройств и отношение сигнал/шум требуемое, P_{oui} – вероятность ошибочного приема, P_{oui}^{mp} – вероятность ошибочного приема требуемая.

В цифровых радиоканальных системах вероятность ошибочного приема можно определить следующим образом [8]:

¹ Науч. руководитель: проф. Б.Б. Поспелов, д-р техн. наук

$$P_q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \left[1 - \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{x^2}{2}} dx \right)^q \right] e^{-\frac{1}{2} \left(y - \sqrt{\frac{E_s}{N_o}} \right)^2} dy, \quad (2)$$

где: $X = \{x_0, x_1, \dots, x_{q-1}\}$, $Y = \{y_0, y_1, \dots, y_{q-1}\}$ – соответственно набор передаваемых сигнальных посылок на входе радиоканала в каждой сигнальной посылке q символов. Для двоичного симметричного канала:

$$p = Q \sqrt{2 \frac{E_s}{N_o}}, \quad (3)$$

где $Q(x)$ – функция, определяемая по формуле

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (4)$$

При нормальном законе распределения помехи в радиоканале и равновесном законе распределения битовой информации, на основании (2) в табл. приведены расчетные значения $P_{ош}$ и E_s / N_o .

Табл. Расчетные данные

$P_{ош}$	E_s / N_o , дБ
10^{-1}	6
10^{-2}	10
10^{-3}	12
10^{-4}	14
10^{-5}	16

На основании расчетных данных, приведенных в табл., можно определить параметры радиоканала.

Для более глубокого определения эффективной работы радиоканала передачи информации АСКРО нужно провести оценку мощности сигнала [9]. Данная оценка является показателем качества приема в зоне покрытия БУ.

Расчет максимально допустимых потерь на трассе радиолинии UL (upload)- восходящий поток. Расчет осуществляется в несколько этапов.

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БУ определяется по формуле

$$P_{прбу} = P_{ш} + (E_b / N_o)_{треб} - G_{обр} + L_n - G_{хо}, \quad (5)$$

где: $(E_b / N_o)_{треб}$ – требуемое значение (E_b / N_o) ; $G_{обр}$ – выигрыш от обработки сигнала; $P_{ш}$ – мощность собственных шумов приемника; $G_{хо}$ – выигрыш в уровне сигнала на приеме, L_n – коэффициент шума приемника базовой станции, менее 3 дБ. Минимально допустимое значение (E_b / N_o) на входе приемника, составляет 1,7 дБ. Выигрыш от обработки сигнала $G_{обр}$ составляет 10 дБ. Величину выигрыша в уровне сигнала $G_{обр}$ примем 2 дБ.

С учетом вышеуказанных параметров, минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БУ равна: $P_{прбу} = -112,5$ дБмВт.

Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением

$$P_{пр} = P_{прбу} + L_{фидер} - G_{бу} + L_{ff}, \quad (6)$$

где: $L_{фидер}$ – потери в фидере, 3 дБ; $G_{бу}$ – коэффициент усиления антенны базовой станции, 18 дБ; L_{ff} – запас на быстрые замирания, 3 дБ.

$$P_{пр} = -124,5 \text{ дБмВт.}$$

Эффективно излучаемая мощность абонентного устройства определяется выражением:

$$P_{избу} = P_{бу} + G_{бу}, \quad (7)$$

где: $P_{бу}$ – мощность передатчика мобильной станции, для расчета взята минимальная мощность мобильной станции, определенная стандартом – 21 дБмВт; $G_{бу}$ – коэффициент усиления антенны базового устройства, принят равным 0 дБ.

$$P_{избу} = 21 \text{ дБмВт.}$$

Максимально допустимые потери на трассе равны:

$$L = P_{избу} - P_{пр} = 145,5 \text{ дБ.}$$

Расчет максимально допустимых потерь на трассе радиолинии DL (download) – нисходящий поток.

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника АУ определяется аналогичным выражением (как и для БУ):

$$P_{прбу} = P_{ш} + (E_b / N_o)_{треб} - G_{обр}, \quad (8)$$

где: $(E_b / N_o)_{треб}$ – минимально допустимое значение (E_b / N_o) на входе приемника составляет 4,8 дБ; $G_{обр}$ – выигрыш от обработки, равен 10 дБ.

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника АУ с учетом запаса на внутрисистемные помехи равна:

$$P_{прау} = -104,4 \text{ дБмВт.}$$

Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением:

$$P_{пр} = P_{прау} - G_{бу} + L_{ff}, \quad (9)$$

где: $G_{бу}$ – коэффициент усиления антенны мобильной станции, принято равным 0 дБ; L_{ff} – запас на быстрые замирания, дБ.

$$P_{пр} = -101,4 \text{ дБмВт.}$$

Эффективно излучаемая мощность БУ:

$$P_{избу} = P_{бу} + G_{бу} - L_{фидер}, \quad (10)$$

где: $P_{бу}$ – мощность передатчика базовой станции на кодовый канал. Величина максимальной мощности передатчика $P_{пер}$ на кодовый канал составляет 50 дБмВт; $G_{бу}$ – коэффициент усиления антенны базовой станции; $L_{фидер}$ – потери обусловленные затуханием в фидере.

Определяем эффективно излучаемую мощность базового устройства $P_{избу}$ (дБ), при известной мощности передатчика базового устройства на кодовый канал $P_{бу}$ (дБ), коэффициент усиления антенны базового устройства $G_{бу}$ (дБ), потери обусловленные затуханием в фидере $L_{фидер}$ (дБ).

$P_{\text{бу}} = P_{\text{пер}}/55$, где 55 – число кодовых каналов.

$P_{\text{бу}} = 50/55 = 0,9 \text{ Вт} = 900 \text{ мВт} (29,5 \text{ дБм})$.

$P_{\text{избул}} = 29,5 + 18/55 - 3 = 26,9 \text{ дБм} = 0,49 \text{ мВт} (\text{на } 1 \text{ кодовый канал})$

$P_{\text{избу}} = 0,49 \cdot 55 = 26,95 \text{ Вт}$

Выводы: Полученные в работе результаты показывают, что качественные характеристики канала радиосвязи, с учетом применения технологии LTE, на основании оценки мощности сигнала для прямого и обратного каналов, соответствует полученному расчетному значению. Данные расчеты могут применяться для эффективной работы канала радиосвязи единой АСКРО. Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение работы канала радиосвязи данной сложной системы с учетом воздействия преднамеренных помех и сложной сигнально-помеховой обстановке, учитывая возможность возникновения чрезвычайных ситуаций.

Литература

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.01.2012 р., № 44-р "Про затвердження плану заходів щодо створення Єдиної автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки на період до 2015 року". [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/44-2012-%D1%80#n7>.
2. Простов С.П. Исследование эффективности зонной системы дециметрового радиосвязи : дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.12.13 – "Системы, сети и устройства телекоммуникаций" / Простов Сергей Петрович. – М., 2000. – 189 с.
3. Полянкин А.В. Исследование характеристик радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами / А.В. Полянкин, Х.Т. Ле // Известия ТулГУ : сб. науч. тр. – 2013. – Т. 2, № 7. – С. 98-106.
4. Сумин В.И. Повышение эффективности функционирования каналов связи передачи информации тревожного извещения / В.И. Сумин, Г.М. Карпов, А.Ю. Немченко // Вестник Воронежского ин-та МВД : сб. науч. тр. – 2009. – № 2. – С. 98-103.
5. Шевляков Д.А. Исследование эффективности многопорогового декодера в беспроводных каналах связи / Д.А. Шевляков // Электронный журнал Cloud of Science : сб. науч. тр. – 2014. – Т. 1, № 1. [Электронный ресурс]. – Доступный с <http://cloudofscience.ru>.
6. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети : пер. с англ. – М. : Изд. дом "Вильямс", 2003. – 640 с.
7. Бабкин А.Н. Подходы к оптимизации систем подвижной радиосвязи органов внутренних дел / А.Н. Бабкин, А.В. Эсауленко // Вестник Воронежского ин-та МВД : сб. науч. тр. – 2012. – № 4. – С. 121-125.
8. Золоторев В.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы : справочник / В.В. Золоторев, Г.В. Овечкин; / под ред. чл.-кор. РАН Ю.Б. Зубарева. – М. : Изд-во "Горячая линия – Телеком", 2004. – 126 с.
9. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Performance. – Cambridge University Press, 2009. – 492 p.

Полстянкін Р.М. Ефективність роботи каналу радіозв'язку єдиної автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки

Розглянуто питання оцінки потужності і параметри бездротової райсовської моделі каналу передачі інформації, створюваної Єдиної автоматизованої системою контролю радіаційної обстановки в Україні, з метою подальшого забезпечення його ефективної роботи і системи загалом. Показано, що застосування сучасних технологій бездротового зв'язку, що має цифровий канал передачі інформації, дає істотний вигоду в забезпеченні якості та достовірності отриманої інформації у складних системах, яка менш схильна спотворенню, що припустимо до застосування в аналізованій системі.

Ключові слова: ДСНС України, ефективність функціонування радіоканалу, ймовірність помилкового прийому, пропускна здатність, достовірність передачі інформації.

Polstiankin R.M. The Efficiency of the Performance of Channel Radio Unified Automated System of Radiation Monitoring

The issues of power estimation and the wireless Rician channel model for communication of information to create a single automated system for monitoring the radiation situation in Ukraine in order to further ensure efficient operation and the system as a whole are studied. The use of modern technologies of wireless communication system having a digital communication channel, is shown to provide a significant benefit in ensuring the quality and reliability of the information received in complex systems, which is less prone to distortion, which is acceptable to the application of the system.

Key words: The State Emergency Service of Ukraine, performance of the radio channel, probability of erroneous reception, throughput, reliability of information transmission.

УДК 539.3

Викл. М.Б. Сокіл, канд. техн. наук –

Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного

НЕЛІНІЙНІ КОЛИВАННЯ ГНУЧКИХ ТРУБЧАСТИХ ТІЛ, ВЗДОВЖ ЯКИХ РУХАЄТЬСЯ СУЦІЛЬНИЙ ПОТІК СЕРЕДОВИЩА

Розроблено методику дослідження нелінійних коливань трубчастих тіл, вздовж яких рухається зі сталою швидкістю суцільний потік однорідного середовища. У її основу покладено поєднання хвильової теорії руху та асимптотичні методи нелінійної механіки. Це дало змогу отримати: для незбуреного руху – співвідношення, які описують параметри хвиль як функції основних характеристик трубчатого тіла та суцільного потоку середовища; для збуреного руху – звичайні диференціальні рівняння, які визначають закони зміни амплітуди та частоти коливань динамічного процесу системи трубчатого тіла – суцільний потік коливань середовища залежно від нелінійних сил системи.

Ключові слова: нелінійні коливання, дисперсійне співвідношення, хвильове число, частота.

Вступ. У різних галузях машинобудування та промисловості широко використовують гнучкі тіла трубчастої форми для забезпечення функціонування гідравлічних чи пневматичних приводів, транспортування сипких чи рідинних продуктів. Переміщення середовища вздовж трубчастих тіл спричиняє зміну основних кінематичних характеристик останніх. Кінематичні ж характеристики, своєю чергою, тісно пов'язані з динамічними навантаженнями. Таким чином, рух суцільного середовища вздовж трубчастих тіл впливає і на ресурс експлуатації останніх. З математичного боку, врахування переміщення середовища вздовж трубчастих тіл призводить до створення якісно нових математичних моделей системи гнучке тіло – рухомий потік середовища (їх можна віднести до систем, які характеризуються складовою швидкості позаддовжнього руху). Для їх дослідження, навіть за значних спрощень, не вдається застосувати відомі класичні методи інтегрування крайових задач, які є математичними моделями динаміки процесу. Для часткового вирішення задачі про вплив суцільного потоку середовища вздовж трубчастих тіл, у роботі розвинуто ідею описання динамічного процесу систем, які характеризуються сталою складовою швидкості позаддовжнього руху, у вигляді накладання хвиль різних довжин [1-5], та поширення, на базі викладеного, асимптотичних методів нелінійної механіки на нові класи задач.